

УДК 579.64

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОКУЛЬТУРИВАНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТОРФОВАНИЯ И ЗЕМЛЕВАНИЯ

Е. Е. ГАЕВСКИЙ¹⁾, Я. К. КУЛИКОВ¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет,
пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Приведены результаты исследования по изучению микрофлоры дерново-подзолистой песчаной почвы в процессе окультуривания под действием торфования и землевания. Решение проблемы эффективного использования дерново-подзолистых песчаных почв и повышение их плодородия является важной задачей агропочвоведения и агроэкологии. Окультуривание дерново-подзолистой песчаной почвы торфованием и землеванием повышает содержание органического вещества с 1,4 до 4,1 % и обеспечивает оптимизацию структурной организации микробного комплекса, что проявляется в увеличении показателя видовой разнообразия бактериальной флоры с 19,4 до 30,6 %. При этом в окультуренной песчаной почве формируются качественно новые микробные ценозы, видовой состав которых более чем на 50 % отличается от бактериальных комплексов неоккультурированной почвы.

Ключевые слова: песчаная почва; окультуривание; микробные сообщества; видовой состав; энергетическая эффективность; продуктивность.

MICROBIOLOGICAL AND ENERGY ASSESSMENT OF CULTIVATION OF SOD-PODZOLIC SAND SOIL UNDER THE ACTION OF PEAT AND LOAM

E. E. GAEVSKII^a, YA. K. KULIKOV^a

^aBelarusian State University, 4 Nezaliežnasci, Minsk 220030, Belarus
Corresponding author: E. E. Gaevskii (ecodept@tut.by)

The paper presents the results of the study on the microflora of sod-podzolic sandy soil in the process of cultivation under the influence of peat and loam. Solving the problem of the effective use of sod-podzolic sandy soils and increasing their fertility is an important task of agricultural soil science and agroecology. The cultivation of sod-podzolic sandy soil under the action of peat and loam soil increases the content of organic matter from 1.4 to 4.1 % and optimizes the structural organization of the microbial complex, which is reflected in an increase in the species diversity of the bacterial flora from 19.4 to 30.6 %. Moreover, in the conditions of cultivated sandy soil, qualitatively new microbial cenoses are formed the species composition of which differs by more than 50 % from the bacterial complexes of uncultivated soil.

Key words: sandy soil; cultivation; microbial communities; species composition; energy efficiency; productivity.

Образец цитирования:

Гаевский ЕЕ, Куликов ЯК. Микробиологическая и энергетическая оценка окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы под действием торфования и землевания. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2019;4:100–107.

For citation:

Gaevskii EE, Kulikov YaK. Microbiological and energy assessment of cultivation of sod-podzolic sand soil under the action of peat and loam. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2019;4:100–107. Russian.

Авторы:

Евгений Евгеньевич Гаевский – старший преподаватель кафедры общей экологии и методики преподавания биологии биологического факультета.

Ярослав Константинович Куликов – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры общей экологии и методики преподавания биологии биологического факультета.

Author:

Eugene E. Gaevskii, senior lecturer at the department of general ecology and methods of biology teaching, faculty of biology.

gaevski@rambler.ru

Yaroslav K. Kulikov, doctor of science (biological), docent, professor at the department of general ecology and methods of biology teaching, faculty of biology.

ecodept@tut.by

Введение

Окультуривание почв требует улучшения их основных свойств: повышения содержания гумуса и оптимизации гранулометрического состава, которые медленно изменяются во времени. Одним из перспективных направлений коренного улучшения низкоплодородных почв является оптимизация их качества на основе торфования и землевания. Это особенно актуально для дерново-подзолистых песчаных почв, занимающих более 20 % площади пахотных земель Беларуси. Почвы такого типа обладают низким плодородием и в процессе сельскохозяйственного использования быстро истощаются. Использование нетрадиционных мелиоративных мероприятий, в частности землевания и торфования, резко меняет направленность почвообразовательных процессов, стабилизирует состав и свойства улучшаемых почв и способствует их ускоренному окультуриванию. Однако теоретические основы таких структурных мелиораций разработаны недостаточно вследствие слабой изученности механизмов образования органоминеральных комплексов, обеспечивающих закрепление органических веществ в почве [1; 2].

