

Е. Е. Гаевский, Я. К. Куликов

Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

ВЛИЯНИЕ ОКУЛЬТУРИВАНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ НА ЕЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ

Внесение в дерново-подзолистую песчаную почву торфянового компоста и суглинка оказало положительное влияние на ее агрохимические свойства, в результате чего увеличилось количество микроорганизмов различных физиологических групп и возросла активность гидролитических ферментов. Особенно заметно возросла численность бактерий круговорота азота, что имеет большое значение для повышения плодородия песчаных почв. Активизация биологических процессов в оптимизированной песчаной почве обеспечивало формирование высоких урожаев картофеля, ячменя и многолетних трав.

► **Ключевые слова:** микроорганизмы, биологическая активность, оптимизация, дерново-подзолистая песчаная почва.

Введение

На современном этапе развития почвенной микробиологии стало возможным изучение всего комплекса населяющих почву микроорганизмов, что позволяет обнаружить наиболее оптимальное сочетание факторов, приводящих не только к образованию плодородной почвы, но и к развитию на ней полноценного, устойчивого к стрессам фитоценоза [1].

Микроорганизмы почвы первыми реагируют на изменение состояния почвы и стремятся, благодаря своему высокому запасу, поддерживать ее устойчивость, но при регулярных или высоких нагрузках сами страдают от нарушений. Сокращается их численность, видовое разнообразие, а также оптимальное соотношение эколого-трофических групп. Это ведет к снижению активности гумусо- и структурообразования, скорости разложения органического вещества, азотфиксации, способности почвы к нитрификации и денитрификации, т. е. к снижению качества и продуктивности почвы [2]. Происходит загрязнение почвы патогенами и слабее проявляются ее уникальные биологические свойства, в том числе и самоочищающая способность, что также является функцией микрофлоры и требует учета фитосанитарного состояния почв [3].

Чувствительность микроорганизмов к любым нарушениям в почве (природным и антропогенным) позволяет успешно использовать микробиологические характеристики для оценки состояния природных и нарушенных почв и ландшафтов. Выбор и уточнение адекватных, объективных и достоверных целевых индикаторов биологического и фитосанитарного состояния земель сельскохозяйственного назначения является актуальным и необходимым как для определения качества и «здоровья» почв, так и при разработке мер по оздоровлению и воспроизводству почвенного плодородия в каждом конкретном регионе [4].

Особенно это актуально для дерново-подзолистых песчаных почв, отличающихся преобладанием аэробных процессов над анаэробными, высокой биологической активностью, низким содержанием органического вещества и минеральных питательных веществ, невысокой емкостью поглощения, слабой буферной способностью, а также неустойчивым водным режимом.

В связи с этим целью настоящей работы являлось изучение влияния торфянового компоста и суглинка на плодородие, микробиологическое разнообразие и биологическую активность дерново-подзолистой песчаной почвы. Полученные данные могут представлять ценность, как для фундаментальной науки, так и служить основой для конструирования экологически безопасных и высокопродуктивных фитоценозов, основанных на использовании адаптивного потенциала почвенной микробиоты.

Материал и методы исследования

Полевые опыты проводились на базе хозяйства «ПМК-16 АГРО» Борисовского района Минской области на дерново-подзолистой связнопесчаной почве.

Для анализа отбирали почвенные образцы, в которых определяли рН в солевой вытяжке, подвижный фосфор по Кирсанову, обменный калий по Масловой, сумму поглощенных оснований по методу Каппена-Гильковица, гумус по Тюрину, физическую глину по Качинскому [5].

Схема полевого опыта включает 5 вариантов, где на опытные делянки площадью 50 м² в четырехкратной повторности вносился суглинок из расчета 100, 200, 300 и 400 т/га, а также торфонавозный компост в дозе 200 т/га с соотношением навоза к торфу 1:1.

Вносимый легкий суглинок характеризовался следующими агрохимическими показателями: рН = 6,1; сумма поглощенных оснований – 4,3 м-экв/100 г почвы, подвижный фосфор – 22,9 мг/100 г почвы, обменный калий – 33,0 мг/100 г почвы, содержание меди – 1,0 мг/кг, цинка – 4,6 мг/кг, бора – 0,44 мг/кг. Содержание физической глины – 26%, содержание гумуса – 1,8%.

