



МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ КАК ФАКТОР ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

В.И. Савич¹, Л.В. Мосина¹, Ж. Норовсурэн², О.Д. Сидоренко¹, Д.С. Аникина¹

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

²Институт биологии Академии наук Монголии, г. Улан-Батор, Монголия

Микробиологическая активность почв определяет трансформацию, миграцию и аккумуляцию вещества, энергии и информации в почве. Масса микроорганизмов в почве и особенно масса перерабатываемого ими опада растений сопоставима с массой самого опада. Это определяет роль микроорганизмов как фактора почвообразования. Показано, что состав микроорганизмов и их масса являются индикаторами протекающих процессов почвообразования, окультуривания и деградации почв. Так, в слабоокультуренной и хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве в горизонте А_п содержание микроорганизмов, развивающихся на МПА, составляло 1118 и 1975 тыс./1 г, развивающихся на КАА — 3306 и 3598 тыс./1 г почвы. Содержание микроорганизмов, развивающихся на МПА, летом составляло в солонце 0,91 млн/1 г; в светло-каштановой почве — 1,42 млн/1 г, развивающихся на КАА — 0,79 и 2,8 млн/1 г почвы. При загрязнении почв свинцом и переуплотнении количество микроорганизмов в почвах резко уменьшается. Так, в дерново-подзолистых почвах количество микроорганизмов, развивающихся на МПА, в горизонте А_п составило 61,2±10,9 млн/1 г, при уплотнении почв — 29,3±8,7 млн/1 г почвы. Содержание отдельных групп микроорганизмов существенно изменялось в сезонной динамике. Так, содержание микроорганизмов на МПА на лугово-черноземной почве под рисом при внесении сидератов изменялось от всходов до молочно-восковой спелости риса с 74,8±23,0 до 16,5±2,6 млн/1 г, микроорганизмов на КАА — с 109,1±34,4 до 17,5±1,7 млн/1 г почвы. Изменение микробиологической активности почв при эволюции почв и их окультуривании приводит к возникновению новых взаимосвязей в системе почва-растение, что характеризуется информационной оценкой микробиологической активности почв. При этом изменяется и энергоёмкость почв. Так, в дерново-подзолистых почвах в зависимости от окультуренности в биоте почв содержалось от 2,2 до 4,4 млн кал/га, отличаясь в отдельных группах микроорганизмов.

Ключевые слова: почвообразование, микроорганизмы, окультуривание почв, сезонная динамика.

Объекты и методика исследования

Объектом исследования выбраны почвы сухостепной зоны: светло-каштановые, солонец и темноцветная почва западин, почвы сухостепной зоны Монголии; почвы таежно-лесной зоны: дерново-подзолистые почвы разной степени окультуренности, дерново-подзолистые почвы Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева; лугово-черноземные почвы рисовых полей [1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12].

Методика исследования состояла в определении микробиологической активности почв традиционными методами [2, 3, 5, 7], в оценке содержания в почвах соединений микроорганизмов с органическим веществом, заряженных положительно и отрицательно [11], в определении цветовой гаммы колоний микроорганизмов методом компьютерной диагностики, энергетического состояния микробов методом термографии [7].

Экспериментальная часть

Микробиологическая активность в значительной степени определяет генезис, эволюцию и плодородие почв. Однако ее изучение, как фактора почвообразования, почти не рассматривается. Это приводит к малому вниманию к разработке приемов оптимизации микробиологической активности для более эффективного выполнения почвами заданных экологических функций.

В представленной работе приведены экспериментальные материалы по связи микро-

биологической активности с генезисом и плодородием почв.

1. Микробиологическая активность почв, как фактор почвообразования. Микробиологическая активность является одним из важнейших факторов, определяющих генезис и плодородие почв, протекание в почве широкого круга процессов и формирование почвенных режимов. Под ее влиянием происходит синтез и разрушение органического вещества почв и растений, минералов, изменение степени окисленности и восстановленности, гидрофильности и гидрофобности ряда соединений. При этом влияние микробиологической активности на почвообразование обусловлено переработкой микроорганизмами растительного опада, минеральных соединений почв, влиянием на поступление биофильных элементов и токсикантов в растения, на совокупность свойств почв и других компонентов ландшафта.

В соответствии с правилом Ю. Одум, измельчение особей в силу более полного заселения площади увеличивает удельный выход биомассы с единицы площади, что подтверждает большее влияние микроорганизмов на почвообразование по сравнению с растениями. Живая бактериальная масса может достигать 4-9 т/га сухого вещества, что с учетом обновления (до 30 генераций в год) определяет их значительное влияние на почвообразовательные процессы. Содержание углерода микробной биомассы в углероде органического вещества достигает 5-20% в горизонте А₁ и до 70% — в минеральных горизонтах [7]. Ежегод-

ная продукция микробиологической активности достигает 1-90 т/га.