Повышение продуктивности сельскохозяйственных культур на низкоплодородных песчаных почвах невозможно без разработки новых приемов и методов их использования, основанных на максимальной интродукции биологических факторов, в частности почвенной микробиоты. Поэтому выбор и уточнение адекватных, объективных и достоверных целевых индикаторов биологического состояния земель сельскохозяйственного назначения является актуальным и необходимым как для определения качества почв, так и при разработке мер по воспроизводству почвенного плодородия в каждом конкретном регионе. Это позволит достигнуть высокой степени экономической эффективности использования песчаных почв, позволяющей снять вопрос о целесообразности вывода их из сельскохозяйственного оборота и тем самым повысить уровень продовольственной безопасности страны [3; 4].

Отсутствие комплексного подхода в освоении и сельскохозяйственном использовании дерново-подзолистых песчаных почв не позволяет коренным образом улучшать их свойства и режимы, повышать и стабилизировать плодородие. Цель исследования – изучение влияния окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы под действием торфования и землевания на структуру ее микробиологического разнообразия и энергетическую эффективность этого мероприятия.

Материалы и методы исследования

Полевые опыты проводили в 2005–2010 гг. на базе хозяйства «ПМК-16 АГРО» Борисовского р-на Минской обл. на дерново-подзолистой связнопесчаной почве.

Схема полевого опыта включала 5 вариантов:

1. Контроль (фон).
2. Фон + 200 т/га компоста + 100 т/га суглинка.
3. Фон + 200 т/га компоста + 200 т/га суглинка.
4. Фон + 200 т/га компоста + 300 т/га суглинка.
5. Фон + 200 т/га компоста + 400 т/га суглинка.

На опытные делянки площадью 50 м² в четырехкратной повторности вносили суглинок из расчета 100, 200, 300 и 400 т/га, а также торфонавозный компост в дозе 200 т/га при соотношении навоза и торфа 1:1.

Вносимый легкий суглинок характеризовался следующими агрохимическими показателями: рН_{KCl} – 6,1; сумма обменных оснований – 4,3 мг-экв/100 г почвы; подвижный фосфор – 229, обменный калий – 330 мг/кг почвы; содержание меди – 1,0, цинка – 4,6, бора – 0,44 мг/кг. Содержание физической глины – 26 %, органического вещества (гумуса) – 1,8 %.

Для приготовления торфонавозного компоста использовали низинный торф с зольностью 30 %; рН_{KCl} – 6,4; суммой обменных оснований – 19,6 мг-экв/100 г почвы, Р₂О₅ – 991, К₂О – 1200 мг/кг почвы; содержанием меди – 3,6, цинка – 14,4, бора – 2,7 мг/кг. В торфонавозном компосте 70 %-ной влажности содержалось органического вещества – 220, N_{общ} – 6, Р₂О₅ – 2, К₂О – 5, СаО – 4,5, MgO – 1 кг/т. Суглинок вносили с целью повышения содержания физической глины в почве и закрепления органического вещества в пахотном горизонте. Торфонавозный компост применяли не только с целью повышения содержания органического вещества в почве, но и для активизации деятельности почвенной микробиоты.

Для микробиологического анализа почвы отбирали образцы с глубины 1–20 см в четырех полевых повторностях. Учет численности микроорганизмов проводили по общепринятой методике на агаризованных питательных средах [5; 6].

Полевые опыты закладывали в системе пятипольного севооборота: картофель – ячмень – многолетние травы (трех лет пользования). В первый год опыта возделывали картофель сорта Темп. Это об-

условлено тем, что внесенные под картофель минеральные и органические компоненты хорошо перемешиваются с припаханным слоем почвы в 15–20 см при вспашке, окучивании, уборке урожая. Выбор картофеля в качестве исходной культуры определялся его высокой отзывчивостью на внесение органических и минеральных удобрений. Кроме того, картофель как пропашная культура характеризуется высоким выносом элементов минерального питания с урожаем клубней. В качестве фона под картофель вносили макроудобрения из расчета $N_{20}P_{40}K_{80}$.

