

УДК 631.48

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ КУТАН ИЛЛЮВИРОВАНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ

Мария Артемовна Бронникова¹, Андрей Александрович Семиколенных², Виктор Оганесович Таргульян³

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, ф-т почвоведения 119991, Российская Федерация, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12

² – ст. преп., к. б. н.; e-mail: aasemik@list.ru

Институт географии РАН
119017, Москва, Старомонетный переулок, д. 29

¹ – н. с., к. б. н.; e-mail: bms@mail.ru; ³ – гл. н. с., д. г. н.

С использованием метода «расписания появления колоний» для анализа результатов посева образцов кутан и внутрипедной массы (ВПМ) на элективные среды показано, что активность и количественное соотношение трофических групп бактерий в кутанах и ВПМ – различны. Активность протеолитической группировки распределена в профиле, а также между ВПМ и кутанами, достаточно равномерно. Активность сахаролитической группы заметно выше в кутанах по сравнению с ВПМ. Количество и активность целлюлозолитических микроорганизмов, напротив, выше в ВПМ.

Ключевые слова: кутаны, внутрипедная масса, микроорганизмы, текстурно-дифференцированные почвы.

Кутаны в почвах обычно исследуются как структурные элементы организации и состава почвенной твердой фазы и как индикаторы ряда важных почвообразовательных процессов: лессиважа, партлювации, Al-Fe-гумусового процесса, ослитовывания. Роль кутан в экологии и функционировании почвенных систем исследована значительно слабее. Между тем кажется очевидным, что пограничное расположение кутан на поверхностях раздела отдельных почвенных агрегатов (педов), их большая “открытость” для почвенных газов, растворов и биоты, также как и особенности их состава, – должны обуславливать не только их структурную, но и функциональную специфику.

Очевидно, что наличие глинистых кутан оказывает влияние на функционирование систем «твердая фаза – поровое пространство» и, в частности, системы «внутрипедная масса (ВПМ) – межагрегатные поры внутри иллювиальных горизонтов», а также на функционирование почвы в целом. Немногочисленные исследования, касающиеся влияния кутан на передвижение растворов в почве и системе «ВПМ – межагрегатное поровое пространство», обнаружили, что наличие кутан на поверхностях агрегатов сильно ограничивает диффузию растворов через поверхность [1 по 2], и в частности, отрицательно отражается на транспорте питательных веществ к корням растений, а также влияет на механизмы нисходящего движения растворов в почвенном профиле [2–4], способствует избирательной дифференциации химических соединений [5].

Известно, что внутренняя и периферическая зоны почвенных агрегатов, даже не имеющих ни-

каких аллохтонных покровов, различны по ряду режимных параметров: прежде всего по уровню аэрированности, определяющему их как среду обитания организмов. Различие средообразующих факторов внутри и на поверхности агрегатов обуславливает различия в численности микроорганизмов и в функционировании биоты. Так, с использованием метода люминесцентной микроскопии и посева на плотные питательные среды, было показано, что численность бактерий и актиномицетов выше в центральной части агрегатов по сравнению с периферической. Отмечено несколько более интенсивное накопление закиси азота внутри агрегатов по сравнению с их поверхностью [6], что свидетельствует о микроаэрофильных условиях во внутренней части агрегатов. Однако, очевидно, возможна и обратная дифференциация, когда в периоды кратковременного переувлажнения профиля более тяжелый механический состав кутан способствует задержке быстро поступающей гравитационной влаги, препятствуя ее проникновению внутрь агрегатов, и анаэробные условия возникают на поверхности агрегатов, покрытых кутанами. Непосредственные измерения содержания распределения кислорода внутри почвенных агрегатов также подтвердили этот факт [7].

Предполагается, что в почвах с текстурно-дифференцированным профилем, где формирование глинистых кутан происходит в толще горизонтов ВТ, различия в гидротермических режимах, поступлении питательных веществ с растворами, газообмене внутри и на поверхности агрегатов особенно контрастны и должны обеспечить анизотропность микробиологической активности в системе

«кутаны – ВПМ». Кутанный покров агрегатов и стенок трещин, являясь в общем случае поверхностью раздела фаз, выполняет регуляторные функции по отношению к ВПМ, принимая на себя фронт воздействия наиболее активных процессов [8]. Пленки иллювирированного вещества на поверхностях агрегатов и трещин в горизонтах ВТ являются полупроницаемым барьером, трансформирующим потоки вещества и энергии на пути миграции влаги, растворенных веществ и суспензий из системы проводящих трещин во внутриведную массу.

Основная масса иллювирированного вещества в ВТ горизонтах приурочена к поверхностям педов и трещин, в связи с чем несоответствия показателей микробиологической активности для ВПМ и кутан могут быть обусловлены не только различиями режимов внутри и на поверхности агрегатов, но и факторами субстантивными, т. е. различиями в вещественном составе кутан и ВПМ.

