

УДК 631.48(-201)

Н.С. Дроздова*, В. А. Терехова**, С. Я. Трофимов**

Разложение органического вещества почв древнерусских поселений при внесении (интродукции) микромицетов

Грибная деструкция органического вещества почв древнерусских поселений в лабораторных условиях

*(каф. географии почв МГУ, лаб. экологических функций почв Института
почвоведения МГУ-РАН)*

Введение

Одним из наиболее подходящих объектов для исследования почв древних поселений являются микроскопические грибы. Их “всюдность”, как и значимость в деструкционных процессах органических материалов, общепризнанна.

На протяжении нескольких лет специалисты разных профилей проводят исследования на территории Гнездовского археологического комплекса (Смоленская область), возраст которого насчитывает не менее двух тысячелетий. Основные работы проводятся на двух археологических памятниках Новоселки и Гнездово, которые существенно различались длительностью и характером антропогенного использования.

К характеристике состояния почв культурных слоев древнерусских в последние (1998-1999) годы привлечены микологи. Исследования О. Марфениной и Е. Горбатовской показали присутствие достаточно богатых видовых комплексов микромицетов в почвах культурных слоев, однако, высеиваемые на питательные среды грибные пропагулы были представлены в основном спорами (Марфенина, Горбатовская, 2000).

В задачу наших исследований входила оценка деструкционной активности микроорганизмов естественных почв и культурных слоев древних поселений и характеристика развития микромицетов, искусственно внесенных в исследуемые почвы.

Объект и методы исследования.

Объектом исследований послужили датированные почвы Гнездовского археологического комплекса (Смоленская область, Россия): поселения около деревни Гнездово (9-11 в н.э.) и городища рядом с деревней Новоселки (1-2 век н.э.) В качестве контроля использовали образцы из фоновых дерново-подзолистых почв на в окрестностях деревень Гнездово и Новоселок. Образцы отбирались с разных глубин в июле 1999 года.

Скорость минерализации определяли методом объемного титрования и методом газовой хроматографии .

Оценку токсичности проводили методом биолюминесценции и использованием бактериального биосенсора на приборе БИОЛЮМ (Данилов и др., 1997)

Искусственную инокуляцию проводили суспензией спор микромицетов, в которой доминировали типичные для дерново-подзолистой почвы виды родов *Mucor* (*M. plumbeus*), *Penicillium* (*P. thomii*), *Trichoderma*, *Fusarium* и др. Споры вносили в количестве 10^{x6} ед/г воздушно-сухой почвы.

Общую численность и биомассу определяли прямым методом с использованием люминесцентной микроскопии (Методы почвенной микробиологии и биохимии, 1991). При количественном учете для окраски мицелия и спор грибов применяли калькофлуор белый (Полянская, 1988). Расчеты биомассы проводили, учитывая, что биомасса сухого вещества 1 м грибного мицелия диаметром 5 мкм равна $3,9 \cdot 10^{-6}$ г и одной грибной споры $1 \cdot 10^{-11}$ г. С учетом замеренного диаметра спор и мицелия грибов, реальную биомассу вычисляли по формуле для спор $0,083 \cdot 10^{-11}$ г, для мицелия $0,628 \cdot 10^{-6}$ г (Иванова, 1996) $0,628 \cdot 10^{-6}$ г/г почвы.

Полученные результаты и обсуждение

Исследуемые культурные почвы древнерусских поселений характеризуются темной окраской и значительной, по сравнению с фоновыми почвами, мощностью гумусированной толщи (до 1 м и более).

Таблица 1.

Химические свойства почв Гнездовского археологического ландшафтно-археологического комплекса (по данным Э.Зазовской и О.Герасимовой)

Горизонт	Глубина, см	pНводн	pНсол	Гумус по Гюрину	С орг, %	Нобщ, %	Робщ, %	Рорг, %
Новоселки -99 Культурный слой на городище								
КС 1	7-20	6,00	4,85	8,65	3,705	0,097	0,55	0,20
КС 2	20-40	6,10	4,90	7,13	3,550	0,092	0,59	0,21
КС 3	40-77	5,55	4,80	7,46	3,311	0,086	0,60	0,22
Новоселки - 99 фон								
A1	0-20	4,45	3,75	3,94	1,081	0,030	0,17	0,4
A2	20-39	4,00	3,15	1,03		0,021	0,23	0,3
Гнездово -99 Культурный слой на селище								
BC-10Б КС1	15-20	5,55	4,75	0,78	0,732	0,019	0,30	0,11
BC-10Б КС 2	30-40	6,00	4,80	2,0	0,646	0,017	0,44	0,15
BC-10Б КС 3	60-65	6,15	4,65	1,03	0,483	0,012	0,52	0,17
BC -10Б КС 4	75-85	6,85	5,00	2,25	0,820	0,021	0,59	0,19
Гнездово -99 фон								
A1A2		4,50	3,75	3,13	1,80	0,026	0,19	0,3