На второй год после внесения торфонавозного компоста и суглинка изучалось их последствие на урожай ячменя сорта Коралл по фону $P_{40}K_{80}$. При возделывании зерновой культуры формировался равномерный органоминеральный пахотный горизонт. Последствие окультуривания песчаной почвы на третий-пятый год после внесения торфонавозного компоста и суглинка изучалось на многолетних бобово-злаковых травах (клевер луговой *Trifolium pratense* L., тимopheвка луговая *Phleum pratense* L., ежа сборная *Dactylis glomerata* L.), где в качестве фона применяли $N_{40}P_{80}K_{120}$. Минеральные удобрения вносились в форме аммиачной селитры, двойного суперфосфата и хлористого калия. Обработку почвы, сроки, нормы посева и уход за культурами в период вегетации проводили в соответствии с агротехническими требованиями, рекомендуемыми для центральной части Беларуси.

Для проведения энергетического анализа нами учитывались затраты на производство органических удобрений, их перевозку и внесение, а также уборку и доработку дополнительной продукции. Кроме того, дополнительно определялись затраты энергии на заготовку фрезерного торфа и суглинка, их погрузку, транспортировку и внесение в почву. Дальность перевозки торфа и суглинка в нашем опыте не превышала два километра. Энергия, содержащаяся в прибавке урожайности, полученная в результате торфования и землевания песчаной почвы определялась по энергетическому эквиваленту каждой культуры. Коэффициент энергоотдачи рассчитывался по отношению между энергией, содержащейся в прибавке от органических удобрений, и суглинка, а также энергией, затраченной на их применение.

Результаты исследования и их обсуждение

На дерново-подзолистой песчаной почве численность микроорганизмов подвержена значительным колебаниям, связанным с применением торфонавозного компоста и различных доз суглинка. В связи с этим возникает необходимость оценки величины этих колебаний и влияния их на устойчивость микробных ценозов окультуренной песчаной почвы.

При изучении микрофлоры дерново-подзолистых песчаных почв, наряду с определением количества и соотношением отдельных эколого-трофических групп, необходимо учитывать особенности качественного состава почвенной микробиоты.

Нами было проведено изучение влияния торфования и землевания на видовой состав микрофлоры дерново-подзолистой песчаной почвы. В настоящее время отсутствуют четкие критерии и показатели для характеристики видовой состава микробных сообществ почв различных типов. Наиболее часто определяется отношение количества штаммов определенного рода или вида микроорганизмов к общему числу штаммов. Однако такой подход затрудняет объективную экологическую оценку особенностей микрофлоры разных почв.

При изучении бактериальной флоры основное внимание было уделено спорообразующим бактериям, которые играют важную роль в почвообразовательных процессах. В неокультуренной дерново-подзолистой песчаной почве из спорообразующих бактерий преобладали *Bacillus subtilis* и *Bac. megaterium*. Окультуривание дерново-подзолистой песчаной почвы сопровождалось увеличением количества *Bacillus subtilis* в 1,5 раза, а *Bac. cereus* – в 5 раз, при этом количество *Bac. megaterium* уменьшалось в 3 раза. Численно преобладающими в окультуренной почве были виды *Bac. subtilis* и *Bac. cereus*. Количество представителей анаэробных спорообразующих бактерий рода *Clostridium*, обладающих азотфиксирующей способностью, возрастало в дерново-подзолистой песчаной почве под действием торфования и землевания с 61 тыс./г почвы до 200–380 тыс./г почвы в зависимости от режима окультуривания (табл. 1).

В составе микроскопических грибов в изучаемой почве преобладали представители рода *Penicillium*, причем в условиях окультуривания их количество возрастало в 2–3 раза. Следует отметить, что видовой состав грибов был более разнообразным в окультуренной почве. Под действием торфования и землевания дерново-подзолистой песчаной почвы увеличивалось также количество актиномицетов и их видовое разнообразие. Таким образом, в условиях окультуривания песчаной почвы под действием торфования и землевания увеличивается количество и видовое разнообразие микрофлоры, представленной бактериями, микроскопическими грибами и актиномицетами.

Таблица 1

Влияние окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы на таксономическую структуру ее микробиологического разнообразия, тыс./г почвы

Table 1

The influence of cultivation of sod-podzolic sandy soil on the taxonomic structure of its microbiological diversity, thousand / g of soil