Из этого можно заключить, что кутаны поверхностей педов и внутриведная масса, особенно в нижних ВТ горизонтах профиля текстурно-дифференцированных почв, формируют существенно различные режимы среды обитания почвенных микроорганизмов.

Вполне отдавая себе отчет в том, что изучение функционирования природных объектов возможно только при учете естественной динамики на протяжении как минимум вегетационного периода, в данной работе мы постарались продемонстрировать существование анизотропности структуры и особенностей функционирования микробных комплексов исходя из оценки состояния почвы в определенный момент времени.

Методика. Объектом исследований была дерново-подзолистая почва на покровном суглинке, подстилаемом московской мореной, под березово-еловым лесом на пологом водораздельном склоне (Ленинский район Московской области, частный водораздел р. Незнайки и р. Ликовы, 0,5 км к ю-ю-в от п. Мешково 55.58856 с.ш., 37.323321 в.д.). Одним из основных критериев выбора почвенного объекта являлось хорошее развитие кутан иллювирирования на поверхностях педов и магистральных трещин ВТ горизонтов.

Образцы, отобранные с глубины 50–75 см, представляют собой материал горизонта ВТ1 – зоны действия наиболее активного иллювирирования. Горизонт имеет прочную призмовидно-ореховатую структуру. Грани структурных отдельностей и стенки магистральных трещин покрыты тонкими (около 0,5 мм) глинистыми кутанами иллювирирования, в различной степени оглеенными. Кутаны также обильны во внутриагрегатных порах и каналах корневых ходов. Хорошая оструктуренность, маленький размер агрегатов (размер структурных отдельностей первого порядка около 1 см), обилие внутриагрегат-

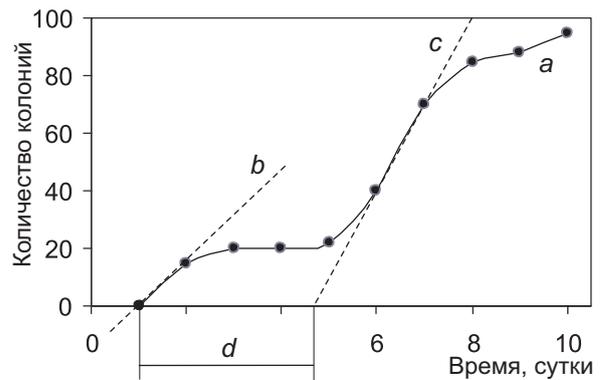


Рисунок. Пример расчета t_l при помощи функций построения касательных по графику появления колоний: а - график появления колоний; b - касательная к первому пику активности; c - касательная ко второму пику активности; d - t_l (лаг-фаза).

ных пор, корневых ходов обуславливают более или менее фронтальную проработку материала почвообразовательными процессами. Активность процессов и их фронтальность обеспечивают значительную морфологическую и субстантивную пестроту почвенной массы на микроуровне с одной стороны, и слабую контрастность условий среды между ВПМ и кутанами поверхности агрегатов – с другой.

Образцы, отобранные с глубины 75–110 см, относятся к горизонту ВТ2, для которого характерна более массивная, крупнопризматически-плитчатая структура, материал горизонта очень плотный, хуже развита система внутриагрегатных пор. Поверхности агрегатов покрыты кутанами неравномерно: на боковых гранях структурных отдельностей кутаны, как правило, мощнее и образуют более или менее сплошной покров. Наиболее мощные кутаны (до 3–5 мм) развиты по стенкам магистральных трещин. В этом горизонте контрасты режимов между ВПМ и поверхностью агрегатов, по-видимому, значительны. Миграция растворов, транспорт растворенных веществ и суспензий происходит уже не фронтально и тяготеет к более малочисленным в этом горизонте межагрегатным и крупным магистральным трещинам. Следовательно, в этой и более глубоких частях профиля плацдармом активных процессов (иллювирирования глинистых веществ с образованием кутан на поверхностях, элювиально-глеевого выноса железа, образования диффузионных железистых, железомарганцевых кутан, минерализации отмерших корней) являются поверхности агрегатов и трещин.

Отбор проб проводился в начале октября, когда температура в почвенном профиле колебалась между +6 и +8°C.