Для приготовления торфонавозного компоста нами использовался низинный торф с зольностью 30%, который характеризовался следующими показателями: рН 6,4; сумма поглощенных оснований – 19,6 м-экв/100 г почвы, подвижный фосфор – 99,1 мг/100 г почвы, обменный калий – 120,0 мг/100 г почвы, содержание меди – 3,6 мг/кг, цинка – 14,4 мг/кг, бора – 2,7 мг/кг.

В торфонавозном компосте 70% влажности содержалось (в кг/т): органического вещества – 220, N_{общ} – 6, P₂O₅ – 2, K₂O – 5, CaO – 4,5, MgO – 1.

В первый год оптимизации песчаной почвы возделывалась пропашная культура (картофель). Это позволило уже в течение первого года оптимизации создать равномерное перемешивание минеральных и органических частиц пахотного горизонта. Во второй год оптимизации выращивался ячмень. При выращивании зерновой культуры практически создается равномерный органоминеральный пахотный горизонт. Последействие оптимизации на третий–пятый год после внесения торфонавозного компоста и суглинка изучали на многолетних бобово-злаковых травах (клевер луговой *Trifolium pretense* L., тимopheевка луговая *Phleum pretense* L., ежа сборная *Dactylis glomerata* L.). В качестве фона вносили минеральные удобрения из расчета N₂₀P₄₀K₈₀ (картофель), P₄₀K₈₀ (ячмень) и N₄₀P₈₀K₁₂₀ (многолетние травы) в виде аммиачной селитры, простого суперфосфата и хлористого калия.

Обработку почвы, сроки посадки и уход за культурой в период вегетации проводили в соответствии с агротехническими требованиями, рекомендуемые для центральной части Беларуси.

Учет урожая проводили поделочно с использованием общепринятой методики. Во время уборки урожая проводили отбор образцов клубней, зерна и сена с пяти вариантов в четырехкратной повторности, в которых определяли общий азот методом Кьельдаля, содержание протеина путем умножения общего азота на коэффициент 5,7, микроэлементы и тяжелые металлы на атомно-абсорбционном спектрофотометре по методу ЦИНАО.

Статистическая обработка урожайных данных проведена по Доспехову [6].

Изучение активности целлюлозоразрушающих микроорганизмов дерново-подзолистой песчаной почвы проводилось методом аппликаций по методике Д. Г. Звягинцева [7]. В почву на глубину 50 см в вертикальном положении закладывались стеклянные пластинки размером 5–50 см, обернутые льняной тканью, предварительно взвешенной.

Опыт проводился в девятикратной повторности. Через определенное время (экспозиция от 30 до 80 дней) пластинки выкапывали, с них осторожно смывались частички почвы, ткань просушивали и повторно взвешивали. По разности веса ткани до и после экспозиции определялась интенсивность жизнедеятельности целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

Учет численности микроорганизмов, определение дыхания почвы и активности ее гидролитических ферментов проводили по общепринятой методике [7].

Результаты и их обсуждение

В нашем опыте исходная дерново-подзолистая связнопесчаная почва характеризовалась следующими агрохимическими показателями: рН в KCl – 5,1, сумма поглощенных оснований – 3,1 м-экв/100 г почвы, содержание подвижного фосфора – 6,4 мг/100 г, обменного калия – 8,6 мг/100 г, гумуса – 1,3%, физической глины – 9,4%, содержание микроэлементов: меди – 1,8 мг/кг, цинка – 2,4 мг/кг, бора – 0,34 мг/кг.

Обменная кислотность на контрольном участке за последние два года почти не изменилась и относится к кислым почвам (рН = 5,2) в 2007 г. (табл. 1). В вариантах с внесением суглинка и торфонавозного компоста обменная кислотность постепенно уменьшалась, достигнув реакции среды, близкой к нейтральной, начиная с осени 2007 г. (рН = 6,2).