Группа микроорганизмов	Фон (контроль)	Фон + 200 т/га компоста + 200 т/га суглинка	Фон + 200 т/га компоста + 300 т/га суглинка
Спорообразующие аэробные бактерии, всего	430	505	570
<i>Bacillus subtilis</i>	280	355	420
<i>Bacillus cereus</i>	30	90	150
<i>Bacillus megaterium</i>	120	60	40
Спорообразующие анаэробные бактерии, <i>Clostridium</i>	61	200	380
Микроскопические грибы, всего	23	49	78
<i>Penicillium</i>	12	26	36
<i>Fusarium</i>	5	7	10
<i>Trichoderma</i>	–	3	4
<i>Mucor</i>	–	5	6
<i>Aspergillus</i>	6	8	12
Актиномицеты, всего	0,5	2,7	3,6
<i>Streptomyces griseus</i>	0,3	0,8	1,1
<i>Streptomyces albus</i>	0,2	0,9	1,2
<i>Streptomyces roseus</i>	–	0,6	0,7
<i>Streptomyces flaveolus</i>	–	0,4	0,6

Для характеристики видового состава микрофлоры почвы использовали показатели, обычно применяемые для оценки сообществ растительных и животных организмов. Анализ видового состава микрофлоры начинается с выделения доминирующих и широко распространенных видов. Принимая во внимание, что сравниваемые популяции микрофлоры почвы имели примерно одинаковые соотношения размеров и характеризовались некоторыми общими чертами их метаболизма, использовался показатель доминирования Симпсона [7], который вычисляется по формуле:

$$C = \sum (n_i)^2 / N, \text{ где}$$

C – показатель доминирования;

n_i – количество штаммов, относящихся к данному роду;

N – общее количество исследуемых штаммов.

Наиболее высоким показателем доминирования выделялся род *Bacillus* (табл. 2).

Таблица 2

Показатели доминирования (C) для микроорганизмов, выделенных из дерново-подзолистой песчаной почвы

Table 2

Dominance indices (C) for microorganisms isolated from sod-podzolic sandy soil

Род микроорганизмов	Фон (контроль)	Фон + 200 т/га компоста + 300 т/га суглинка
<i>Bacillus</i>	0,0959	0,0671
<i>Micrococcus</i>	0,0368	0,0599
<i>Pseudomonas</i>	0,0332	0,0345
<i>Chromobacterium</i>	0,0241	0,0273
<i>Mycobacterium</i>	0,0023	0,0019
<i>Sarcina</i>	0,0012	0,0002

Для микробных ценозов неокультуренной песчаной почвы показатель доминирования рода *Bacillus* был выше, чем для окультуренной почвы. Для неспорообразующих микроорганизмов рода *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Chromobacterium* показатели доминирования в окультуренной почве были выше, чем в неокультуренной. Среди неспорообразующих микроорганизмов доминировали представители рода *Micrococcus* и *Pseudomonas*.

Сравнивая видовой состав гетеротрофных бактерий окультуренной и неокультуренной почв, отмечали общие для них виды. Сходство видового состава определяли по показателю Серенсена [8]:

$$S = 2C/A+B, \text{ где}$$

S – показатель сходства;

A – количество видов, выделенных из окультуренной песчаной почвы;

B – из неокультуренной песчаной почвы;

C – число видов, общих для обеих почв.

Для видового состава бактерий в целом окультуренной песчаной почвы показатель сходства был невысок – 0,49. Это свидетельствует о том, что при торфования и землевании песчаной почвы сформировались качественно новые микробные ценозы, похожие на ценозы неокультуренной песчаной почвы всего лишь на 49 %. Показатели Серенсена для отдельных групп микроорганизмов указывали, что наибольшее сходство видового состава характерно для рода *Bacillus*. Для неспорообразующих бактерий показатели сходства колебались от 0,46 до 0,40 (табл. 3).

Таблица 3

Изменение видового состава бактериальной флоры дерново-подзолистой песчаной почвы под действием торфования и землевания

Table 3

Changes in the species composition of the bacterial flora of sod-podzolic sandy soil under the influence of peat and land

Род микроорганизмов	Количество видов, выделенных из окультуренной почвы	Количество видов, выделенных из неокультуренной почвы	Количество видов, общих для обеих почв	Показатель сходства	Показатель несходства
<i>Bacillus</i>	7	8	5	0,66	0,34
<i>Micrococcus</i>	8	5	3	0,46	0,54
<i>Pseudomonas</i>	9	4	3	0,46	0,54
<i>Chromobacterium</i>	6	4	2	0,40	0,60

Видовой состав микробных ценозов характеризуется тем, насколько разнообразно представлен в разных почвах. Для оценки этого качества использовался показатель видового разнообразия, вычисленный по формуле [9]:

$$d = S-1 / \log N, \text{ где}$$

S – количество видов в пределах рода или сообщества;

N – количество штаммов, относящихся к этому роду или сообществу.