По данным химического анализа (табл.1) культурные слои (КС) имеют близкую к нейтральной реакцию среды, в отличие от фоновых почв, имеющих средне- и слабо-кислую реакцию. Нейтральная рН КС может быть объяснена привнесом в эти слои минеральной массы (золы от очагов, пожаров, остатков строительства, мусора и др.), которая нейтрализовала кислую среду не только в этих слоях, но и в нижележащих).

Запасы азота в фоновых почвах Гнездово выше, чем в культурных слоях, что объясняется специфичностью органического вещества культурных слоев..

Фосфора в культурных слоях содержится в 2–3 раза больше, чем в фоновых почвах, что связано с накоплением фосфатов кальция (почвы КС содержат большое количество остатков костей). Вероятно, часть фосфора находится в составе органических соединений.

Результаты гранулометрического анализа (табл.2) говорят о том, что в культурных слоях Гнездово преобладают песчаные фракции, чем отчасти объясняется темная окраска культурных слоев при относительно невысоком содержании органического вещества.

Таблица 2

Результаты гранулометрического анализа почвенных образцов

Горизонт	Глубина, см	Гигроскопиче	Содержание фракций в % (размер частиц в мм)	Физ. песок	Физ. Глина <0,01	Название поч-вы
----------	-------------	--------------	---	------------	------------------	-----------------

		ская влага, а, %						>0,01		
			1,0- 0,25	0,25- 0,05	0,05- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	< 0,00 1		

Гнездово 99 Культурный слой на селище

BC-10Б КС1	15-20	0,35	71,07	20,58	2,53	1,65	0,92	3,25	94,18	5,82	Песок связн.
BC-10Б КС 2	30-40	0,17	88,29	9,31	0,40	0,24	0,56	1,20	98,00	2,00	Песок рыхл.
BC-10Б КС 3	60-65	0,77	48,89	36,68	6,77	2,98	1,06	3,62	92,34	7,66	Песок связн.
BC -10Б КС 4	75-85	0,80	51,34	32,69	6,29	2,91	2,17	4,60	90,32	9,68	Песок связн.

Гнездово 99 Фон

A ₁ A ₂	3-15	1,28	43,27	33,07	11,50	2,76	2,59	6,81	87,84	12,16	Супес ь
AB	15- 20(25)	0,47	44,38	36,81	9,81	2,41	1,29	5,30	91,00	9,00	Песок связн.
B _{1f}	20(25)- 53	0,45	44,04	41,66	5,70	2,34	0,96	5,30	91,4	8,60	Песок связн.
B _{2f}	53-70	0,27	64,45	31,06	0,68	0,76	0,52	2,53	96,19	3,81	Песок рыхл.
BC	70-112	0,20	33,89	63,38	0,69	0,28	0,60	1,16	97,96	2,04	Песок рыхл.
C _g	112- 170	0,21	56,61	40,30	0,89	0,32	0,52	1,36	97,80	2,20	Песок рыхл.

Новоселки -99 Культурный слой на городище

КС1	7-20		53,59	33,96	5,54	1,81	3,65	1,5	93,1	6,91	Песок. связ
КС2	20-40		38,31	44,67	8,67	2,92	3,65	1,8	91,7	8,35	Песок связ.
КС3	40-77		55,59	30,29	7,28	0,93	3,05	2,9	93,2	6,84	Песок. связ

Состав органического вещества почв городища специфичен - характерна большая разница потери при прокаливании и количества углерода по Тюрину, что говорит о том, что органическое вещество представлено трудноокисляемыми фракциями (табл.3). Отношение Сгк:Сфк в культурных слоях выше, чем в фоновых почвах (0,58 и 0,44), что тоже говорит о различиях в составе органического вещества в культурных слоях и в фоновых почвах.