Внесение торфонавозного компоста и суглинка положительно сказывается на увеличении суммы обменных оснований. В первый год после оптимизации (2006 г.) сумма обменных оснований выросла почти в два раза в вариантах с внесением суглинка 300 и 400 т/га. В 2007 г. в контрольном варианте сумма обменных оснований уменьшилась и достигла исходного значения до оптимизации песчаной почвы, а в других вариантах по сравнению с предыдущим годом наблюдалась тенденция к снижению, которое постепенно затухало по мере увеличения доз вносимого суглинка.

Влияние окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы на агрохимические свойства

Вариант опыта	pH _{KCl}	S, м-экв/100г	P ₂ O ₅ , мг/100г	K ₂ O, мг/100г	гумус, %	физическая глина, %
Картофель, 2006 г.						
1. * Контроль (фон) **	5,0	4,1	6,8	9,1	1,4	9,6
2. Фон + 200 т/га компоста + 100 т/га суглинка	5,4	5,0	15,9	23,6	2,5	12,2
3. Фон + 200 т/га компоста + 200 т/га суглинка	5,6	6,1	18,3	25,4	3,1	12,9
4. Фон + 200 т/га компоста + 300 т/га суглинка	5,7	7,1	24,1	26,8	3,5	13,4
5. Фон + 200 т/га компоста + 400 т/га суглинка	6,0	7,6	26,0	30,6	3,7	13,6
Ячмень, 2007 г.						
1. Контроль (фон) ***	5,2	3,1	10,0	12,0	1,5	9,7
2. Фон + 200 т/га компоста + 100 т/га суглинка	5,6	4,5	15,0	24,0	2,8	14,3
3. Фон + 200 т/га компоста + 200 т/га суглинка	5,8	5,7	17,5	25,5	3,1	14,8
4. Фон + 200 т/га компоста + 300 т/га суглинка	5,9	6,8	22,8	34,2	3,6	15,3
5. Фон + 200 т/га компоста + 400 т/га суглинка	6,2	7,4	24,7	34,4	3,9	15,5

Примечание: * – номера вариантов опыта те же в табл. 5; ** – фон – N20P40K80, *** – фон – P40K80, S – сумма обменных оснований

Предпосылки для увеличения содержания и благоприятного изменения в распределении гумуса по профилю почвы созданы улучшением всего комплекса факторов, который способствует более интенсивному развитию дернового процесса под влиянием торфования и землевания. Создаются благоприятные водно-воздушные условия, способствующие более интенсивному развитию и глубокому проникновению корней вглубь разрыхленного пахотного горизонта и накоплению растительных остатков в нем. Таким образом, усиливаются биологические факторы, которые определяют характер почвенных процессов в сторону преобладания дернового.

Действие оптимизации сказалось на увеличении содержания гумуса по всем вариантам опыта на второй год (табл. 1). Содержание гумуса составило 2,8–3,9%, при содержании на контроле – 1,5%, что говорит о высокой обеспеченности почвы гумусом. В предыдущем году (2006 г.) в оптимизированной почве содержание гумуса находилось в пределах 2,5–3,7%. Резкая дифференциация гумуса по вариантам опыта обусловлена дозами внесенного органического вещества и суглинка.

В условиях нашего опыта содержание подвижного фосфора в оптимизированной почве через два года немного снизилось по сравнению с первым годом вследствие нейтрализации реакции среды и образования прочносвязанных фосфатов, однако, сохранив оптимальный уровень. В отличие от содержания подвижного фосфора, содержание обменных форм калия в результате торфования и землевания песчаной почвы наоборот увеличивается по сравнению с предыдущим годом и находится на уровне оптимальных величин (25,5–34,4 мг/100 г почвы).

В 2010 г. в вариантах с внесением суглинка 300 и 400 т/га сумма обменных оснований достигла 11,0 и 12,0 мг-экв/100 г почвы соответственно. На третий–пятый год после проведенного торфования и землевания дерново-подзолистой песчаной почвы сохранялась наметившаяся тенденция к увеличению содержания гумуса по всем вариантам опыта (табл. 2). Содержание гумуса в 2008 г. составило 3,0–4,0%, при содержании на контроле – 1,6%, что говорит о высокой обеспеченности почвы гумусом. Данная тенденция сохранялась и на пятый год исследований, так в 2010 г. в оптимизированной почве содержание гумуса колебалось в пределах 3,4–4,1%. Резкая дифференциация гумуса по вариантам опыта обусловлена дозами внесенного органического вещества и суглинка.