В условиях окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы под действием торфования и землевания показатель видового разнообразия бактериальной флоры возрастал с 19,4 до 30,6. Видовой состав рода *Bacillus* в неокультуренной песчаной почве представлен разнообразнее, чем в окультуренной. Однако неспорообразующие бактерии окультуренной песчаной почвы характеризовались более высоким уровнем видового разнообразия. Следовательно, в процессе торфования и землевания песчаной почвы структура ее микробных ценозов становится динамичнее, что обеспечивает формирование высокого почвенного плодородия.

Применение торфонавозного компоста и суглинка под картофель в дозе 100 т/га повышало содержание органического вещества в дерново-подзолистой песчаной почве с 1,4 до 2,5 % (табл. 4). С увеличением доз вносимого суглинка содержание органического вещества закономерно возрастало и достигало 3,1–3,7 %. На второй год окультуривания песчаной почвы (при возделывании ячменя) содержание органического вещества продолжало оставаться на высоком уровне и составило 3,6–3,9 %. На третий год после проведенного торфования и землевания дерново-подзолистой песчаной почвы сохранялась наметившаяся тенденция к увеличению содержания органического вещества по всем вариантам опыта. Содержание органического вещества под травами первого года пользования составило 3,0–4,0 % при со-

держании в контроле 1,6 %, что свидетельствует о высокой обеспеченности дерново-подзолистой песчаной почвы органическим веществом. Данная закономерность сохранялась и на пятый год исследований. Так, под травами третьего года пользования в окультуренной почве содержание органического вещества колебалось в пределах 3,4–4,1 %.

Таблица 4

Влияние торфования и землевания на содержание органического вещества в пахотном горизонте песчаной почвы, %

Table 4

The effect of peat and land on the content of organic matter in the arable horizon of sandy soil, %

Вариант	Картофель	Ячмень	Многолетние травы 1-го года	Многолетние травы 2-го года	Многолетние травы 3-го года
Фон (контроль)	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
Фон+200 т/га компоста+100 т/га суглинка	2,5	2,8	3,0	3,2	3,4
Фон+200 т/га компоста+200 т/га суглинка	3,1	3,1	3,2	3,5	3,7
Фон+200 т/га компоста+300 т/га суглинка	3,5	3,6	3,7	3,8	4,0
Фон+200 т/га компоста+400 т/га суглинка	3,7	3,9	4,0	4,1	4,1
НСР ₀₅	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09

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

Торфование и землевание дерново-подзолистой песчаной почвы оптимизирует структуру микробного комплекса, что позволяет за сравнительно короткий срок значительно улучшить ее плодородие и обеспечить получение высокой продуктивности сельскохозяйственных культур.

Анализ полученных данных свидетельствует, что продуктивность пятипольного севооборота в контроле составила 22,89 тыс. к. ед./ га (табл. 5).

Таблица 5

Влияние торфования и землевания дерново-подзолистой песчаной почвы на продуктивность пятипольного севооборота

Table 5

The effect of peat and land on the content of organic matter in the arable horizon of sandy soil, %

Вариант	Продуктивность культур севооборота, тыс. к. ед. / га			Продуктивность севооборота, тыс. к. ед./га	В среднем за 1 год, тыс. к. ед./га	Прибавка	
	картофель	ячмень	многолетние травы			тыс.к. ед./га	%
Фон (контроль)	3,31	2,16	17,42	22,89	4,58	–	–
Фон+200 т/га компоста + + 100 т/га суглинка	5,59	3,92	20,68	30,19	6,04	1,46	31,9
Фон+200 т/га компоста + + 200 т/га суглинка	6,35	4,52	22,39	33,26	6,65	2,07	45,2
Фон+200 т/га Компоста+ + 300 т/га суглинка	6,80	4,97	25,32	37,09	7,42	2,84	62,0
Фон+200 т/га компоста + + 400 т/га суглинка	7,10	5,18	28,92	41,20	8,24	3,66	79,9

Внесение суглинка в дозе 100 т/га совместно с торфонавозным компостом повышало продуктивность севооборота до 30,2 тыс. к. ед./га, или на 32 %. С увеличением доз вносимого суглинка до 400 т/га продуктивность севооборота закономерно возрастала и достигла максимальной величины – 41,2 тыс. к. ед./га, что было на 80 % больше по сравнению с контролем и обеспечило среднегодовую прибавку на 3,7 тыс. к. ед./га.