Взаимодействие популяций микроорганизмов друг с другом протекает по типу конкурентных отношений и по типу симбиотических связей. В молодой системе наблюдается высокий темп размножения микроорганизмов, в зрелой системе — низкая скорость размножения. При разложении растительного опада сначала развиваются микроорганизмы, использующие простые водорастворимые соединения, а именно неспороносные бактерии и «сахарные» грибы. На смену приходят спороносные бактерии и микроорганизмы, разрушающие клетчатку. На последних этапах разложения ведущая роль принадлежит деструкторам лигнина и гумуса.

Микробиологическая активность почв тесно связана с микробиологической активностью в других компонентах биогеоценоза. Так, по полученным нами данным [7], в листьях, коре, травянистых растениях, опаде, отпаде, подстилке и в почве содержалось, соответственно, следующее количество актиномицетов (КОЕ/г lg n): в хвойных лесах — 4,17; 4,74; 4,39; 4,97; 5,74; 6,25; 6,24; в лиственных лесах — 4,3; 4,6; 4,47; 4,87; 5,59; 5,6; 5,2.

Микробиологическая активность существенно влияет на формирование почв, что определяет особенности содержания и состава микрофлоры в разных типах почв [4, 7, 9].

По полученным нами данным, в степных экосистемах [7] отмечается специфичность актиноциетного комплекса. В почвах постоянно обнаруживаются представители родов *Strepto-*



myces, Micromonospora, Saccharo-polyspora, Saccharomonospora, Actinomadura, Microbispora, Streptosporangium. Степные почвы отличаются наибольшим разнообразием стрептомицетных видов, принадлежащих почвам по всем известным секциям и сериям. Среди стрептомицетов в степных черноземах и каштановых почвах встречаются виды секций *Cinereus* серии *Violaceus*. В каштановых почвах степных экосистем с запада к востоку увеличивается общая численность актиномицетов.

С нашей точки зрения, влияние микробиологической активности на почвообразование обусловлено также ее информационной и энергетической функциями. Большое значение для оценки влияния микроорганизмов на почвообразование имеет скорость микробиологических процессов в почве. По данным ряда авторов [7], она достигает для целлюлозоразложения 1,1% в сутки, для разложения белка — 1,5% в сутки, для протеолиза — до 4,9% в сутки.

2. Микробиологическая активность почв, как критерий плодородия. Окультуривание и внесение удобрений в основном увеличивают численность микроорганизмов, но при этом существенно изменяется состав микрофлоры. Содержание микроорганизмов существенно отличается в почвах разной степени окультуренности, как в пахотном слое, так и в нижележащих горизонтах. Так, по полученным нами данным, в слабоокультуренной дерново-подзолистой почве и в хорошо окультуренной содержании гетеротрофов на МПА составляло соответственно в слое 0-20 см — 1118 и 1975, в слое 40-60 см — 30 и 252 тыс./1 г почвы; содержание микроорганизмов, использующих минеральный азот, составляло в ДП₂ОК₁ и ДП₂ОК₃ в слое 0-20 см — 3306 и 3598, в слое 40-60 см — 263 и 777 тыс./1 г почвы. Аналогичная тенденция отмечалась и для олиготрофов, актиномицетов [8, 10].

Внесение в почвы органических удобрений и пожнивных остатков растений, сидератов существенно увеличивает количество микроорганизмов в почве. Так, по полученным нами данным [9], в лугово-черноземных почвах, используемых под рис, в контрольном варианте и при внесении сидератов содержание микроорганизмов, усваивающих органические формы азота (на МПА), составляло соответственно весной 21,9±3,6 и 74,8±23,0, усваивающих минеральные формы азота — 29,2±5,0 и 109,1±34,4. Численность анаэробных бактерий рода *Clostridium pasterianum* и *Cl. acetobutylicum* составляла в контроле и при внесении сидератов весной 0,1 и 3,0 млн/1 г *Cl. Pasterianum* и 1,4 и 9,1 млн/1 г почвы *Cl. acetobutylicum*.

Содержание рассматриваемых групп микроорганизмов существенно изменялось в сезонной динамике. Так, содержание микроорганизмов на МПА при внесении сидератов изменялось от всходов до молочно-восковой спелости риса с 74,8±23,0 до 16,5±2,6; микроорганизмов на КАА — со 109,1±34,4 до 17,5±1,7 млн/1 г почвы.

Сочетание отдельных групп микроорганизмов в почве характеризует ее состояние: уро-

вень плодородия и степень деградации. При этом важное значение имеет интенсивность развития микробиоты на различных субстратах. Так, например, для этих целей применяется метод мультисубстратного тестирования (МСТ).

По результатам тестирования почвенных образцов рассчитывают интегральный показатель «здоровья» микробного сообщества исследуемых почв по формуле: $G = (N/N_{max} \cdot 100)/d$, где N_{max} — количество тест субстратов, N — количество потребленных субстратов, d — мера разнообразия.

М.Е. Котенко [2] для почв сухостепной зоны установлено, что в солончаке формируется самая «нездоровая» микробная масса, а «здоровая» — в луговой почве. Именно эти почвы территориально находятся рядом друг с другом, то есть самые контрастные по функционированию микробного сообщества почвы — солончаки и луговые соседствуют в географическом пространстве. В основном эти почвы различаются между собой только содержанием легкорастворимых солей. В солончаке содержание солей может достигать 30%, а в луговой почве их менее 1% (0,11% — в верхнем горизонте и 0,60% — на глубине 50 см).