Колебания в содержании и составе гумуса возможны в дальнейшем, что связано с видом возделываемых культур, количеством и качеством возвращающихся в почву пожнивных остатков, степенью окисления органического вещества и с другими причинами. Можно полагать, что в условиях правильной агротехники содержание гумуса будет поддерживаться постоянно на оптимальном уровне. Лучшими вариантами опыта по оптимизации гумуса в почве следует считать варианты с дозами суглинка 300–400 т/га.

Влияние окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы на ее агрохимические свойства

Вариант	pH _{KCl}	S, мг-экв./100г	P ₂ O ₅ , мг/100г	K ₂ O, мг/100г	Гумус, %	Фракции физической глины, %
Многолетние травы 1-го года пользования, 2008 г.						
1. Контроль (фон)*	5,3	4,3	12,0	13,0	1,6	9,8
2. Фон + 200 т/га компоста + 100 т/га суглинка	5,5	6,2	16,8	25,4	3,0	16,4
3. Фон + 200 т/га компоста + 200 т/га суглинка	5,7	7,3	20,4	26,5	3,2	17,5
4. Фон + 200 т/га компоста + 300 т/га суглинка	6,0	8,4	25,2	34,4	3,7	17,6
5. Фон + 200 т/га компоста + 400 т/га суглинка	6,4	9,5	26,6	34,5	4,0	17,8
Многолетние травы 2-го года пользования, 2009 г.						
1. Контроль (фон)*	5,3	5,0	14,4	15,0	1,7	9,8
2. Фон + 200 т/га компоста + 100 т/га суглинка	5,8	7,4	18,5	27,3	3,2	16,5
3. Фон + 200 т/га компоста + 200 т/га суглинка	6,0	8,2	22,8	28,0	3,5	17,6
4. Фон + 200 т/га компоста + 300 т/га суглинка	6,2	9,1	25,2	30,0	3,8	17,8
5. Фон + 200 т/га компоста + 400 т/га суглинка	6,5	10,6	27,0	32,1	4,1	18,0
Многолетние травы 3-го года пользования, 2010 г.						
1. Контроль (фон)*	5,3	5,6	14,8	16,0	1,8	9,9
2. Фон + 200 т/га компоста + 100 т/га суглинка	6,0	8,5	20,0	29,2	3,4	16,6
3. Фон + 200 т/га компоста + 200 т/га суглинка	6,2	10,3	24,1	31,3	3,7	17,8
4. Фон + 200 т/га компоста + 300 т/га суглинка	6,4	11,0	26,5	33,1	4,0	18,0
5. Фон + 200 т/га компоста + 400 т/га суглинка	6,6	12,0	28,0	35,0	4,1	18,1

Примечание: * – фон – N40P80K120

Внесение суглинка и торфяно-торфоавошного компоста привело к изменению гранулометрического состава почвы, а именно к увеличению содержания физической глины. Благодаря этому, связанный песок трансформировался в связную супесь.

Внесение торфяно-торфоавошного компоста и суглинка в дерново-подзолистую песчаную почву вызвало увеличение численности эколого-трофических групп микроорганизмов, принимающих участие в минерализации органического вещества (табл. 3). Например, общая численность бактерий, разрушающих подвижные органические соединения азота, увеличилась более чем в два раза, а количество спорообразующих бактерий и актиномицетов, осуществляющих минерализацию более стойких органических веществ, возросла в 3–4 раза.

Высокая численность актиномицетов в окультуренной почве свидетельствует о достаточно глубокой минерализации азотсодержащих соединений и преобладании здесь окислительных процессов. Такая «согласованность» микробиологических показателей отражает взаимосвязь разных звеньев трофической цепочки в преобразовании органического субстрата.