Как известно, земледелие является одновременно крупным потребителем энергии и производителем наиболее ценного для человека ее вида – химической энергии, запасенной в продуктах питания и органическом сырье. В этой системе можно определить затраченную и полученную энергию в одних и тех же единицах (калория, джоуль). Такой подход дает возможность количественно оценить продуктивность сельскохозяйственных культур с энергетической точки зрения и определить энергетическую эффективность ее получения.

Для проведения энергетического анализа нами учитывались затраты на производство органических удобрений, их перевозку и внесение, а также уборку и доработку дополнительной продукции. Кроме того, дополнительно определялись затраты энергии на заготовку фрезерного торфа и суглинка, их погрузку, транспортировку и внесение в почву. Энергия, содержащаяся в прибавке урожайности, полученная в результате торфования и землевания песчаной почвы, определялась по энергетическому эквиваленту каждой культуры. Коэффициент энергоотдачи рассчитывался по отношению между энергией, содержащейся в прибавке от органических удобрений, и суглинка, а также энергией, затраченной на их применение. Результаты энергетического анализа окультуривания песчаной почвы представлены в табл. 6.

Таблица 6

Энергетическая оценка торфования и землевания дерново-подзолистой песчаной почвы в пятипольном севообороте

Table 6

Energy assessment of peat and loam sod-podzolic sandy soil in a five-field crop rotation

Вариант	Прибавка от торфования и землевания, тыс. к.ед/га	Энергия, содержащаяся в прибавке, МДж	Энергозатраты на прибавку, МДж	Удельные энергозатраты, МДж/ц	Энергоотдача (коэффициент)
Контроль (фон)	–	–	–	–	–
Фон+200 т/га компоста+100 т/га суглинка	1,46	23 214	13 981	958	1,7
Фон+200 т/га компоста+200 т/га суглинка	2,07	32 913	20 570	994	1,6
Фон+200 т/га компоста+300 т/га суглинка	2,84	45 156	30 104	1060	1,5
Фон+200 т/га компоста+400 т/га суглинка	3,66	58 194	41 567	1136	1,4

Полученные данные свидетельствуют, что наиболее выгодным, с энергетической точки зрения, является применение торфонавозного компоста совместно с суглинком в дозе 100 т/га. В данном случае энергия, аккумулированная в прибавке урожая, составила 23 214 МДж, а энергозатраты на прибавку – 13 981 МДж, что обеспечило высокую энергоотдачу (коэффициент энергоотдачи – 1,7). С повышением доз вносимого суглинка до 200 т/га, несмотря на увеличение количества энергии, содержащейся в прибавке урожая, наблюдалось возрастание удельных энергозатрат с 958 до 994 МДж, что привело к уменьшению коэффициента энергоотдачи с 1,7 до 1,6. Наиболее низкий вариант энергоотдачи от торфования и землевания выявлен при дозе суглинка 400 т/га. При этом энергозатраты на прибавку урожая составили 41 567 МДж, а удельные энергозатраты – 1136 МДж/ц, в результате чего коэффициент энергоотдачи уменьшился до 1,4. Следовательно, в результате окультуривания песчаной почвы под действием торфования и землевания формируется прибавка урожая сельскохозяйственных культур, в которой запасы аккумулированной химической энергии на 40–70 % превосходят затраты технической энергии, направленной на ее получение. Это свидетельствует о высокой энергетической эффективности окультуривания песчаной почвы путем торфования и землевания.

Заключение

Окультуривание дерново-подзолистой песчаной почвы под действием торфования и землевания повышает содержание органического вещества с 1,4 до 4,1 % и обеспечивает оптимизацию структурной организации микробного комплекса, что проявляется в увеличении показателя видового разнообразия бактериальной флоры с 19,4 до 30,6 %. При этом в условиях окультуренной песчаной почвы формируются качественно новые микробные ценозы, видовой состав которых более чем на 50 % отличается от бактериальных комплексов неокультуренной почвы.

Улучшение микробиологического разнообразия и плодородия дерново-подзолистой песчаной почвы в условиях торфования и землевания сопровождается повышением продуктивности пятипольного севооборота с 22,9 до 41,2 тыс. к. ед. / га, или на 80 % по сравнению с контролем, что обеспечивает среднегодовую прибавку на уровне 3,7 тыс. к. ед. / га.

