

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОКРЕМНИСТЫХ ПОРОД НА СТРУКТУРУ, ЧИСЛЕННОСТЬ И ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ЦЕЛЛЮЛОЗОСАПРОТРОФНОГО МИКРОБНОГО ПУЛА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ ВЫРАЩИВАНИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ И КАРТОФЕЛЯ

Козлов Андрей Владимирович¹, кандидат биологических наук, доцент, заведующий Эколого-аналитической лабораторией мониторинга и защиты окружающей среды

Куликова Алевтина Христофоровна², доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой «Почвоведение, агрохимия и агроэкология»

¹ФГБОУ ВПО «Нижегородский ГПУ им. К. Минина»

603950, г. Нижний Новгород, улица Ульянова, 1; тел.: 8(831) 439-00-79, e-mail: a_v_kozlov@mail.ru

²ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1; тел.: 8(422) 55-95-47, e-mail: agroec@yandex.ru

Ключевые слова: высококремнистые породы, микробиологическая активность почвы, деградация целлюлозы.

В результате проведенных исследований было установлено влияние различных видов и доз высококремнистых пород на интенсивность микробиологической деградации целлюлозы дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, а также на направленность перераспределения целлюлозосапротрофной части ее микробного пула при выращивании озимой пшеницы и картофеля.

Введение

Деградация целлюлозы является ключевым процессом среди большинства микробиологических звеньев в общей цепи превращения органических соединений почвы. Биохимическое участие целлюлозы и ее производных в почвенных процессах непосредственным образом влияет на формирование физико-химических свойств почвенного тела.

Так, известно [1, 2], что целлюлоза играет заметную роль в создании гумусовых веществ на ранних этапах гумификации растительных остатков. При этом на данный процесс значительное влияние оказывает наличие доступного азота, а также общее соотношение C/N в почве.

Целлюлозоразлагающие бактерии играют значительную роль в создании водонепроницаемой структуры, столь необходимой для

ее плодородия. Кроме того, продукты разложения клетчатки могут быть использованы многими другими микроорганизмами, формирующими высокий уровень эффективного плодородия почвы, в частности, азотфиксаторами [3, 4].

Система процессов минерализации целлюлозы сопровождается непосредственным воздействием на нее большой группы ферментов – целлюлазы [5].

Целлюлазы почвы – это комплекс глюкогидролазных и глюкозилтрансферазных целлюлозолитических ферментов с молекулярным весом в диапазоне 11400-49000, которые выделяются преимущественно бактериями и плесневыми грибами.

В данный комплекс входит собственно 3.2.1.4 целлюлаза (1,4- (1,3-; 1,4-)- β -D-глюкан – 4-глюканогидролаза), участвующая в гидролизе полимеров клетчатки и ее производных по принципу разрушения *о*-гликозидной связи до дисахарида целлобиозы и глюкозы. Фермент 3.2.1.21 целлобиаза (β -D-глюкозид – глюкогидролаза) лизирует целлобиозу, проявляет широкую специфичность в отношении β -D-глюкопиранозидоидов, действует на β -D-галактозиды и катализирует некоторые глюкотрансферазные реакции в почве.

Фермент 2.4.1.20 целлобиаза: ортофосфат-глюкозилтрансфераза (целлобиозофосфорилаза) активизирует гидролиз целлобиозы с одновременным присоединением ортофосфатов к α -D-глюкозе и образованием спиртов. Фермент 3.1.6.7 целлюлозосульфат-сульфогидролаза (целлюлозополисульфатаза) гидролитически отщепляет 2- и 3-сульфатные группы от полисульфатов целлюлозы и харонина [6].

Данные биохимические реакции, проводимые широким спектром почвообитающих прокариот и грибов, завершаются частичной или полной минерализацией как целлюлозосодержащих полимеров, так и их производных. В свою очередь, это приводит к обогащению почвы углекислотой, биомассой микроорганизмов, бактериальными полисахаридными слизями и продуктами гидролиза, богатыми элементами питания.

В результате минерализации целлю-

лозы оптимизируются физико-химические свойства почвы и ее буферность, более благоприятным становятся водный и воздушный режимы, что способствует повышению как потенциального, так и эффективного плодородия почвы [7]. По этим причинам микроорганизмам, лизирующим и трансформирующим клетчатку растительных остатков в почве, посвящено большое количество исследований [8, 9, 10].

В настоящее время работы, касающиеся оценки воздействия высококремнистых пород на состояние почвы и, как следствие, на ее продуктивность, оцениваемую по урожайности и качеству сельскохозяйственных культур, практически не рассматривают влияние данных веществ на состояние почвенно-биотического комплекса и, в частности, на состояние целлюлозосапротрофной части микробного пула почвы. В рамках настоящей работы была поставлена цель: выявить потенциальное влияние кремнийсодержащих веществ на микробиологическую и биохимическую активность деградации целлюлозы почвы.