Следовательно, соли являются фактором, который может влиять на функционирование микробиоценоза исследуемых почв. Так, в солончаке величина W — метаболическая работа (функция общей биомассы) составляла 550, а в лугово-каштановой почве — 1360. В солончаке число потребляемых субстратов составляло 5, а в лугово-каштановой почве — 24. «Здоровье» микробных сообществ (G) в плодородных почвах достигало 230 и зависело от содержания гумуса: $G = 77\% — 151$; $R^2 = 0,85$ и от рН в пределах от 6 до 8, при плотном остатке 0,1-0,4 мг-экв/100 г почв $G = 170pH — 1100$; $R^2 = 0,78$.

3. Микробиологическая активность почв, как критерий состояния экологических систем. В проведенных нами исследованиях доказывается, что состояние системы почва-растение достоверно идентифицируется по микробиологической активности почв, величине микробной биомассы, участвующей в биологическом круговороте, видовому составу бактерий, динамике поведения зародышей *Bacillus idosus*, по наличию или отсутствию черноокрашенных актиномицетов группы *Niger*, по состоянию репродуктивной функции актиномицетов, по наличию фитопатогенных грибов рода *Fusarium* и т.д.

По полученным данным, с увеличением продуктивности лесных насаждений возрастала величина биомассы микроорганизмов. Так, максимальный размер микробной биомассы — 28,1-26,4 т/га отмечался в дерново-подзолистых почвах под листовыми и березовыми фитоценозами, минимальный — 17,2-18,7 т/га под дубовыми и сосновыми насаждениями [1, 4, 5].

Экспериментальные данные показали, что микробная биомасса 10,4-16,2 т/га характеризует среднюю степень устойчивости древесных насаждений по загрязнению городской

среды; значения микробной биомассы 2,8-5,2 т/га характерны для слабоустойчивых к загрязнению систем.

По полученным нами данным, количественный и качественный состав микроорганизмов изменяется, как в зависимости от антропогенной нагрузки, так и по профилю почв, в зависимости от растительных ассоциаций. Так, по полученным данным, в дерново-подзолистых почвах под насаждениями дуба хорошего и плохого состояния численность микроорганизмов на МПА составляла в горизонте A_1 — 72,0 и 34,2, на КАА — 35,4 и 9,4 млн/1 г почвы. Под насаждениями сосны с березой хорошего и плохого состояния численность микроорганизмов на МПА в горизонте A_1 составляла 50,4 и 16,7, на КАА — 45,3 и 13,1 млн/1 г, уменьшаясь до горизонта В во всех вариантах до 0,2-5,0 млн/1 г почвы.

По полученным нами данным [5], численность и состав микрофлоры существенно изменяется при уплотнении и загрязнении почв тяжелыми металлами. Так, при хорошем состоянии дерново-подзолистых почв и при уплотнении почв и их загрязнении тяжелыми металлами численность микроорганизмов, развивающихся на МПА, в горизонте A_1 составляла соответственно 61,2±10,9 и 29,3±8,7, на КАА — 40,2±4,9 и 11,2±1,9 млн/1 г почвы; актиномицетов (%) от общего количества на КАА — соответственно 13,8±3,8 и 9,2±3,1. По данным Л.В. Мосиной, при сильном загрязнении дерново-подзолистых почв парка свинцом содержание стерильных актиномицетов возрастало в 4-9 раз, актиномицетов группы *Niger* — в несколько сотен раз. Видовое разнообразие бактерий снижалось в 6-7 раз, доля грибов возрастала на 40-70%. При загрязнении почв свинцом (200 мг/кг) активность NO_3 мг/л · 10⁻⁴ составляла через 15 минут и 3 суток 11,45±0,51 и 0,60±0,02; содержание NH_4 изменилось от 15,3±3,7 до 4,2±0,06.

Микроорганизмы в почве и их ассоциаты с водорастворимыми органическими лигандами имеют различный по знаку и плотности заряд и поэтому движутся в почве и под влиянием электрического поля. Это установлено нами, совместно с Л.Г. Майоровой, с использованием метода химической автографии на основе электролиза [11]. Так, в дерново-подзолистых почвах общее количество микроорганизмов, развивающихся на МПА (тыс./г), движущихся к аноду при $V = 4,5$ в, $t = 2$ часа, составляло 1,2, бактерий — 0,2, развивающихся на КАА — 1,4, актиномицетов — 1,4, микобактерий — 0,3. Содержание микроорганизмов, движущихся в этих условиях к катоду, составляло (тыс./г): развивающихся на МПА — 0,6; бактерий — 0,1; развивающихся на КАА — 0,8; актиномицетов — 0,8, микобактерий — 0,4. При этом соединения микроорганизмов и органических лигандов, заряженных положительно и отрицательно, отличались и по действию на биотесты.