Таблица 3.

Свойства органического вещества почв Гнездовского археологического комплекса

Горизонты	глубина, см	С, (%)	Гумус (%)	потери при	Сгк/Сфк
			по Тюрину	прокаливании, (%)	
		фоновая почва			
A1A2	(3-9)	3,15	5,43		0,44
		антропогенно измененная почва			
A пах	(5-29)	1,35	2,33	3,21	0,58
КС1	(29-38)	2,6	4,48	4,08	0,57

B1f	(63-84)	0,19	0,33	2,7		0,62
-----	---------	------	------	-----	--	------

Культурные слои с остатками хозяйственной ямы загрязнены тяжелыми металлами, такими как Cu, Zn, As, Pb, что скорее всего связано с рядом производств, осуществляющихся на территории поселения (железоделательное, кузнечное).

В ходе 4-х месячного наблюдения за процессом минерализации органического материала в нативных образцах исследуемых почв не наблюдалась сколько-нибудь заметная деструкционная активность содержащихся в ней микроорганизмов, в том числе и микроскопических грибов.

Последующая проверка на экотоксичность почв культурных слоев не выявила по этому показателю достоверных отличий их от фоновых почв. Следует отметить, что согласно стандартной методике примененного нами теста токсичными принято считать образцы, экстракт выщелачивания которых подавляет люминесцентное свечение биосенсора не менее, чем на 20%. В нашем случае все значения были ниже, подавление на 22% было отмечено, лишь для одного из образцов (средней части культурного слоя Гнездовского поселения, на глубине 30-40 см), однако экстрагированный токсический компонент оказался нестойким и через 15 мин инкубации потерял свою активность в отношении биосенсора.

В качестве одного из возможных методов биологического тестирования состояния органического вещества в почвах культурных слоев древних поселений можно рассматривать экспериментальное исследование развития грибного комплекса, интродуцированного в исследуемые образцы.

Искусственно внесенные микромицеты были достаточно функционально активными в исследуемых почвах. Оценить это оказалось возможным двумя способами: во-первых, по деструкции органического вещества и, во-вторых, путем прямого наблюдения за изменением споровой и мицелиальной биомассы методом люминесцентного анализа.

Измерения скорости выделения диоксида углерода показали, что в культурных слоях как Новоселок, так и Гнездово деструкционная активность

грибов значительна, хотя и существенно ниже, чем, например, в образце ненарушенной торфяно-болотной почвы (ЦЛГБЗ), при том что содержание гумуса в них примерно одинаково (Табл. 1). Заметно интенсивнее шли процессы деструкции органического вещества в обеих фоновых почвах, превышение составило в среднем 58 % для Гнездово и 65 % для Новоселок. (рис. 1).

	3	6	14	20
Гнездово, фон А1	0,76	1,33	1,07	1,07
Гнездово, ВС 15-20	0,34	0,44	0,34	0,34
Гнездово, ВС 30-40	0,25	0,30	0,19	0,19
Гнездово, ВС 75-85	0,19	0,36	0,23	0,23
Новоселки, фон А!	1,10	1,15	0,74	0,74
Новоселки, городище 7-20	0,70	0,85	0,63	0,63
Новоселки, городище 20-40	0,54	0,85	0,63	0,63
Новоселки, городище 40-77	0,25	0,41	0,27	0,27
Подстилка ельника, F- слой лигнин	34,99	26,48	14,36	14,36
	4,95	2,45	1,64	1,64

Как видно из данных, приведенных на рис. 2, культурные слои двух поселений по показателям деструкционной активности характеризовались как некоторыми общими тенденциями, так и определенными отличиями. И в Гнездово, и в Новоселках активность процессов деструкции органического вещества была наивысшей в верхних горизонтах и убывала вниз с изменением глубины. Отмечено сходство в изменении процесса деструкции во времени для обоих разрезов Гнездовского археологического комплекса: с 6 до 14 суток скорость минерализации органического вещества возрастала, на 14 сутки достигала своего максимума, после чего начинала спадать. Вероятно спад обусловлен истощением доступного для грибов субстрата.

Одновременно наблюдались некоторые различия в изменении скорости минерализации вниз по профилям для двух исследуемых поселений. В Новоселках минимум деструкционной активности приходится на нижнюю часть культурного слоя (40-77 см), в Гнездово – на среднюю часть (30-40 см).