Объекты и методы исследований

В 2014 г. на базе картофелеводческого предприятия ООО «Элитхоз» Борского района Нижегородской области был заложен микрочлебовой опыт № 1 с озимой пшеницей сорта *Московская 39*, а в 2015 г. – опыт № 2 с картофелем сорта *Ред Скарлет*. В данных опытах проводили испытание трех высококремнистых пород – диатомита Инзенского месторождения (Ульяновская область), цеолита Хотынецкого месторождения (Орловская область) и бентонитовой глины Зырянского месторождения (Курганская область). В рамках настоящей работы оценивается действие вышеупомянутых пород на микробиологические и биохимические показатели дерново-подзолистой почвы, характеризующие трансформацию целлюлозы и ее производных, а также на содержание в почве органических форм азота и углерода.

Схема опытов была однотипной, она предусматривала контрольный вариант (К) без внесения высококремнистых пород, а также варианты с внесением в почву трех доз диатомита (D_1 , D_2 и D_3), цеолита (C_1 , C_2

Химический состав исследуемых высококремнистых пород

Порода	Элемент в оксидной форме (% на абс.-сух. вещество)					
	SiO ₂ (общ.)	SiO ₂ (аморф.)	K ₂ O	P ₂ O ₅	CaO	MgO
Диатомит	83,1	42,1	1,25	0,05	0,52	0,48
Цеолит	56,6	26,7	1,25	0,23	13,3	1,90
Бентонит	52,3	33,4	0,92	0,12	5,49	3,03

и Ц₃) и бентонитовой глины (Б₁, Б₂ и Б₃). Вещества вносили однократно летом 2014 г. в пахотный слой почвы при закладке опытов в высоких дозах – из расчета по 3, 6 и 12 т/га каждой руды. Химический состав исследуемых пород представлен в табл. 1.

Микрополевой опыт был заложен на одном участке, сложенным дерново-подзолистой легкосуглинистой почвой, которая характеризуется низким содержанием гумуса (1,2%), среднекислой реакцией среды (4,8 ед. рН_{KCl}), а также средней обеспеченностью подвижными формами фосфора (86 мг/кг) и калия (110 мг/кг).

Агротехника выращивания культур – общепринятая для микрополевых экспериментов, все работы проводились вручную. Пшеницу убирали в фазу полной спелости зерна (август 2015 г.), картофель – в фазу усыхания ботвы (сентябрь 2015 г.). Площадь делянки – 1 м², расположение делянок рендомизированное, повторность в опытах – четырехкратная.

В опытах определяли степень влияния высококремнистых пород на интенсивность и направленность биотического отклика целлюлозосапротрофной части микробиоценоза и целлюлазной ферментной системы почвы, претерпевшей экспозицию выращивания озимой пшеницы и картофеля.

Лабораторно-аналитическая часть исследований выполнена в Эколого-аналитической лаборатории мониторинга и защиты окружающей среды при ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина» (Мининский университет). В почве определяли численность аэробных целлюлозолитических микроорганизмов чашечным методом на ага-

ре Гетчинсона-Клейтона (АГК), численность олигокарбофилов – на голодном агаре (ГА), численность бактерий автохтонной ниши – на нитритном агаре Теппер (НАТ). Активность ферментного комплекса целлюлаз (АЦ) почвы определяли антроновым методом по Багнюку и Щетинской, аппликационную целлюлолитическую активность (ЦА) – методом льняного полотна (экспозиция – период вегетации культуры), интенсивность выделения СО₂ почвой – газометрическим методом по Галстяну (ДП). Общую биомассу микроорганизмов (МБ) оценивали по углероду микробной массы, определенному регидратационным методом по Благодатскому [11, 12].

Видовое разнообразие целлюлозолитического бактериального комплекса изучали по встречаемости роста клеток на АГК и их родовой идентификации по культуральным, физиологическим и биохимическим признакам [13, 14, 15, 16]. Структуру видового разнообразия микроорганизмов оценивали по традиционной схеме доли присутствия в почве доминантов (более 30% одного рода от общего числа выросших клеток), субдоминантов (20-30%), группы среднего обилия (5-20%) и минорных компонентов микробиоценоза (менее 5%).

Определение содержания органического азота в почве проводили методом мокрого озоления с отгонкой азота по Кьельдалю, определение содержания органического углерода – методом Тюрина в модификации Никитина со спектрофотометрическим окончанием по Орлову-Гриндель.

Микробиологические и биохимические анализы выполнены из образцов свежей почвы, отобранных непосредственно после уборки культур. Химические показатели определялись в воздушно-сухих образцах. Аналитическая повторность при определении микробиологических показателей – пятикратная, при определении химических показателей – трехкратная.