4. Изменение микробиологической активности почв во времени и в пространстве. Микробиологическая активность существенно изменяется в сезонной динамике. Так, по данным О.Д. Сидоренко [9], в лугово-черно-



земной почве под рисом в мае до затопления численность сульфатредуцирующих бактерий (тыс./1 г абсолютно-сухой почвы) составляла 17,9, в июне — 1340; в июле — 3196; в августе — 98 и после сброса воды — 170. Сульфатредуцирующая активность почв коррелировала с Eh, содержанием подвижных форм Fe, Mn, Al, с содержанием сульфатов и сульфидов. Значительная сезонная динамика установлена и для других групп микроорганизмов. Это иллюстрируется данными таблиц 1-6 [8].

Согласно полученным данным, почвы целинного солонцового комплекса обладают высокой микробиологической активностью, которая проявляется только при благоприятных погодных условиях. Наибольшей микробиологической активностью при благоприятных погодных условиях характеризуются темноцветные почвы западин, наименьшей — солонцы. В засушливых условиях микробиологическая активность снижается, а различия в численности микрофлоры типов почв сглаживаются.

Групповой состав микрофлоры темноцветных почв микрозападин, в отличие от светло-каштановых почв и солонцов, отличается более высоким относительным содержанием актиномицетов и спорообразующих бактерий.

Изменение в сезонной динамике и в отдельных горизонтах отмечалось и для ферментативной активности почв. Согласно полученным материалам, инвертаза лучше иммобилизуется в темноцветных почвах западин

(68,4 мг глюкозы/1 г почвы), ее активность составляет 14,6 мг, а в горизонте A₁ светло-каштановых почв — 27,7 мг. Каталаза лучше иммобилизуется в светло-каштановых почвах (см³ O₂ в 1 мин.) — 8,1, в солонцах эти величина — 2,9, в темноцветных почвах — 3,9.

С нашей точки зрения, информационными являются закономерности изменения микробиологической активности во времени и в пространстве (по профилю почв). Убывание микробиологической активности вниз по профилю более резко выражено в солонце. Изменения для светло-каштановой и темноцветной почвы зависят от времени взятия образцов. Существенные изменения микробиологической активности происходят и в сезонной динамике, что обусловлено как влажностью и температурой, так и миграцией вниз по профилю водорастворимых продуктов разложения растительного опада, изменением свойств почв.

В основном, меньшие изменения характерны для гумусовых горизонтов, а в солонце — для микроорганизмов на МПА и КАА в горизонте B₁. Численность микроорганизмов, развивающихся на МПА и КАА, грибов в основном больше весной. Однако количество грибов в темноцветной почве возрастает и осенью.

С нашей точки зрения, генезис и плодородие почв характеризует не только масса микрофлоры в горизонте A₁-Ap, но и закономерность ее изменения по профилю почв и в сезонной динамике.

5. Изменение микробиологической активности во времени и в пространстве тесно взаимосвязано со свойствами почв и ландшафтов. Например, по данным Н.Н. Игнатьева [8]:

$$Y_{КАА} = 100,41 + 78,33X_1 + 93,07X_2 + 77,77X_1X_2,$$

где Y_{КАА} — содержание в почве микроорганизмов, развивающихся на крахмало-аммиачном агаре;

$$Y_{МПА} = 58,68 + 10,83X_1 + 35,4X_2 + 10,1X_1X_2,$$

где X₁ — пористость аэрации, X₂ — количество добавленного в почву крахмала;

$$Y_{ГРИБОВ} = 236,46 - 35,12X_1 + 156,29X_2 - 65,0X_1X_2.$$

Н.Н. Игнатьевым оценено влияние стимулятора Симбионт-2 на численность почвенных микроорганизмов и поглощение кислорода почвой (типичный чернозем) с корнями томатов. Продолжительность опыта 40 дней [8]. Автором получены следующие уравнения регрессии.

Для бактерий, развивающихся на МПА:

$$Y = 6,84 + 3,86X_1 + 1,34X_2 + 0,76X_3 + 1,16X_1X_2,$$

где X₁ — число растений на сосуд; X₂ — количество добавленного раствора Кнопа; X₃ — концентрация Симбионта-2.

Для бактерий, развивающихся на КАА:

$$Y = 12,44 + 1,89X_1 + 3,81X_2 + 2,41X_3 + 1,06X_1X_3.$$

Таблица 1

Сезонная динамика микроорганизмов, развивающихся на МПА, в почвах солонцового комплекса сухостепной зоны, млн/1 г почвы

Почва, горизонт	Глубина, см	Весна	Лето	Осень	*
Солонцы неорошаемые					
A ₁	0-6	13,78	0,91	1,80	6,5
B ₁	6-28	0,99	0,76	0,39	40,8
B ₂	28-58	0,36	0,15	0,30	28,0
BC	58-90	0,09	0,02	0,09	22,2
Светло-каштановые почвы					
A ₁	0-23	4,20	1,42	0,76	18,1
B ₁	23-30	9,24	0,54	0,50	5,4
B ₂	30-47	3,51	0,75	0,17	4,9
BC	47-90	5,07	0,16	0,12	2,3
Темноцветные почвы микрозападин					
A ₁	0-26	6,50	0,34	1,02	15,4
B ₁	26-49	5,20	0,30	0,25	5,8
B ₂	49-80	8,64	0,23	0,16	1,9
BC	80-105	5,88	0,20	0,11	1,7

* Риск падения микробиологической активности почв при неблагоприятных погодных условиях (min/max, %).