Увеличение численности микроскопических грибов в песчаной почве под действием торфования и землевания также подтверждает высокий уровень минерализации органических соединений. Прокариоты, осваивая растительный субстрат, поступающий в почву, создают благоприятные условия для аэробных эукариот, которые, специализируясь на гидролитических процессах, осуществляют глубокую минерализацию органического вещества.

Наиболее существенные изменения численного состава микрофлоры почвы произошли в первый год ее оптимизации при возделывании картофеля. Интенсивное перемешивание компоста и суглинка с почвой в результате многократной обработки картофеля стимулировало развитие микроорганизмов, связанных с трансформацией органического вещества. На второй год оптимизации песчаной почвы при возделывании ячменя активность окислительных процессов в пахотном горизонте

снижается, и накопление минеральных соединений замедляется. Об этом свидетельствует уменьшение численности микроорганизмов данных физиологических групп. Самая низкая численность микроорганизмов выявлена под многолетними травами, что свидетельствует о стабилизации микробиологических циклов трансформации органического вещества.

Таблица 3

Изменение численности микроорганизмов в дерново-подзолистой песчаной почве под действием торфования и землевания, тыс./г. абс. сухой почвы

Вариант опыта	Бактерии, использующие органические источники азота		Актиномицеты	Микроскопические грибы
	Общая численность	Спорообразующие		
Картофель, 2006 г. (фон – N20P40K80)				
Контроль (фон)	1650	460	820	310
Фон + 200 т/га компоста + 300 т/га суглинка	3640	1520	3310	760
Ячмень, 2007 г. (фон – P40K80)				
Контроль (фон)	1330	340	660	280
Фон + 200 т/га компоста + 300 т/га суглинка	3220	1350	2880	690
Многолетние травы, 2008 г. (фон – N40P80K120)				
Контроль (фон)	880	203	380	220
Фон + 200 т/га компоста + 300 т/га суглинка	1780	610	1160	410

Окультуривание песчаной почвы активизировало деятельность бактерий круговорота азота, что улучшает азотное питание растений (табл. 4). Увеличение численности азотобактера, а также аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий обеспечивало активную минерализацию внесенного органического вещества, освобождение азота и превращение его в аммонийные и нитратные соединения. О накоплении в оптимизированной почве подвижного азота свидетельствует также активное развитие бактерий, потребляющих минеральный азот, численность которых увеличилась в 3 раза по сравнению с исходной почвой. Под ячменем активность развития бактерий круговорота азота в оптимизированной почве снижалась, однако продолжала оставаться на более высоком уровне по сравнению с контрольным вариантом. Аналогичная зависимость выявлена под многолетними травами, за исключением азотобактера, численность которого значительно возростала.

Таблица 4

Изменение численности бактерий круговорота азота в дерново-подзолистой песчаной почве под действием торфования и землевания, тыс./г. абс. сухой почвы

Вариант опыта	Азотобактер, % комочков обрастания	Аммонификаторы	Нитрификаторы	Денитрификаторы	Бактерии, потребляющие минеральный азот
Картофель, 2006 г. (фон – N20P40K80)					
Контроль (фон)	12,5	3240	15,2	11,4	2120
Фон + 200 т/га компоста + 300 т/га суглинка	42,4	8270	30,6	5,5	6360
Ячмень, 2007 г. (фон – P40K80)					
Контроль (фон)	9,6	2640	10,3	7,8	1540
Фон + 200 т/га компоста + 300 т/га суглинка	34,5	6540	24,4	3,6	5680
Многолетние травы, 2008 г. (фон – N40P80K120)					
Контроль (фон)	36,2	2150	6,2	5,6	1120
Фон + 200 т/га компоста + 300 т/га суглинка	75,4	4560	9,1	2,8	3380

Вместе с тем, в окультуренной почве наблюдается снижение численности денитрифицирующих бактерий, осуществляющих анаэробный процесс восстановления азотных соединений до молекуляр-

ного азота или аммиака, что обусловлено улучшением водно-воздушного режима этой почвы. Благодаря этому достигается более экономное использование растениями минерального азота.