Математическая обработка результатов исследований выполнена по Б.А. Доспехову методами дисперсионного и вари-

Таблица 2

Встречаемость целлюлозолитических бактерий в почве (% от общего числа выросших колоний на АГК)*

Род микроорганизма	Вариант									
	К	Д ₁	Д ₂	Д ₃	Ц ₁	Ц ₂	Ц ₃	Б ₁	Б ₂	Б ₃
почва под озимой пшеницей										
<i>Agrobacterium</i>	0,8	0,3	0,7	0,6	0,0	0,4	0,3	0,6	0,6	0,8
<i>Agromonas</i>	0,4	0,0	0,0	0,3	0,4	0,0	0,7	0,3	0,3	0,0
<i>Arthrobacter</i>	7,3	8,3	4,1	3,2	3,4	2,9	2,0	7,8	4,8	3,4
<i>Bacillus</i>	8,0	7,6	7,5	8,8	7,9	7,5	7,8	7,5	7,8	8,8
<i>Caulobacter</i>	1,9	2,1	2,7	3,9	1,9	1,8	2,4	2,5	2,7	4,0
<i>Cellulomonas</i>	13,4	13,4	15,0	16,2	14,2	14,3	14,2	13,0	14,1	13,9
<i>Cellvibrio</i>	10,0	9,0	9,2	9,1	9,4	9,3	8,8	8,4	8,7	8,8
<i>Corynebacterium</i>	0,4	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,6
<i>Curtobacterium</i>	1,9	2,1	1,7	2,3	2,6	4,3	2,0	3,1	3,9	5,1
<i>Cytophaga</i>	4,2	5,2	5,5	6,2	7,1	6,8	7,8	4,3	5,4	6,2
<i>Flavobacterium</i>	14,9	13,1	13,0	10,1	13,9	12,9	11,5	12,1	10,2	8,5
<i>Micrococcus</i>	2,3	2,1	3,4	2,3	3,7	2,2	3,7	2,2	3,3	2,5
<i>Mycobacterium</i>	0,8	1,0	0,7	0,3	0,7	0,4	0,3	1,2	0,6	0,6
<i>Mухосoccus</i>	2,7	4,8	5,1	4,9	4,1	4,3	4,7	5,6	6,0	5,9
<i>Pseudomonas</i>	14,9	15,2	15,7	15,9	15,0	16,8	17,6	16,5	16,2	16,4
<i>Rhodococcus</i>	0,0	0,7	1,0	0,6	0,4	0,7	1,0	0,9	1,2	0,6
<i>Xanthomonas</i>	12,3	11,4	10,9	11,0	11,6	11,5	10,8	10,2	10,5	10,2
Неидентифицированные роды	3,8	3,8	3,4	3,9	3,7	3,9	3,7	3,4	3,6	3,7
почва под картофелем										
<i>Agrobacterium</i>	1,0	0,3	0,9	0,3	0,3	0,3	0,6	0,0	0,5	0,7
<i>Agromonas</i>	0,6	0,3	0,6	0,3	0,0	0,3	0,0	0,5	0,5	0,2
<i>Arthrobacter</i>	7,5	8,3	5,2	3,8	4,4	3,2	2,8	7,3	4,6	3,9
<i>Bacillus</i>	7,5	7,1	7,2	7,9	8,1	7,8	8,0	7,0	7,4	7,4
<i>Caulobacter</i>	2,9	3,3	3,7	4,1	3,4	3,2	3,4	3,3	4,8	4,9
<i>Cellulomonas</i>	12,7	12,5	13,5	14,8	13,6	14,9	14,4	14,1	15,0	15,0
<i>Cellvibrio</i>	9,1	8,6	8,3	8,2	8,8	8,8	8,9	7,9	7,6	7,8
<i>Corynebacterium</i>	0,3	0,0	0,3	0,3	0,0	0,6	0,3	0,3	0,5	0,5
<i>Curtobacterium</i>	2,9	4,2	3,7	4,7	3,7	5,2	4,3	4,6	4,8	4,7
<i>Cytophaga</i>	4,2	4,7	5,5	5,8	4,7	4,9	5,8	4,6	4,3	5,9
<i>Flavobacterium</i>	14,3	12,2	11,5	9,6	13,2	12,3	11,0	11,7	10,2	9,1
<i>Micrococcus</i>	2,6	2,7	3,4	2,7	4,7	2,9	4,6	2,2	3,6	2,7
<i>Mycobacterium</i>	1,0	1,2	0,6	0,5	1,0	1,0	0,3	1,4	0,8	0,5
<i>Mухосoccus</i>	2,9	4,7	4,9	6,0	3,4	4,2	5,5	5,1	4,8	5,9
<i>Pseudomonas</i>	15,6	14,5	15,2	14,8	14,2	14,0	13,8	15,2	15,2	15,0
<i>Rhodococcus</i>	0,3	0,6	1,1	1,1	0,3	1,3	1,5	1,1	1,0	1,2
<i>Xanthomonas</i>	11,0	11,3	11,2	11,5	12,2	11,7	11,3	10,6	11,2	11,3
Неидентифицированные роды	3,6	3,6	3,2	3,6	3,7	3,2	3,7	3,3	3,3	3,4

* – простым числом указана доля колоний минорных компонентов в микробоценозе (менее 5%);

число **полужирным шрифтом** – группа среднего обилия (от 5 до 20%).