Окультуривание дерново-подзолистой песчаной почвы на основе торфования и землевания характеризуется высокой энергетической эффективностью, так как в результате этого формируется прибавка урожая сельскохозяйственных культур, в которой запасы аккумулированной химической энергии на 40–70 % превосходят затраты технической энергии, направленной на получение этой прибавки.

Библиографические ссылки

1. Гаевский ЕЕ. Влияние торфонавозного компоста и суглинка на свойства дерново-подзолистой песчаной почвы и урожайность многолетних бобово-злаковых трав. *Земледелие и защита растений*. 2014;3:28–33.
2. Куликов ЯК, Гаевский ЕЕ. Эколого-микробиологическая оценка оптимизации дерново-подзолистой песчаной почвы. *Мелиорация*. 2015;2(74):113–123.
3. Гаевский ЕЕ, Куликов ЯК. Влияние окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы на ее водно-физические свойства и продуктивность. *Мелиорация*. 2016; 1(75): 90–98.
4. Гаевский ЕЕ, Куликов ЯК. Влияние окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы на ее микробиологическое разнообразие и биологическую активность. *Экологический вестник*. 2016;2(36):17–25.
5. Асеева ИВ, Бабьева ИП, Бызов БА, Гузев ВС, и др. *Методы почвенной микробиологии и биохимии*. Звягинцев ДГ, редактор. Москва: Издательство Московского государственного университета; 1991. 304 с.
6. Колешко ОИ. *Экология микроорганизмов почвы*. Минск: Белорусский государственный университет; 1981. 168 с.
7. Simpson EH. Measurement of diversity. *Nature*. 1949;163:688–703.
8. Одум Ю. *Основы экологии*. Москва: Мир; 1975. 740 с.
9. Margalef R. *Perspectives in ecological theory*. Chicago: University Chicago press; 1968. 112 p.

References

1. Gaevskii EE. *Vliyanie torfonavoznogo komposta i suglinka na svoystva dernovo-podzolistoy pochvy i urozhaynost' mnogoletnikhbobovo-zlakovykh trav* [Influence of peat moss compost and loam on the properties of sod-podzolic sandy soil and the productivity of perennial leguminous-grasses]. *Zemledelie i zashchita rasteniy* [Agriculture and Plant Protection], 2014;3:28–33. Russian.
2. Kulikov YaK, Gaevskii EE. *Ekologo-mikrobiologicheskaja otsenka optimizatsii dernovo-podzolistoy peschanoy pochvy* [Ecological and microbiological assessment of optimization of sod-podzolic sandy soil]. *Melioratsija* [Melioration]. 2015;2(74):113–123. Russian.
3. Gaevskii EE, Kulikov YaK. *Vliyanie okul'turivaniya dernovo-podzolistoy peschanoy pochvy na ee vodno-fizicheskie svoystva i produktivnost'* [The influence of cultivation of sod-podzolic sandy soil on its water-physical properties and productivity]. *Melioratsija* [Melioration]. 2016;1(75):90–98. Russian.
4. Gaevskii EE, Kulikov YaK. *Vliyanie okul'turivaniya dernovo-podzolistoy peschanoy pochvy na ee mikrobiologicheskoe raznoobrazie i biologicheskuyu aktivnost'* [Influence of cultivation of sod-podzolic sandy soil on its microbiological diversity and biological activity]. *Ekologicheskij vestnik* [Ecological Bulletin]. 2016;2(36):17–25. Russian.
5. Aseeva IV, Babeva IP, Byzov BA, Guzev VS, et al. *Metody pochvennoy mikrobiologii i biokhimii* [Methods of soil microbiology and biochemistry]. Zvyagintsev DG, editor. Moscow: Publishing House of Moscow State University; 1991. 304 p. Russian.
6. Koleshko OI. *Ekologija mikroorganizmov pochvy* [Ecology of soil microorganisms]. Minsk: Belarusian State University; 1981. 168 p. Russian.
7. Simpson EH. Measurement of diversity. *Nature*. 1949;163:688–703.
8. Odum Yu. *Osnovy ekologii* [Fundamentals of Ecology]. Moscow: Mir; 1975. 740 p. Russian.
9. Margalef R. *Perspectives in ecological theory*. Chicago: University Chicago press; 1968. 112 p.