При проведении комплексных почвенно-экологических исследований представляется необходимым изучение не только тех групп микроорганизмов, которые быстро осваивают субстрат и проводят его биотрансформацию до мономерных фрагментов (так называемые R-стратегии), но и тех крупных таксонов в микробном сообществе, которые участвуют в деполимеризации трудно- и медленно гидролизуемых высокомолекулярных органических соединений класса полисахаридов.

Микроорганизмы данной группы способны фиксировать азот из атмосферы, используя в качестве единственного источника углеродного питания целлюлозу. Эти микроорганизмы, осуществляя разложение целлюлозы растительных остатков, способны обогащать почву азотом, фиксированным из атмосферы. В нашем опыте (табл. 5) более высокая интенсивность жизнедеятельности целлюлозоразрушающих микроорганизмов выявлена под картофелем. В данном случае от контроля к варианту с максимальной дозой суглинка образовался следующий ряд степени разложения клетчатки: 44,1; 51,3; 54,4; 57,6; 60,9%. Под ячменем степень разложения клетчатки уменьшилась и по вариантам опыта составила: 40,8; 45,7; 48,0; 50,6; 54,5%. С увеличением доз вносимого суглинка разложение ткани усиливалось и достигло максимальной величины на варианте, где суглинок применялся в дозе 400 т/га. Наиболее низкая целлюлозолитическая активность почвы отмечена под многолетними травами, где степень разложения клетчатки возрастала с 26,2% на контроле до 37,6% в варианте с максимальной дозой суглинка.

Таблица 5

Интенсивность разложения клетчатки в оптимизированной дерново-подзолистой песчаной почве в зависимости от глубины профиля

<i>Картофель, 2006 г.</i>				
Вариант опыта	Вес ткани до экспозиции, г	Вес ткани после экспозиции, г	Степень разложения ткани	
			г	%
На глубине 0–30 см				
1	16,97	9,49	7,48	44,1
2	17,03	8,29	8,74	51,3
3	16,35	7,46	8,89	54,4
4	16,21	6,87	9,34	57,6
5	15,93	6,23	9,70	60,9
На глубине 30–50 см				
1	12,42	10,41	2,01	16,2
2	12,83	9,91	2,92	22,8
3	12,77	9,45	3,32	26,0
4	11,84	8,49	3,35	28,3
5	12,16	8,46	3,70	30,4
<i>Ячмень, 2007 г.</i>				
Вариант опыта	Вес ткани до экспозиции, г	Вес ткани после экспозиции, г	Степень разложения ткани	
			г	%
На глубине 0–30 см				
1	17,13	10,14	6,99	40,8
2	16,89	9,17	7,72	45,7
3	16,21	8,43	7,78	48,0
4	15,48	7,65	7,83	50,6
5	15,67	7,13	8,54	54,5
На глубине 30–50 см				
1	12,46	10,72	1,74	14,0
2	12,07	9,63	2,44	20,2
3	11,56	8,85	2,71	23,4
4	11,73	8,68	3,05	26,0
5	12,11	8,65	3,46	28,6

Многолетние травы, 2008 г.				
Вариант опыта	Вес ткани до экспозиции, г	Вес ткани после экспозиции, г	Степень разложения ткани	
			г	%
На глубине 0–30 см				
1	16,8	12,4	4,4	26,2
2	15,9	11,3	4,6	28,9
3	16,6	11,1	5,5	33,1
4	17,3	11,0	6,3	36,4
5	17,8	11,1	6,7	37,6
На глубине 30–50 см				
1	13,5	11,9	1,6	11,8
2	13,9	11,6	2,3	16,5
3	11,4	9,0	2,4	21,5
4	12,8	9,6	3,2	25,0
5	13,1	9,6	3,5	26,7

Разрушение целлюлозы, как показал опыт, особенно активно шло в верхнем горизонте (искусственно созданном в процессе оптимизации). В более глубоких слоях почвы активность целлюлозоразрушения заметно снижается. Снижение активности целлюлозоразрушающих микроорганизмов с глубины более 30 см объясняется уменьшением запаса органических соединений и ухудшением воздушного режима почвы.