Таблица 2

Изменение соотношения микроорганизмов, развивающихся на МПА, по профилю почв сухостепной зоны (A/BC)

Почва	Весна	Лето	Осень
Солонец	148,9	45,0	20,0
Светло-каштановая	0,8	8,7	6,3
Темноцветная	1,1	1,7	9,3

Таблица 3

Сезонная динамика микроорганизмов, развивающихся на КАА, в почвах солонцового комплекса сухостепной зоны, млн/1 г почвы

Почва, горизонт	Глубина, см	Весна	Лето	Осень	*
Солонцы неорошаемые					
A ₁	0-6	17,55	0,79	1,19	6,8
B ₁	6-28	4,51	1,25	1,23	26,7
B ₂	28-58	5,28	0,08	0,06	1,1
BC	58-90	1,73	0,06	0,02	1,2
Светло-каштановые почвы					
A ₁	0-23	8,76	2,80	0,99	14,2
B ₁	23-30	28,80	1,90	1,20	4,2
B ₂	30-47	5,46	1,86	0,62	10,9
BC	47-90	6,37	0,70	0,60	9,4
Темноцветные почвы западин					
A ₁	0-26	71,10	1,00	0,88	1,3
B ₁	26-49	53,80	0,39	0,58	1,1
B ₂	49-80	8,16	0,51	0,21	2,4
BC	80-105	9,75	0,46	0,04	0,4

* Риск падения микробиологической активности почв при неблагоприятных погодных условиях (min/max, %).

Таблица 4

Изменение соотношения микроорганизмов, развивающихся на КАА, по профилю почв сухостепной зоны (A/BC)

Почва	Весна	Лето	Осень
Солонец	10,3	13,3	6,0
Светло-каштановая	1,4	4,0	2,0
Темноцветная	7,2	2,0	22,5

Таблица 5

Сезонная динамика грибной микрофлоры, развивающейся в почвах солонцового комплекса сухостепной зоны (грибы), тыс./1 г почвы

Почва, горизонт	Глубина, см	Весна	Лето	Осень	*
Солонцы неорошаемые					
A ₁	0-6	1,3	0,65	0,30	23,1
B ₁	6-28	1,1	0,45	0,18	16,4
B ₂	28-58	0,1	0,05	0,27	18,5
BC	58-90	0,0	0,00	0,01	-
Светло-каштановые почвы					
A ₁	0-23	1,2	0,63	0,79	52,5
B ₁	23-30	1,4	0,23	0,42	16,4
B ₂	30-47	0,1	2,00	0,70	5,0
BC	47-90	0,1	0,81	0,40	12,5
Темноцветные почвы микрозападин					
A ₁	0-26	1,3	0,20	0,30	15,4
B ₁	26-49	0,1	0,03	0,17	17,6
B ₂	49-80	0,1	0,02	0,07	20,0
BC	80-105	0,0	0,00	0,02	-

* Риск падения микробиологической активности почв при неблагоприятных погодных условиях (min/max, %)

Таблица 6

Изменение соотношения грибной микрофлоры по профилю почв сухостепной зоны (A/BC)

Почва	Весна	Лето	Осень
Солонец	13	65	30
Светло-каштановая	14	10	2,0
Темноцветная	13	10	15



6. Изменение микробиологической активности почв под влиянием погодных условий, антропогенного воздействия приводит к последовательному изменению свойств почв и состояния растений. В ряде случаев это является источником саморазвития процессов (например, образования ортштейнов в затопленных почвах и создание локальных геохимических и микробиологических барьеров).

По полученным нами данным, внесение органоминеральных комплексов в обыкновенные черноземы существенно изменяет агрохимические и физико-химические свойства почв и их микробиологическую активность. Так, в контрольном варианте и с применением компоста органическое вещество составило соответственно $3,7 \pm 0,1$ и $4,2 \pm 0,1\%$; азот общий — $0,33 \pm 0,02$ и $0,40 \pm 0,01\%$, P_2O_5 — $29,1 \pm 1,1$ и $47,8 \pm 1,5$ мг/100 г; pH = $8,1 \pm 0,1$ и $7,3 \pm 0,1$; увеличилась полная влагоемкость с $38,0 \pm 0,5$ до $46,7 \pm 0,7\%$; коэффициент структурности возрос с $2,5 \pm 0,4$ до $3,0 \pm 0,1\%$. При этом количество аммонификаторов ($10^7 \cdot KOE/g$) возросло с 16,0 до 24,0; аммонификаторов ($a \cdot 10^6 \cdot KOE/g$) — с 7,0 до 18,0; увеличилась активность олиготрофов, микромицетов. Урожай зерна кукурузы возрос с 70,0 до 95,1 ц/га [8].