ационного анализа с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2007 и Statistica 6.0.

Результаты исследований

Структура микробиоценоза почвы позволяет отследить возможное начало перераспределения отдельных групп микроорганизмов в условиях влияния на него определенного фактора. Данные группы могут являться составными частями определенных консорциев микроорганизмов, биохимическая работа которых над веществом взаимозависима и строго последовательна, поскольку обусловлена замкнутостью N- и C-циклов в почвенно-биотическом комплексе, напрямую зависящей от полноты деятельности всех представителей микробионаселения почвенного тела.

В нашем случае есть возможность выявления некоторых тенденций смещения общей встречаемости микроорганизмов-целлюлозолитиков в пахотном слое почвы в условиях применения различного вида и дозы кремнийсодержащей руды (табл. 2).

По данным таблицы 2 отмечается, что в целом на АГК были культивированы типичные хемоорганотрофы с метаболизмом преимущественно дыхательного, а также бродильного типов. В целом можно сказать, что общая встречаемость каждого рода бактерий-целлюлозолитиков, вырастающего на АГК, была несколько выше в почве под картофелем по отношению к их встречаемости в почве под озимой пшеницей. Подобная закономерность может быть объяснима особенностями агротехники выращивания культур, где интенсивность механических обработок почвы выше при возделывании картофеля, следствием чего является повышенная аэрированность почвы. Данный фактор, как правило, является условием активизации размножения хемоорганотрофов.

Структура бактериального микробиоценоза содержала представителей двух групп доминантности – минорные компоненты и средние представители. Среди бактерий – минорных компонентов микробионаселения на вариантах применения возрастающих доз кремнийсодержащих пород

в обоих опытах был отмечен рост встречаемости родов *Caulobacter*, *Curtobacterium*, *Micrococcus* и *Rhodococcus*. Их агрономически важно то, что данные микроорганизмы характеризуются олиготрофностью и в целом хорошо гидролизуют малые концентрации олигосахаров, являющихся промежуточными продуктами распада целлюлозы.

При увеличении доз высококремнистых пород наблюдалась стабильная тенденция увеличения доли колоний бактерий р. *Cytophaga* до группы среднего обилия как в почве под пшеницей, так и в почве под картофелем, а также – клеток р. *Mucosoccus* в почве под картофелем. По-видимому, данное явление было обусловлено изначальной высокой потребностью микроорганизмов в нейтрализации реакции среды, что, как известно, достигается при внесении в почву изучаемых кремниевых веществ [7]. Здесь нужно отметить, что данные бактерии активно участвуют в минерализации клетчатки растительных остатков и почвы.

Доля представителей р. *Arthrobacter* и *Mycobacterium*, являющихся автохтонными микроорганизмами и участвующими в трансформации гумусовых веществ, имела тенденцию снижения при увеличении дозы диатомита, цеолита и бентонитовой глины. При этом с повышением дозы диатомита и бентонита в опытах наблюдалась тенденция перехода доли встречаемости артробактеров из группы среднего обилия в минорные компоненты микробионаселения.

Среди представителей группы среднего обилия в микробиоценозе на вариантах внесения в почву увеличивающейся дозы кремниевых руд в обоих опытах был отмечен рост встречаемости типичных целлюлозолитических бактерий – представителей р. *Cellulomonas*.

Уменьшение встречаемости клеток р. *Cellvibrio* в почве вариантов с породами по отношению к контролю, по-видимому, обусловлено снижением нитрифицирующей способности дерново-подзолистой почвы, поскольку данные микроорганизмы требуют высокого содержания минеральных форм азота.

Другие представители олиготрофной

Таблица 3

Влияние высококремнистых пород на численность целлюлозолитических микроорганизмов почвы и их общую биомассу

Вариант	Опыт с озимой пшеницей				Опыт с картофелем			
	Численность, ×10 ⁵ КОЕ/1 г а.с.п.			МБ, мкг С/ 1 г а.с.п.	Численность, ×10 ⁵ КОЕ/1 г а.с.п.			МБ, мкг С/ 1 г а.с.п.
	АГК	ГА	НАТ		АГК	ГА	НАТ	
К	3,06	0,26	0,96	600,25	6,07	0,31	1,47	824,30
Д ₁	3,24	0,29	0,95	630,63	6,09	0,34	1,49	890,80
Д ₂	3,28	0,29	0,92	633,18	6,18	0,35	1,50	902,36
Д ₃	3,30	0,31	0,90	639,46	6,17	0,37	1,51	910,21
Ц ₁	3,16	0,27	0,94	610,20	6,04	0,30	1,47	844,56
Ц ₂	3,19	0,28	0,94	612,87	6,09	0,31	1,49	863,33
Ц ₃	3,22	0,30	0,93	618,14	6,11	0,33	1,49	874,82
Б ₁	3,37	0,32	0,90	628,84	6,14	0,37	1,51	900,14
Б ₂	3,42	0,33	0,88	636,46	6,20	0,39	1,53	911,76
Б ₃	3,42	0,35	0,87	641,55	6,22	0,41	1,53	924,67
<i>НСП</i> ₀₅	0,24	0,05	0,06	35,14	0,10	0,06	0,04	84,32