Более высокая активность целлюлозоразрушающих микроорганизмов под картофелем объясняется тем, что эта культура требует многократной обработки почвы, в процессе которой достигается равномерное перемешивание органических и минеральных компонентов и происходит оптимизация ее воздушного режима. Низкая активность разложения клетчатки под многолетними травами обусловлена образованием плотной дернины, что затрудняет поступление воздуха в верхнюю часть почвенного профиля.

Оптимизация дерново-подзолистой песчаной почвы под действием торфования и землевания повышала активность гидролитических ферментов (протеазы, уреазы, инвертазы), катализирующих реакции расщепления органических веществ (табл. 6). Повышение активности этих ферментов свидетельствует о возрастании интенсивности биохимического разложения протеиновых веществ, мочевины и углеводов. При этом возрастала активность выделения оптимизированной почвой углекислого газа, что отражает увеличение скорости минерализации углеродсодержащих соединений. Наиболее высокая активность ферментов выявлена под картофелем, самая низкая – под многолетними травами, а ячмень занимал промежуточное положение, что также объясняется изменением степени аэрации почвы в процессе ее обработки под разными культурами. Следовательно, увеличение общего содержания микроорганизмов и повышение ферментативной активности оптимизированной песчаной почвы явилось одним из мощных биологических факторов, обеспечивающих формирование ее высокого плодородия.

Таблица 6

Изменение биологической активности дерново-подзолистой песчаной почвы под действием торфования и землевания

Показатели биологической активности	Картофель		Ячмень		Многолетние травы	
	фон*	опыт**	фон*	опыт**	фон*	опыт**
Протеолитическая, % разложения желатина	28	40	20	32	15	26
Уреазная, мг NH ₃ /10 г почвы	30	48	22	34	18	28
Инвертазная, мг глюкозы на 1 г почвы	36	52	28	40	20	30
Выделение почвой углекислого газа (дыхание), мг/100 г почвы	40	61	30	50	22	36

Примечание: фон* – исходная почва + NPK; опыт** – фон + 200 т/га компоста + 300 т/га суглинка

Урожай картофеля на оптимизированной почве повышается на 76–126 ц/га, при урожайности на контроле 110 ц/га, а продуктивность ячменя возрастает с 15 до 36 ц/га, или на 140%. Наиболее высокая урожайность этих культур отмечена в вариантах, где торфоновозный компост применялся совместно с суглинком в дозах 300 и 400 т/га. При этом в зерне ячменя и клубнях картофеля повышалось

содержание протеина, а также таких микроэлементов как медь, цинк, марганец и железо. При внесении 300 т/га суглинка урожай сена многолетних трав достигал 99,3 ц/га, прибавка составила 31,0 ц/га, или 45,3%. Увеличение доз суглинка от 300 до 400 т/га привело к повышению урожайности сена многолетних трав с 99,3 до 113,4 ц/га, т. е. на 14,1 ц/га.

Экономическая эффективность применения торфоновозного компоста и суглинка для оптимизации свойств дерново-подзолистой песчаной почвы определяется соотношением между стоимостью полученной дополнительной продукции растениеводства и затратами, обеспечивающими производство этой продукции и улучшение свойств почвы.

В 1-й год окультуривания песчаной почвы при возделывании картофеля и внесении торфоновозного компоста совместно с суглинком в дозе 100 т/га стоимость дополнительной продукции составила 1725 \$/га, а затраты на оптимизацию и уборку дополнительной продукции – 700 \$/га. Это обеспечило получение дополнительного дохода на сумму 1025 \$/га, или 1,5 \$ дохода на каждый 1 \$ затрат. При увеличении доз суглинка происходило увеличение стоимости дополнительной продукции картофеля. Однако в связи со значительным увеличением затрат на землевание отмечено уменьшение дополнительного дохода до 0,9 \$ на каждый 1 \$ затрат.

Во 2-й год исследований при возделывании ячменя была определена экономическая эффективность последствий внесения торфоновозного компоста и суглинка в дерново-подзолистую песчаную почву и ее изменение в зависимости от величины доз компоста и суглинка. При внесении в почву компоста 200 т/га и суглинка 100 т/га получен дополнительный доход на сумму 100,5 \$/га или 9 \$ дохода на каждый \$ затрат. При увеличении доз суглинка наблюдали рост стоимости дополнительной продукции и собственно дохода. При этом наибольший доход получен в варианте с максимальной дозой суглинка.