Отмечена неоднородность в динамике скорости минерализации органического вещества разных слоев в двух разрезах, что, очевидно, свидетельствует о неоднородности субстрата для грибов.

С целью непосредственного наблюдения за развитием грибов после инокуляции почвенных образцов, была определена численность, биомасса спор и мицелия, а также охарактеризовано соотношение спор разных морфологических типов методом люминесцентной микроскопии.

Выявлено довольно высокое содержание спор во всех образцах - от нескольких десятков до сотен тысяч спор в 1 г.

Наиболее вероятно, что подавляющая часть этих спор представляла непроросшую долю инокулюма (по всей видимости в связи с низкой доступностью органического вещества), определенная часть спор представлена была в нативных почвах, и очень мала вероятность того, что это вновь образовавшиеся споры на развившемся мицелии, т.к. период инкубации образцов с внесенными спорами не превышает 7 дней. Таким образом, в данном случае в почвах с наибольшей биологической активностью следовало ожидать наименьшее количество спор.

Численность спор оказалась наибольшей в средних горизонтах культурных слоев Гнездова и Новоселок (соответственно 334 и 314 тыс/г), наименьшей в фоновых почвах Новоселок (18 тыс/г). (табл.4).

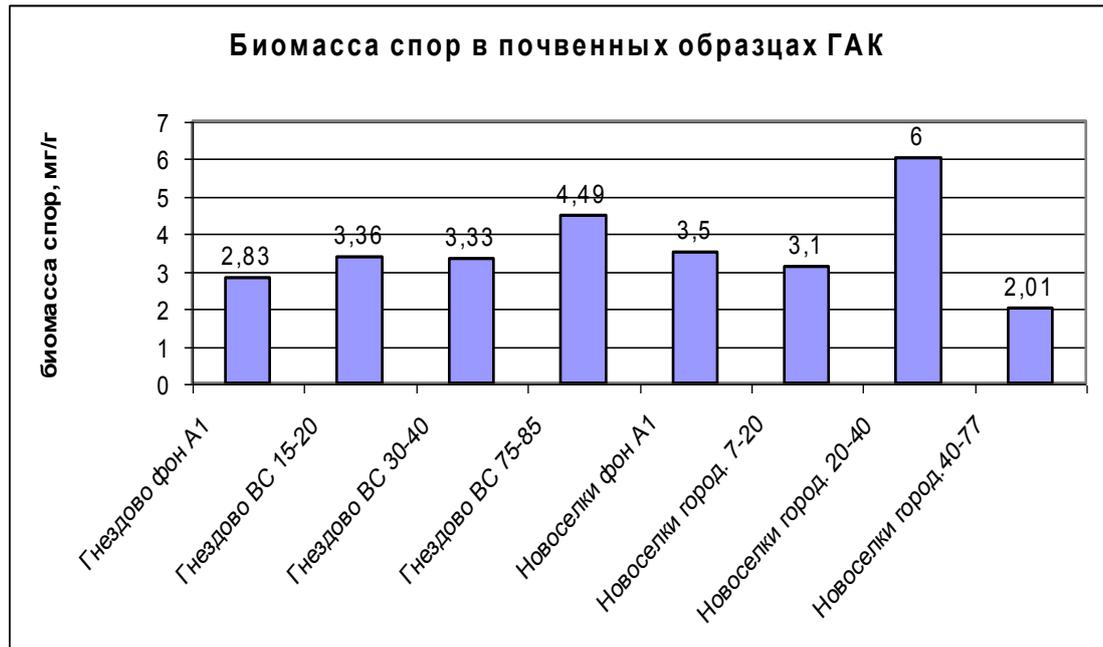
В целом численность спор в почвенных образцах из Гнездово выше, чем в Новоселках. В культурных слоях разреза Новоселки численность спор выше или сопоставим с фоновыми почвами (Гнездово).

Биомасса спор максимальна в среднем слое культурного слоя в городище



Новоселки (6 мг/г), минимальна в нижележащем горизонте того же слоя (2,01 мг/г). В остальных горизонтах колебания биомассы незначительны. Фоновые почвы не отличаются от почв культурных слоев по значению биомассы (рис.4). Принимая во внимание более низкую численность спор в контроле можно было предполагать, что в КС преобладали мелкие споры.