7. С нашей точки зрения, целесообразна информационная оценка микробиологической активности почв. Информационная оценка микробиологической активности почв заключается в закономерных связях микробиологической активности почв с климатическими факторами, во взаимосвязях со свойствами почв. Информационная роль структуры микробных сообществ пропорциональна накоплению в почве негэнтропии. Эта роль обуславливается конструкцией микробных сообществ с учетом сложных взаимосвязей в них и связью их со свойствами почв и факторами внешней среды. При этом проявляются метаболические взаимосвязи между микроорганизмами в связи с выделением отдельными группами стимуляторов и ингибиторов. В то же время для каждой почвы характерно наличие групп микроорганизмов, обеспечивающих сохранение жизни почвы в экстремальных условиях — образование спор.

Полученные экспериментальные данные показали необходимость оценки микробиологической активности во всех компонентах ландшафта, оценки содержания и соотношения отдельных групп, скорости их развития, анализа протекающих микробиологических процессов и режимов, прогноза оптимально состояния микробиологической активности почв для конкретных условий почвообразования и антропогенного воздействия.

8. С нашей точки зрения, целесообразно, в первую очередь, рассматривать аспекты энергетической оценки микробиологической активности почв: массу микроорганизмов, скорость ее обновления в почве, влияние микробиологической активности на генезис, плодородие почв, их экологическое состояние. При этом большое значение имеют как абсолютные значения содержания отдельных групп микроорганизмов в почве, так и их зако-

номерная смена во времени и в пространстве, структурные взаимосвязи в сообществах и со свойствами почв.

С энергетической точки зрения представляет интерес накопление энергии в биомассе, изменение под влиянием микроорганизмов энергии активации реакций. При этом необходима оценка запасов энергии в разных группах микроорганизмов, расчет энергии с учетом ее возобновляемости в течение вегетационного периода.

Необходима оценка энергии продуктов разложения растительного опада и образования гумуса, оценка КПД протекающих процессов. При этом для разрушения ароматических группировок органических соединений требуется значительно больше энергии, чем для разрушения алифатических группировок. Согласно литературным данным, энергия сгорания (кал/г) составляет для фульвокислот 1520-2790, грибов — 4900-5100, бактерий — 6250, гуминовых кислот — 5440-6500, актиномицетов — 5700-5800 [10].

Содержание энергии в биоте почв коррелировало с содержанием в растительных остатках и в гумусе. Так, по полученным нами данным, при низком плодородии дерново-подзолистых почв и при высоком плодородии в биоте почв накапливалось соответственно 3,8 и 9,4 млн кал/га; в растительных остатках — 13,1 и 18,4; в гумусе — 334,8 и 482,9 млн кал/га.

В проведенных нами исследованиях энергетическая оценка фракционного состава гумуса почв коррелировала с энергетическими параметрами дериватограмм. При этом для разных типов почв энергетические показатели отдельных актиномицетов отличались. Так, для рода *Streptomyces*, выделенного из каштановой почвы, потеря массы при 80-100% составляла 72,8%, выделенного из чернозема — 10,2, выделенного из аллювиально-луговой почвы — 44,4%. Для исследуемого рода эндотермические пики ДТА составляли для каштановой почвы 110°, 170°, 385°, 495°, 590°; для аллювиальной почвы — только 85°. Экзотермические пики отмечались для *Streptomyces*, выделенного из каштановой почвы при 350°, 320°, 470°, 570°, 590°, этого же рода, выделенного из чернозема — 330°, 480°, 560°, выделенного из аллювиальной почвы — 350°. Различными энергетическими характеристиками отличались и другие роды актиномицетов, выделенные из разных типов почв.

По полученным нами данным, колонии актиномицетов отличались и по их цветовой гамме в разных цветочных системах. Цвет колоний актиномицетов в цветочной системе CIE-Lab колеблется от 90, 1, 5 до 55, 42, 53; в системе RGB — от 21, 15, 50 до 234, 227, 199.

По литературным данным, цвет колоний коррелировал с химическим составом актиномицетов [7] и с энергией протекающих с их участием реакций.

Важное значение для энергетической оценки микробиологической активности почв имеет коэффициент использования ими энергии. По литературным данным, коэффициент использования энергии микроорганизмами от-

личается при разложении разных субстратов и для отдельных групп бактерий. Он составляет от 4,5-6% для нитрифицирующих бактерий до 44% при использовании энергии глюкозы плесневыми грибами [7, 10].

В соответствии с правилом Шварца, каждое изменение условий существования прямо или косвенно вызывает соответствующие изменения в способах реализации энергетического баланса. Определенные группы способны разлагать соединения, для разложения которых требуются соответствующие энергетические затраты.