В 3–5 год исследований при возделывании многолетних трав дополнительный доход от последствий торфования и землевания составил 96–110 \$/га или 8–11 \$ дохода на каждый \$ затрат. Величина дополнительного дохода определялась стоимостью дополнительной продукции, которая достигала максимального значения на варианте с внесением суглинка в дозе 400 т/га.

Таким образом, коренное улучшение дерново-подзолистой песчаной почвы путем торфования и землевания стимулирует развитие микроорганизмов различных эколого-трофических групп и повышает активность гидролитических ферментов, что обеспечивает интенсивную минерализацию органических соединений и формирование высокого почвенного плодородия.

Заключение

Коренное улучшение дерново-подзолистой песчаной почвы под действием торфования и землевания достигается за счет повышения содержания физической глины и гумуса. Это обеспечивает оптимизацию ее агрохимических свойств: уменьшается обменная кислотность, увеличивается сумма обменных оснований, а также содержание подвижного фосфора и обменного калия.

Внесение торфоновозного компоста и суглинка в песчаную почву приводит к увеличению численности микроорганизмов различных эколого-трофических групп, принимающих участие в минерализации органического вещества, а также стимулирует развитие бактерий круговорота азота.

В условиях оптимизации песчаной почвы наблюдается повышение активности гидролитических ферментов (протеаза, уреазы, инвертазы), катализирующих реакции расщепления органических веществ. Повышается активность выделения окультуренной почвой углекислого газа, что отражает увеличение скорости минерализации углеродсодержащих соединений. Это свидетельствует об усилении роли биологических механизмов активной минерализации органических веществ в почве.

Торфование и землевание дерново-подзолистой песчаной почвы является эффективным агротехническим приемом, повышающим урожай картофеля на 76–126%, урожай ячменя на 81–140%, урожай сена многолетних трав на 45,3–66,0%.

Список литературы

1. Андронов, Е. Е., Иванова, Е. А., Першина, Е. В. Анализ показателей почвенного микробиома в процессах, связанных с почвообразованием, трансформацией органического вещества и тонкой регуляцией вегетационных процессов // Бюллетень почвенного института им. В. В. Докучаева, 2015, Вып. 80. – С. 83–93.
2. Добровольский, Г. В. Деградация и охрана почв / Г. В. Добровольский. – М.: Наука, 2002. – 654 с.
3. Соколов, М. С., Дородных, Ю. Л., Марченко, А. И. Здоровая почва как необходимое условие жизни человека // Почвоведение. – 2010. – № 7. – С. 858–866.

4. Маринеску, К. М. Экология микробного ценоза эродированных черноземов и восстановление его функций // Идентификация, ресурсосбережение и охрана почв в адаптивно-ландшафтных системах земледелия. – Курск, 2008. – С. 550–554.

5. Ягодин, Б. А., Дерюгин, И. П., Жуков, Ю. П. Практикум по агрохимии / Б. А. Ягодин, И. П. Дерюгин, Ю. П. Жуков. – М., 1987. – 512 с.

6. Доспехов, Б. А. Планирование полевого опыта и статистическая обработка его данных / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1972. – 351 с.

7. Звягинцев, Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Д. Г. Звягинцев. – М., 1991. – 448 с.

E. E. Gaevskii, Ya. K. Kulikov

EFFECT OF SANDY SODDY-PODZOLIC SOIL CULTIVATION ON IT'S MICROBIOLOGICAL DIVERSITY AND BIOLOGICAL ACTIVITY

Adding of peat-manure compost and loam to the sandy soddy-podzolic soil had a positive impact on its agrochemical properties, resulting in increased numbers of microorganisms of different physiological groups and increased the activity of hydrolytic enzymes. Most notably the number of bacteria of the nitrogen cycle increased significantly, which is important for increasing the fertility of sandy soils. Activation of biological processes in the optimized sandy soil ensured the formation of high yields of potatoes, barley and perennial grasses.