В Новоселках отмечены более резкие колебания в значениях биомассы спор.



Развитие грибного мицелия в Новоселках была максимальным в контроле (фон) . Здесь длина мицелия составила 1,18 м/г , а биомасса - 141,11 мг/г, при этом в фоновых почвах Гнездова значение этих параметров было более, чем на порядок ниже и составило и 10,4 мг/г соответственно. Что касается культурных слоев, то судя по развитию мицелия они чрезвычайно неоднородны по условиям питания для грибов, поскольку и длина, и биомасса мицелия в разных образцах варьировали (рис. 5).

По данным исследовани, проведенным в 1999г. Марфениной и Горбатовской, в верхней части культурного слоя Гнездова (нативные почвы) биомасса мицелия составила 16×10^{-2} мг/г, в фоновых почвах Гнездова $43-60 \times 10^{-2}$ мг/г.. Таким образом, биомасса мицелия после инокуляции возрастает на 2-3 порядка (в наших исследованиях этих же почв биомасса мицелия равна соответственно 66 и 10,4 мг/г).

Суммарная биомасса грибных спор в почвах Новоселок составила 181,39, а в почвах Гнездово 92,32 мг/г. Можно предполагать, что , эти существенные различия обусловлены как различиями в процессе почвообразования, так и условиями антропогенного использования их (как древнем, так и современном).



Наибольшая доля спор в общей биомассе наблюдалась в почвах Гнездова в горизонтах 30-40 см (93,0%) и 75-85 см (73,0 %), большая доля спор отмечена также в Новоселках в горизонтах 7-20 см (59,6%) и 40-77 см (56,1%).

Фоновые почвы Новоселок отличаются от других образцов по соотношению спор и мицелия: в этом образце очень много по сравнению с другими горизонтами мицелия, численность спор небольшая, но при этом преобладают крупные споры.

Поскольку соотношение численности и биомассы грибных пропагул слабо коррелировали между собой, был проведен анализ распределения морфологических типов спор в разных образцах.

При микроскопировании препаратов было выделено 7 групп спор, различающиеся формой и размерами, предположительно относящиеся к разным видам микромицетов.

Учет доли каждой группы спор в разных образцах показал существенное разнообразие споровой массы (рис. 6). В одних образцах доминировали мелкие споры, в других более крупные. Не выявлено каких-либо четких закономерностей в профильном распределении спор, разных микромицетов. Особой структурой споровой массы отличались фоновые почвы. Кластерный анализ, проведенный по значениям процентного содержания спор каждой

группы показал, что в ряде случаев наблюдается более тесное сходство между горизонтами КС двух разных поселений, нежели между КС с разной глубины в пределах одного поселения (рис.7).

Таким образом, наши исследования показали, что возможно активизировать процессы минерализации в почвах культурных слоев древних поселений искусственным внесением микромицетов. При возрастании грибной биомассы на два порядка скорость минерализации сопоставима с разложением трудно минерализуемых органических материалов подобных целлюлозе и лигнину. При этом наблюдается положительная высокая корреляция между содержанием грибов и скоростью минерализации. (коэффициент корреляции $r = 0.67$) . По дифференцированному развитию и соотношению спор разных видов микромицетов с разными питательными предпочтениями, вероятно, можно судить о различиях в трофических, а также в целом почвенно-экологических условиях.

Авторы выражают глубокую признательность Зазовской Э. П. и Герасимовой Н. за предоставление материалов для обсуждения результатов, Степанову А. Л. и Зарубиной А.П. за содействие при выполнении работы.

Литература

Данилов В.С., Зарубина А.П., Соловьева Л.И. Экологический мониторинг в городах с использованием биотеста “Эколюм”//Тезисы докладов участников конференции...М., 1997..

Демкин В.А. Палепочвоведение и археология: интеграция в изучении природы и общества. Пущино. ОНТИ ПНЦ РАН. 1997. 213с.

Марфенина О.Е.,

Методы почвенной микробиологии и биохимии, 1991.

Полянская Л.М. Прямой микроскопический подсчет спор и мицелия грибов в почве// Тез. конф. Изучение грибов в биогеоценозах. Свердловск, 1988.

Полянская Л.М. Микробная сукцессия в почве. Автореф. дис.докт.биол.наук М.: МГУ.1996.