Микробиологические процессы являются активаторами отдельных реакций, и их развитие подчиняется законам термодинамики. Энергоемкость микроорганизмов в почвах существенно зависит от степени окультуренности почв. Так, по полученным нами данным, в слабоокультуренных дерново-подзолистых почвах биомасса микроорганизмов составляла порядка 350 кг/га, а в хорошо окультуренных при расчетных дозах удобрений — до 710 кг/га. При этом энергоемкость микроорганизмов в зависимости от окультуренности составляла 2,2-4,4 млн кал/га. Сухая масса грибов возрастала с увеличением окультуренности почв с 200 до 650 кг/га с энергоемкостью от 1,1 до 3,5 млн ккал/га. При этом количество энергии, связанной в аэробных и анаэробных бактериях, отличается: 5385 кал/г — в аэробных целлюлозоразлагающих бактериях; 4946 кал/г — в анаэробных целлюлозоразлагающих [12]. Численность микроорганизмов достигает 420 млрд/1 м².

Выводы

Таким образом, полученные экспериментальные данные подтвердили существенное отличие микробиологической активности разных типов почв, в зависимости от их окультуренности и степени деградации, подтвердили взаимосвязь микробиологической активности и свойств почв.

Подтверждено закономерное изменение микробиологической активности почв во времени и в пространстве.

Показана целесообразность информационной и энергетической оценки микробиологической активности системы почва-растение.

Доказывается, что состояние микробиологической активности почв характеризуется составом, соотношением отдельных групп, их изменением в пространстве, протекающими микробиологическими процессами: их скоростью, интенсивностью, продолжительностью, изменением от влажности и температуры, состояния растительных ассоциаций. Изменение состояния микроорганизмов в почвах, в протекающих с их участием процессах характеризует режимы микробиологической активности почв.

Оптимальное состояние свойств, процессов и режимов микробиологической активности почв для выполнения почвами заданных экологических функций характеризует модели оптимального состояния биоты для конкретных агроэкологических целей.





Учитывая огромную роль влияния микробиологической активности на почвообразование и плодородие, необходимо рассматривать ее как фактор почвообразования при изучении влияния растительности на более низком иерархическом уровне и учитывать при разработке моделей плодородия почв, степеней деградации почв, проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

Литература

1. Байбеков Р.Ф., Савич В.И., Мосина Л.В. Микробиологическая оценка загрязнения почв парков тяжелыми металлами // *Плодородие*. 2017. № 2, С. 51-53.
2. Котенко М.Е., Зубкова Т.А., Горленко М.А. Функциональное биоразнообразие микробных сообществ

засоленных почв полупустынной зоны // *Вестник МГУ. Серия 17 — Почвоведение*. 2009. № 2. С. 37-40.

3. Марфенина О.Е. Антропогенная экология почвенных грибов. М.: Медицина, 2005. 135 с.

4. Мосина Л.В. Антропогенное изменение лесных экосистем в условиях мегаполиса (г. Москвы): автореф. дис. ... д-ра наук. М.: РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева. 2003, 48 с.

5. Мосина Л.В., Довлетярова Э.А., Андриенко Т.Н. Лесная опытная дача РГАУ-МСХА, как объект экологического мониторинга лесных насаждений, ландшафтов мегаполиса г. Москвы, М.: УДН, 2014. 218 с.

6. Никиточкин Д.Н., Савич В.И., Наумов В.Д., Байбеков Р.Ф. Модели плодородия почв под яблоном во времени и в пространстве. М.: ВНИИА, 2015. 270 с.

7. Норовсурэн Ж. Закономерности географического распространения актиномицетов в почвах Монголии. М.: МСХА, 2009. 168 с.

8. Панов Н.П., Савич В.И., Родионова Л.П. Экологически и экономически обоснованные модели плодородия почв. М.: ВНИИА, 2014. 380 с.

9. Савич В.И., Кауричев И.С., Сидоренко О.Д. Окислительно-восстановительные процессы в почвах, агрономическая оценка и регулирование. Костанай, 1999. 402 с.

10. Савич В.И., Сычев В.Г., Замараев А.Г. Энергетическая оценка плодородия почв. М.: ЦИНАО, 2007. 498 с.

11. Савич В.И., Сычев В.Г., Трубицина Е.В. Химическая автография системы почва-растение. М.: ЦИНАО, 2001. 274 с.

12. Шатилов И.С., Замараев А.Г., Савич В.И. Энергомассообмен в звене полевого севооборота. Ч. 1. М.: Агроконсалт, 2004. 368 с.

Об авторах:

Савич Виталий Игоревич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1153-2542>, savich.mail@gmail.com

Мосина Людмила Владимировна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры экологии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2120-0389>, mosina.l.v@yandex.ru

Норовсурэн Жадамбаа, доктор биологических наук, профессор, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9144-9238>, norvo@mail.ru

Сидоренко Олег Дмитриевич, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры микробиологии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0649-7287>, osidorenko@rgau-msha.ru

Аникина Дарья Сергеевна, инженер кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1357-7365>, black-cat99@inbox.ru

MICROBIOLOGICAL ACTIVITY OF SOIL AS A SOIL-FORMING FACTOR

V.I. Savich¹, L.V. Mosina¹, J. Norovsuren², O.D. Sidorenko¹, D.S. Anikina¹

¹Russian state agrarian university — Moscow Timiryazev agricultural academy, Moscow, Russia

²Institute of biology of the Academy of sciences of Mongolia, Ulan Bator, Mongolia