Образцы, отобранные в стерильные флаконы, хранились в лаборатории в течение недели при температуре +4°C с сохранением полевой влажности. Исследования проводились методом посева разведенной суспензии на плотные селективные питательные среды: GRM-агар с гидролизатом белков, агар Чапека

Численность и кинетические показатели роста бактерий на средах с различными источниками органического вещества в образцах кутан и внутрипедной массы дерново-подзолистой почвы *

Среда	Горизонт	Глубина, см	Образец	1 г абс. сухой почвы	$N_{max} / \times 10^6$	Пик 1		Пик 2		Пик 3	
						t_r , ч	$tg\alpha$	t_r , ч	$tg\alpha$	t_r , ч	$tg\alpha$
GRM	A1	5–10			4,50	11	0,76	25	0,85	–	–
	BT1	50–75	ВПМ		4,30	11	0,75	15	0,55	38	1,67
			Кутаны		4,20	11	0,78	26	0,71	37	0,79
	BT2	75–110	ВПМ		0,09	10	0,81	25	2,22	–	–
Кутаны				0,23	11	0,57	23	2,05	–	–	
Чапека	A1	5–10			0,46	14	1,12	–	–	–	–
	BT1	50–75	ВПМ		2,20	31	3,09	–	–	–	–
			Кутаны		3,20	25	2,67	–	–	–	–
	BT2	75–110	ВПМ		0,12	34	2,48	–	–	–	–
Кутаны				2,60	22	2,36	–	–	–	–	
Виноградского	A1	5–10			7,15	23	2,78	–	–	–	–
	BT1	50–75	ВПМ		6,50	30	3,18	–	–	–	–
			Кутаны		5,05	34	1,84	–	–	–	–
	BT2	75–110	ВПМ		0,54	28	2,79	–	–	–	–
Кутаны				0,28	31	1,00	45	2,44	–	–	

* – пояснения в тексте

без молочной кислоты и агар Виноградского с целлюлозой [9]. Микроорганизмы предварительно десорбировались с поверхности почвенных агрегатов при помощи ультразвуковой обработки (22 кГц, 10 мин.). Инкубация проводилась при температуре 24–26°C.

Анализ результатов проводился с использованием модификации метода «расписания появления колоний», предложенного П.А.Кожевиным [10]. Согласно этому методу, учеты выросших колоний выполняются через определенные промежутки времени, после чего строятся графики численности колоний (% от максимального числа) от времени. Далее используется базовое уравнение Хаттори [11 по 10], включающее показатель t_r , отражающий длительность лаг-фазы, то есть период от стадии относительного покоя до стадии экспоненциального роста в цикле последовательных генераций, и λ – вероятность размножения микроорганизмов:

$$\ln(N_{max} - N) = \ln N_{max} - \lambda (t - t_r),$$

где N_{max} – максимальное учтенное количество колоний, N – количество колоний в момент времени t , t_r – время до появления первых колоний, λ – вероятность образования колоний.

Все расчеты выполняли при помощи программного пакета Excel 2003, что позволило построить функции тренда экспериментального графика при отображении математического образа показателя t_r , который определяли как расстояние от нулевой отметки (начало инкубации) до точки пересечения функции тренда с осью времени (рисунок).

В качестве математического эквивалента показателя вероятности размножения λ мы использовали величину тангенса угла наклона касательной

к аппроксимированным линейным участкам возрастания на кривой роста колоний (в табл. 2 обозначена как $tg \alpha$). Величина $tg \alpha$ интерпретируется как способность к наращиванию биомассы данной эколого-трофической группировкой [10]. По смыслу этот показатель идентичен коэффициенту λ , предложенному Хаттори [10, 11].

Результаты и обсуждение. Результаты определения развития микроорганизмов во времени показывают, что показатель t_r , который в некотором приближении демонстрирует длительность лаг-фазы развития микробной клетки, имеет относительно низкие значения. Это свидетельствует о том, что микроорганизмы в почве “активны” и продолжают развиваться на питательных средах фактически без инкубационного периода. Протяженный отрезок t_r показывает наличие инициации роста из стадии покоя, и говорит о том, что учитываемая группа микроорганизмов пребывает в состоянии покоя или гипометаболизма. Сочетание такой интерпретации с использованием элективных сред для физиологических групп позволяет судить о режиме функционирования микробного сообщества.

Прежде всего, следует отметить, что нами не обнаружено существенного снижения численности микроорганизмов в профиле до глубины 75 см. Это может быть вызвано интенсивной миграцией из вышележащих горизонтов микроорганизмов и соединений, необходимых для их роста и развития. Однако более вероятно, что в период отбора образцов (поздняя осень) нижние горизонты были более прогреты и благоприятны для жизнедеятельности биоты, чем приповерхностные, переходившие на зимний режим функционирования.

Анализ показателей t_r и t_{ga} демонстрирует следующие закономерности физиологических процессов:

1. Активность протеолитической группировки распределена в профиле, а также между ВПМ и кутанами, достаточно равномерно, как по первому пику активности, так и по второму. С глубины 75 см протеолитическая группировка изменяет кинетические показатели роста популяции, что может быть связано как с угнетением микроорганизмов на глубине, так и со сменой их экологической стратегии.