ниши – р. *Agromonas* и *Corynebacterium*, а также типичные представители коренного микробионаселения почвы – р. *Agrobacterium* практически не меняли доли своей встречаемости при изменении вида и дозы кремнистой породы.

Бактерии р. *Bacillus*, *Pseudomonas* и *Xanthomonas* являются типичными представителями зимогенной ниши микробиоценоза, непосредственно участвующими в гидролизе целлюлозы и ее производных. В отношении бацилл можно сказать, что каких-либо тенденций, определяемых видом и дозой кремнийсодержащих пород в условиях выращивания обеих культур, выявлено не было. Однако в отношении псевдомонад и ксантомонад можно сказать, что тенденция повышения встречаемости первых отмечалась в опыте с озимой пшеницей, а вторых – в опыте с картофелем. Численность псевдомонад, по-видимому, также увеличивалась и в связи с тем, что их клетки для оптимального развития требуют нейтрализации рН почвенного раствора, что может быть достигнуто использованием изучаемых высококремниевых руд.

Встречаемость флавобактерий (р. *Flavobacterium*) в почве обоих опытов имела тенденцию снижения при увеличении дозы

кремнийсодержащих веществ. Здесь нужно отметить типичность данного рода бактерий в отношении его автохтонности, то есть высокой способности к минерализации специфического органического вещества почвы – гумуса.

В таблице 3 показано изменение численности целлюлозолитических микроорганизмов в почве и их биомассы в условиях применения различных видов и доз высококремнистых пород.

Выявлено, что численность типичных бактерий-целлюлозолитиков, вырастающих на АГК, возрастала в почве под обеими культурами на вариантах с максимальной дозой диатомита и всеми дозами бентонита. Однако сила увеличения была неодинаковой – более заметное повышение численности бактерий отмечалось в почве под пшеницей (на 8% и 12% от третьей дозы диатомита и бентонита соответственно).

Численность олигокарбофилов (рост клеток на ГА), участвующих в глубокой минерализации неспецифического органического вещества и начале его гумификации, увеличивалась в равной степени одинаково как в почве под озимой пшеницей, так и в почве под картофелем. Максимальное повышение количества клеток отмечалось при

Таблица 4

Влияние высококремнистых пород на целлюлозолитическую активность почвы и процесс ее дыхания

Вариант	Опыт с озимой пшеницей			Опыт с картофелем		
	активность комплекса целлюлаз* (АЦ)	целлюлозолитическая активность (ЦА), %	дыхание почвы (ДП), мг CO ₂ /10 г за 24 ч.	активность комплекса целлюлаз* (АЦ)	целлюлозолитическая активность (ЦА), %	дыхание почвы (ДП), мг CO ₂ /10 г за 24 ч.
К	16,4	10,4	1,0	23,7	15,5	2,3
Д ₁	17,1	12,3	1,1	26,1	19,3	2,3
Д ₂	29,8	13,6	1,2	27,1	24,8	2,4
Д ₃	29,7	21,8	1,1	29,4	25,2	2,3
Ц ₁	16,9	12,2	0,9	24,2	20,1	2,1
Ц ₂	19,3	13,1	1,0	25,3	23,2	2,2
Ц ₃	18,2	14,0	1,0	25,8	24,0	2,2
Б ₁	36,6	14,6	1,1	39,3	21,6	2,3
Б ₂	39,0	21,4	1,2	44,1	26,3	2,4
Б ₃	40,2	22,7	1,2	45,9	27,8	2,4
<i>НСР₀₅</i>	6,3	7,1	0,4	8,0	9,0	0,5

* – мг глюкозы / 10 г а.с.п. за 48 ч.

третьей дозе диатомовой руды (увеличение на 19%) и бентонита (на 35%).

Численность бактерий, принимающих комплексное участие в минерализации и трансформации гумусовых веществ почвы (рост на НАТ), имела одну закономерность, но разное ее направление. Так, в почве под пшеницей число клеток уменьшалось к максимальной дозе диатомита (на 6%) и бентонитовой глины (9%), в то время как в почве под картофелем – увеличивалось соответственно на 19% и 32% по отношению к контролю.