The microbiological activity of the soil specifies transformation, migration and accumulation of the substance, energy and information in the soil. The mass of soil microorganisms and especially the mass of the plant litter processed by them is comparable to the mass of the litter itself. That defines the role of microorganisms as a soil-forming factor. It is demonstrated that the microorganism composition and their mass are the indicators of the proceeding soil-forming, amelioration and soil degradation processes. So, the microbial content in meat-and-peptone agar was 1118 and 1975 thousand per 1 g in low cultivated and well cultivated soddy-podzolic soil in Ap horizon, and it was 3306 and 3598 thousand per 1 g in starch-and-ammonia agar. In summer the microbial content in meat-and-peptone agar was 0.91 million per 1 g in solonchic soils, and 1.42 million per 1 g in light-brown soils; and in starch-and-ammonia agar it was 0.79 and 2.8 million per 1 g accordingly. When the soil is polluted by lead and overstocked the microbial content in the soil falls dramatically. So, the microbial content in meat-and-peptone agar in soddy-podzolic soil in Ap horizon was 61.2±10.9 million per 1 g, and it was 29.3±8.7 million per 1 g when the soil was overstocked. The content of certain groups of microorganisms was changing substantially over seasonal dynamics. So, in estuary-black soils under rice the microbial content in meat-and-peptone agar when applying leies was varying between seedling and milky ripeness of rice from 74.8±23.0 to 16.5±2.6 million per 1 g of soil, and the microbial content in starch-and-ammonia agar was varying from 109.1±34.4 to 17.5±1.7. The soil microbiological activity change under soil evolution and development leads to uprising of new correlations in soil-plant system, that is characterized by informational assessment of the soil microbiological activity. Herewith, the soil energy consumption varies too. So, there were from 2.2 to 4.4 million cal/ha in soddy-podzolic soils depending on fertility level in the soil biota (varying between different groups of microorganisms).

Keywords: soil-forming, microorganisms, soil development, seasonal dynamics.

References

1. Bajbekov R.F., Savich V.I., Mosina L.V. Microbiological assessment of soil contamination of parks with heavy metals. *Plodorodie = Fertility*. 2017. No. 2. Pp. 51-53.
2. Kotenko M.E., Zubkova T.A., Gorlenko M.A. Functional biodiversity of microbial communities of saline soils of semidesert zone. *Vestnik MGU. Seriya 17 — Pochvovedenie = Bulletin of Moscow state university. Series 17 — Soil science*. 2009. No. 2. Pp. 37-40.
3. Marfenina O.E. Anthropogenic ecology of soil fungi. Moscow: Medicine, 2005. 135 p.
4. Mosina L.V. Anthropogenic change of forest ecosystems in the conditions of the megalopolis (Moscow).

Extended abstract of doctor's thesis. Moscow: RSAU — MAA named after K.A. Timiryazev, 2003. 48 p.

5. Mosina L.V., Dovyetyarova E.A., Andrienko T.N. Experimental forest dacha of RSAU as an object of ecological monitoring of forest plantations, landscapes of the megalopolis of Moscow. Moscow: UDN, 2014. 218 p.

6. Nikitochkin D.N., Savich V.I., Naumov V.D., Bajbekov R.F. Models of soil fertility under the Apple tree in time and space. М.: ВНИИА, 2015. 270 p.

7. Norovsuren G. Regularities of geographical distribution of actinomycetes in soils of Mongolia. Moscow: RSAU — MAA named after K.A. Timiryazev, 2009. 168 p.

8. Panov N.P., Savich V.I., Rodionova L.P. Ecologically and economically justified models of soil fertility. Moscow: VNIIA, 2014. 380 p.

9. Savich V.I., Kaurichev I.S., Sidorenko O.D. Redox processes in soils, agronomic evaluation and regulation. Kostanay, 1999. 402 p.

10. Savich V.I., Sychev V.G., Zamaraev A.G. Energy assessment of soil fertility. Moscow: CINAQ, 2007. 498 p.

11. Savich V.I., Sychev V.G., Trubitsina E.V. Chemical autograph system soil-plant. Moscow: CINAQ, 2001. 274 p.

12. Shatilov I.S., Zamaraev A.G., Savich V.I. The energy and mass exchange within the link field crop rotation. Part 1. Moscow: Agrokonsalt, 2004. 368 p.

About the authors:

Vitaly I. Savich, doctor of agricultural sciences, professor, professor of the department of soil science, geology and landscape studies, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1153-2542>, savich.mail@gmail.com

Lyudmila V. Mosina, doctor of biological sciences, professor, professor of the department of ecology, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2120-0389>, mosina.l.v@yandex.ru

Jadambaa Norovsuren, doctor of biological sciences, professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9144-9238>, norvo@mail.ru

Oleg D. Sidorenko, doctor of biological sciences, professor, professor of the department of microbiology, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0649-7287>, osidorenko@rgau-msha.ru

Daria S. Anikina, engineer of the department of soil science, geology and landscape studies, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1357-7365>, black-cat99@inbox.ru

savich.mail@gmail.com