2. Сахаролитическая группировка бактерий обнаруживает максимум активности в горизонте А1, однако, и в кутанах горизонтов ВТ наблюдается увеличение ее активности по отношению к внутрипедной почвенной массе. Эти закономерности могут быть объяснены тем, что транспорт водорастворимых соединений в иллювиальной части профиля происходит преимущественно по сети межагрегатных пор и магистральных трещин, при том что кутаны ограничивают диффузию растворенных веществ из трещинной сети межагрегатных пор внутрь агрегатов.

3. Достаточно сложное распределение наблюдается в группе целлюлозолитических организмов. Численность микроорганизмов этой группы для ВПМ по отношению к кутанам достоверно увеличивается, а величина t_r достоверно уменьшается. При этом тангенс угла наклона касательной также больше в местообитаниях, располагающихся в ВПМ, что свидетельствует о более высокой активности целлюлозолитических организмов внутри педов. Это может быть связано, по нашему мнению, с отмиранием однолетних корней.

4. Отмечены более существенные различия в численности и показателях активности всех трофических группировок между ВПМ и кутанами в ВТ2 горизонте по сравнению с горизонтом ВТ1. Это обусловлено, прежде всего, возрастающей с глубиной контрастностью условий среды внутри и на поверхности агрегатов, покрытых кутанами. Увеличение контраста может быть связано с усилением регуляторной функции кутан, что, в свою очередь, определяется как внутренними (более тяжелый гранулометрический состав и большая мощность кутан в

горизонте ВТ2), так и внешними (дефицит питательных веществ в нижней части профиля) причинами.

Заключение. Таким образом, мы можем заключить, что активность и количественное соотношение трофических групп в кутанах и ВПМ – различны. Наличие кутан иллювиирования создает анизотропность среды обитания микробного населения почвенного профиля.

Следует отметить, что применяемая нами методика демонстрирует возможность относительного сравнения функционального состояния организмов в динамических системах при работе с образцами в единственной временной повторности.

Литература:

1. Lai T.M., Mortland M.M. Cationic diffusion in clay minerals: orientation effects // Clay and Clay minerals. – 1968. – № 16. – P. 129–136.
2. Tolmie E.P., Sullivan L.A. Solute movement in structured soils: the effect of ped surface fabric // Proc. of Working Meeting on Soil Micromorphology. – Moscow, 1996. – P. 120–125.
3. Jackson N. A., Mc. Cracken R. J. Cutans (clay films) and potassium availability to plants // Soil Science. – 1964. – № 15. – P. 117–123.
4. Kalifa E. M., Buol S. Studies on clay skins in Cecil (Typic Hapludalf) soil: Effect on plant growth and nutrient uptake // Soil Sci. Am. Proc. – 1969. – P. 37.
5. Liu F., Gilkes R.J., Hart R.D., Bruand A. Differences in potassium forms between cutans and adjacent soil matrix in a grey clay soil. // Geoderma. – 2002. – V. 106, N. 3–4. – Pp. 289–303.
6. Степанов А.Л., Манучарова Н.А., Полянская Л.М. Продуцирование закиси азота бактериями в почвенных агрегатах // Почвоведение. – 1997. – № 8. – С. 973–976.
7. Степанов А.Л. Микробная трансформация парниковых газов в почвах. – М.: ГЕОС, 2011. – 190 с.
8. Козловский Ф.И., Горячкин С.В. Почва как зеркало ландшафта и концепция информационной структуры почвенного покрова // Почвоведение. – 1996. – № 3. – С. 288–297.
9. Методы почвенной микробиологии и биохимии. [под ред. Д.Г.Звягинцева] – М: МГУ, 1991. – 303 с.
10. Кожевин П.А. Микробные популяции в природе. – М: МГУ. – 1989. – 175 с.
11. Hattori T., Kinetics of colony formation of bacteria // Rep. Ins. Agr. Res. Tohoku. Univ. – 1985. – V. 34. – P. 1–35.

Bronnikova M.A., Semikolennykh A.A., Targuljan V.O.

ECOLOGICAL ROLE OF CLAY COATINGS IN THE FORMING OF MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF SODDY-PODZOLIC SOILS

Method of microbial communities' appearance schedule was applied to analyze the results of inoculation of elective media by samples of clay coatings and intra-pedal material. The results have demonstrated considerable differences between clay coatings and intra-pedal material in activities and quantitative ratios of different trophic groups of bacteria. Activity of proteolytic group is relatively evenly distributed both within the profile, and within the coatings/intra-pedal material couples. Activity of sugarlytic is considerably higher in coatings comparatively to intra-pedal material. On the contrary, quantity and activity of cellulolytic microorganisms are higher in the intra-pedal material.

Keywords: clay coatings, intra-pedal material, microorganisms, tecture diffirentiated soils.