На вариантах с цеолитовой породой были выявлены аналогичные изменения, которые, однако, имели вид тенденций.

Общая биомасса микроорганизмов почвы также возрастала на вариантах с максимальными дозами высококремнистых пород: на варианте с диатомитом – на 7% и 10% соответственно в почве под озимой пшеницей и картофелем, а на варианте с бентонитовой породой – на 10% и 12% по отношению к контролю. Увеличение дозы любой кремнийсодержащей руды не давало достоверного повышения рассматриваемых показателей. По-видимому, доза пород, имеющих высокое пролонгированное дей-

ствие, поначалу не оказывает существенно-го воздействия на данные параметры состояния ПБК.

Данные таблицы 4 показывают изменение показателей деятельности ферментной системы почвы, участвующей в гидролизе целлюлозы, в зависимости от видов и доз кремнистых веществ.

В опыте с озимой пшеницей активность целлюлазных ферментов почвы (АЦ) увеличивалась на вариантах со второй и третьей дозой диатомовой руды в равной степени на 82%. На аналогичных вариантах с бентонитовой глиной более сильное увеличение данного показателя было примерно одинаковым (123%-145%), но не зависело от увеличения дозы породы. Аппликационная целлюлозолитическая активность почвы (АЦ) возрастала более чем в 2 раза на аналогичных вариантах и также не зависела от дозы изучаемых веществ.

Примерно подобные закономерности отслеживались в опыте с картофелем. Здесь наибольший отклик ферментной системы почвы (АЦ) составлял 24% и 94% соответственно от максимальных доз диатомита и бентонита, а наиболее существенная сте-

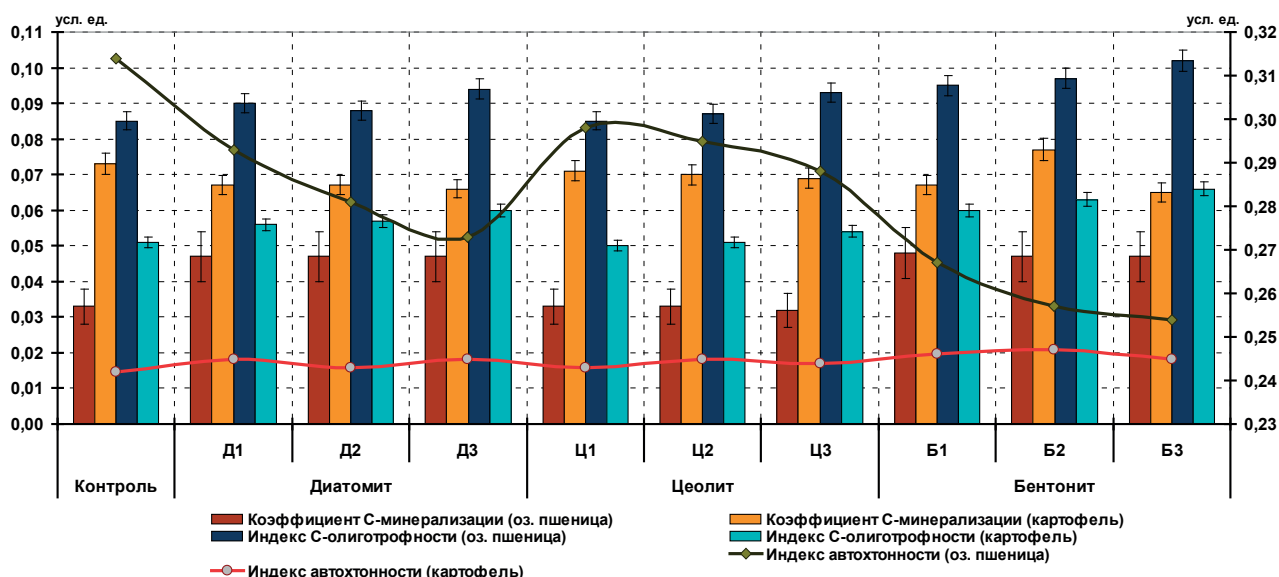


Рис. 1 - Влияние высококремнистых пород на изменение коэффициентов С-минерализации, С-олиготрофности и автохтонности микробного пула почвы при выращивании озимой пшеницы и картофеля

пень разложения льняного полотна (ЦА) увеличивалась на тех же вариантах на 63% и 79% по отношению к контролю. На вариантах обоих опытов с цеолитовой породой не было выявлено подобных закономерностей.

Интенсивность выделения почвой углекислого газа почвой (ДП) в обоих опытах была положительной в зависимости от вида и дозы кремнистых руд, но не подтверждалась статистически.

Для того чтобы более полно охарактеризовать начало влияния различных видов и дозы высококремнистых пород на почвенно-биотический комплекс с точки зрения степени его влияния на трофическое состояние почвенного микробиоценоза, необходимо оценить взаимосвязь процессов биологической активности почвы и, в частности, взаимозависимость численности групп микроорганизмов и почвенных биохимических показателей различных субстрато-физиологических микробных консорциев.

Данный подход основан на оценке изменения коэффициента общей минерализации безазотистого органического вещества по Мишустину, а также индексов С-олиготрофности по Никитину и автохтонности микробного пула по Аристовской (рис. 1).

Коэффициент общей минерализации безазотистого органического вещества, рас-

считанный отношением С углекислого газа, выделяемой почвой, к С микробной массы, повышался на вариантах с диатомовой и бентонитовой рудами в опыте с озимой пшеницей и оставался практически неизменным в опыте с картофелем по отношению к контрольному варианту.

Индекс С-олиготрофности микробного пула почвы, проводящего глубокую минерализацию органического вещества и тем самым подготавливающего его к началу гумификации, рассчитывался отношением численности олигокарбофилов, вырастающих на ГА, к общей численности целлюлозолитических микроорганизмов (число КОЕ на АГК). Данный индекс имел слабую тенденцию повышения в обоих опытах и также – в большей степени на вариантах с диатомитом и бентонитовой глиной по отношению к контролю.

Индекс автохтонности микробного пула почвы, участвующего в трансформации и продуцировании гумусовых веществ и рассчитанного отношением численности микроорганизмов, вырастающих на НАТ к их числу на АГК, имел различное направление и интенсивность в зависимости от выращиваемой культуры. Так, если в опыте с картофелем он оставался практически неизменным в зависимости от варианта, то в опыте с

Таблица 5

Влияние высококремнистых пород на содержание органических форм углерода и азота в почве

Варианты	Опыт с озимой пшеницей					Опыт с картофелем				
	C _{ОРГ.} , %		N _{ОРГ.} , %		C / N	C _{ОРГ.} , %		N _{ОРГ.} , %		C / N
	M ± m	V	M ± m	V		M ± m	V	M ± m	V	
К	0,16±0,02	9	0,10±0,03	7	1,60	0,17±0,03	10	0,08±0,02	9	2,13
Д ₁	0,16±0,02	8	0,11±0,02	8	1,45	0,14±0,03	11	0,08±0,02	10	1,75
Д ₂	0,15±0,01	9	0,11±0,01	8	1,36	0,15±0,02	11	0,09±0,02	9	1,67
Д ₃	0,15±0,01	8	0,12±0,02	7	1,25	0,15±0,01	10	0,09±0,02	9	1,67
Ц ₁	0,16±0,02	10	0,10±0,02	9	1,60	0,14±0,02	12	0,08±0,02	9	1,75
Ц ₂	0,16±0,01	10	0,11±0,02	10	1,45	0,15±0,02	11	0,09±0,03	10	1,67
Ц ₃	0,15±0,02	11	0,11±0,01	10	1,36	0,13±0,02	13	0,08±0,02	10	1,63
Б ₁	0,15±0,01	10	0,12±0,02	12	1,25	0,15±0,02	9	0,09±0,03	9	1,67
Б ₂	0,15±0,02	9	0,13±0,01	8	1,15	0,16±0,01	11	0,10±0,03	9	1,60
Б ₃	0,14±0,01	8	0,14±0,01	9	1,00	0,17±0,02	12	0,11±0,03	11	1,55

озимой пшеницей данный индекс стабильно снижался на всех исследуемых вариантах как по отношению к виду кремнистой породы, так и по отношению к ее дозе. Наибольшее снижение от последней оказалось на вариантах диатомита и бентонитовой руды.

Подобные изменения могут свидетельствовать о начале перераспределения микробного пула почвы, отвечающего за минерализацию целлюлозы и трансформации ее безазотистых компонентов, в сторону активизации процессов разложения неспецифического органического вещества почвы в опыте с озимой пшеницей и в сторону сдерживания процессов трансформации гумусовых веществ в почве опыта с картофелем.

В таблице 5 показаны результаты изменения содержания органических форм углерода и азота в почве исследуемых вариантов.

По данным таблицы видно, что в опытах имела тенденция сужения соотношения органического углерода к азоту в почве в зависимости от вида и дозы исследуемых пород. В случае обоих опытов данная тенденция, по-видимому, происходила скорее за счет некоторого увеличения содержания органически связанного азота в почве.

По-видимому, процесс микробиологической дегградации целлюлозы идет не до конечных продуктов, чему подтверждение –

отсутствие заметного повышения интенсивности выделения почвой углекислого газа и стабильное развитие олигокарбофильной консорции микробиоценоза. Поэтому можно предполагать, что промежуточные продукты лизиса клетчатки и ее производных активно включаются в состав бактериальных клеток и их метаболиты. Это может подтверждаться общим повышением микробной биомассы в почве, что, в свою очередь, сопровождается относительно высоким содержанием в ней органического азота.

Выводы

В результате проведенных исследований по изучению влияния высококремнистых пород на целлюлозосапротрофную часть микробного пула дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в условиях выращивания озимой пшеницы и картофеля было установлено, что как в общей в структуре микробионаселения, так и в численности отдельных его групп отмечалось начало перераспределения микробного пула в сторону активизации развития типичных целлюлозолитических сапротрофов и олигокарбофилов.

Биомасса микроорганизмов, а также ферментативная активность почвы, отвечающие за минерализацию целлюлозы, воз-

растали на вариантах со второй и третьей дозами диатомита и бентонитовой глины. Интенсивность выделения почвой углекислого газа оставалась практически неизменной.

Общая олиготрофность микробного пула почвы, отвечающего за трансформацию промежуточных продуктов деградации клетчатки, повышалась в почве обоих опытов. При этом соотношение органического углерода к азоту в почве имело тенденцию сужения при увеличении дозы высококремнистых пород. Подобные изменения могут свидетельствовать о начале перераспределения изучаемой части микробного пула почвы в сторону активизации процессов разложения неспецифического органического вещества в почве опыта с озимой пшеницей и в сторону сдерживания процессов трансформации гумусовых веществ в почве опыта с картофелем.

Библиографический список

1. Колесникова, М.В. Формирование плодородия чернозема выщелоченного при интродукции аборигенного штамма целлюлолитического микромицета и дополнительных компонентов при запашке соломы озимой пшеницы / М.В. Колесникова, Н.В. Безлер, Б.Л. Агапов // *Агрехимия*. – 2014. – № 8. – С.17-25.
2. Investigation on anaerobic cellulolytic bacteria in some of North forest and farming soils / S. Hatami, H.A. Alikhani, H. BerSharati, N. Salehrastin, M. Afrousheh, J. Yazdani // *American-Eurasian J. Agric and Environ. Sci.* – 2008. – V. 3 (5). – P.713-716.
3. Поддымкина, Л.М. Целлюлозоразлагающая активность микробов почвы в полевом опыте / Л.М. Поддымкина // *Плодородие*. – 2004. – № 5. – С.26-27.
4. Torsvik, V. Microbial diversity and function soil: from genes to ecosystems / V. Torsvik, L. Ovreas // *Current opinion in Microbiology*. – 2002. – V. 5. – P.240-245.
5. Биссвангер, Х. Практическая энзимология / Х. Биссвангер. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 328с.
6. Номенклатура ферментов / под ред. В.Л. Кретовича. – М.: ВИНТИ, 1966. – 256с.
7. Матыченков, И.В. Изменение содержания подвижных фосфатов почвы при внесении активных форм кремния / И.В. Матыченков, Е.П. Пахненко // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2013. – № 3 (23). – С. 24-28.
8. Крончев, Н.И. Влияние минеральных удобрений и биопрепаратов на урожайность и качество зерна яровой пшеницы / Н.И. Крончев, С.Н. Сергатенко, М.В. Валяйкина // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2011. – № 2 (14). – С.23-27.
9. Ежедневная динамика целлюлазной активности в пахотном слое в зависимости от обработки / Е.В. Лаврентьева, А.М. Семенов, В.В. Зеленов, Ю. Чжун, Е.В. Семенова, В.М. Семенов, Б.Б. Намсараев, А.Х.К. Ван Бругген // *Почвоведение*. – 2009. – № 8. – С.952-961.
10. Полянская, Л.М. Изменение численности грамотрицательных бактерий в черноземе при инициации сукцессии увлажнением и внесением хитина и целлюлозы / Л.М. Полянская, К.Е. Иванов, Д.Г. Звягинцев // *Почвоведение*. – 2012. – № 10. – С. 1089-1098.
11. Практикум по микробиологии / под ред. А.И. Нетрусова. – М.: Академия, 2005. – 608с.
12. Хазиев, Ф.Х. Ферментативная активность почв / Ф.Х. Хазиев. – М.: Наука, 1976. – 180с.
13. Викторов, Д.А. Выделение и изучение биологических свойств бактериофагов *Pseudomonas chlororaphis* / Д.А. Викторов, Т.А. Гринева, Д.А. Васильев // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2014. – № 2 (26). – С.45-49.
14. Физикохимия и биология торфа. Методы оценки численности и разнообразия бактериальных и актиномицетных комплексов торфяных почв / Т.Г. Добровольская, А.В. Головченко, Л.В. Лысак, Г.М. Зенова. – Томск: ГПУ, 2010. – 97с.
15. Лысак, Л.В. Методы оценки и бактериального разнообразия почв и идентификации почвенных бактерий / Л.В. Лысак, Т.Г. Добровольская, И.Н. Скворцова. – М.: МАКС Пресс, 2003. – 120с.
16. Определитель бактерий Берджи. В 2 томах / под ред. Г.А. Заварзина. – М.: Мир, 1997. – 1152с.