



БІАЛОГІЯ

УДК 631.6:631.879.4:631.445.24

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОКУЛЬТУРИВАНИЯ ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТОЙ ПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ БЕЛАРУСИ

Е.Е. Гаевский, Я.К. Куликов

Белорусский государственный университет

Показана высокая эффективность окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы путем разового внесения высоких доз суглинка и торфонавозного компоста. Окультуривание этой почвы достигается за счет значительного повышения содержания гумуса и улучшения его качественного состава. Подобным образом оптимизируются агрохимические свойства и водный режим почвы, а также возрастает ее биологическая активность.

Цель статьи – выявление агроэкологических и микробиологических особенностей окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы путем ее торфования и землевания.

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

Схема полевого опыта включала 5 вариантов, где на опытные деланки 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.

Результаты и их обсуждение. В процессе окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы путем торфования и землевания повышалось содержание гумуса с 1,4 до 3,0%.

Структурная мелиорация улучшила качественный состав гумуса, что проявилось в увеличении удельного веса гуминовых кислот и уменьшении доли фульвокислот.

Окультуривание песчаной почвы способом торфования и землевания оказало положительное влияние на ее биологическую активность, что выразилось в увеличении численности гетеротрофных бактерий, актиномицетов и микроскопических грибов. Это обеспечило активную минерализацию органического вещества, внесенного с торфом и суглинком в песчаную почву, освобождение азота и превращение его в минеральные соединения.

Заключение. Окультуривание дерново-подзолистой песчаной почвы под действием торфования и землевания достигается за счет изменения направленности микробиологических процессов минерализации и гумификации органических веществ в пользу синтеза гуминовых кислот и улучшения их качественного состава, что приводит к накоплению гумуса и формированию его положительного баланса.

Ключевые слова: торфование, землевание, песчаная почва, торфонавозный компост, суглинок, гумус, микробиологическое разнообразие, биологическая активность.

AGROECOLOGICAL AND MICROBIOLOGICAL SPECIFICITIES OF SANDY SODDY-PODZOLIC SOIL CULTIVATION IN BELARUS

E.E. Gayevski, Ya.K. Kulikov
Belarusian State University

High efficiency of the single application of peat-manure compost and loam for optimizing the properties of sandy soddy-podzolic soil was shown. Cultivation of sandy soil occurs through significant increase of the content of the physical clay and humus, as well as its qualitative composition improvement. Thereupon the agrochemical characteristics and water regime of soil are improved; its biological activity increases.

The purpose of our research was to identify agro-ecological and microbiological features of the cultivation of soddy-podzolic sandy soil by peat and earthing.

Material and methods. *Field experiments were carried out on the basis of the farm in Borisov District of Minsk Region on soddy-podzolic cohesive sandy soil.*

The scheme of the field experiment included 5 options, where loam was introduced into 50 m² of the experimental plots in four replicates at the rate of 100, 200, 300 and 400 t / hectare, as well as peat-manure compost at a dose of 200 t / hectare with a ratio of manure to peat 1:1.

Findings and their discussion. *In the process of cultivation of soddy-podzolic sandy soil by peat and earthing, the humus content increased from 1.4 to 3.0%.*

Structural amelioration improved the qualitative composition of humus, which manifested itself in an increase in the specific gravity of humic acids and a decrease in the proportion of fulvic acids. The cultivation of sandy soil by peat and land cultivation had a positive effect on its biological activity. This was manifested in an increase in the number of heterotrophic bacteria, actinomycetes, and microscopic fungi. This ensured active mineralization of organic matter introduced with peat and loam into sandy soil, liberation of nitrogen and its transformation into ammonium and nitrate compounds.

Conclusion. *Cultivation of soddy-podzolic sandy soil under the influence of peat and earthing is achieved by changing the direction of microbiological processes of mineralization and humification of organic substances in favor of the synthesis of humic acids and improving their qualitative composition, which leads to the accumulation of humus and the formation of its positive balance.*

Key words: *peat fertilization, earthing, sandy soil, peat-manure compost, loam, humus, microbiological diversity, biological activity.*

Перспективным направлением окультуривания дерново-подзолистых песчаных почв, занимающих более 20% площади пахотных земель Беларуси, является улучшение их свойств под действием торфования и землевания.

Актуальность данного подхода заключается в том, что он позволяет коренным образом изменять направленность почвообразовательных процессов в пользу гумификации органических веществ и обеспечивает ускоренное окультуривание этих почв. Однако теоретические основы таких структурных мелиораций разработаны слабо вследствие недостаточной изученности микробиологических механизмов воспроизводства почвенного плодородия [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 важным и необходимым как для определения качества почв, так и при разработке мер по воспроизводству почвенного плодородия в каждом конкретном регионе. Это поможет достигнуть высокого уровня экономической эффективности использования песчаных почв, позволяющего снять вопрос о целесообразности вывода их из сельскохозяйственного оборота и тем самым повысить уровень продовольственной безопасности страны [3–5].

Цель исследования – выявление агроэкологических и микробиологических особенностей окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы путем ее торфования и землевания.

Материал и методы. 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 [6].

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 [5].

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 данный период оптимизации создать равномерное перемешивание минеральных и органических частиц пахотного горизонта. Во второй год оптимизации выращивался ячмень. При выращивании зерновой культуры практически создается равномерный органо-минеральный пахотный горизонт. Последствием оптимизации на третий-пятый год после внесения торфонавозного компоста и суглинка изучали на многолетних бобово-злаковых травах (клевер луговой *Trifolium pretense* L., тимфеевка 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, рекомендуемыми для центральной части Беларуси.

Учет урожая осуществляли 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 Къельдаля, 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 [7].

При изучении активности целлюлозоразрушающих микроорганизмов дерново-подзолистой песчаной почвы применяли метод 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 выявлялась интенсивность жизнедеятельности целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

Учет численности микроорганизмов, определение дыхания почвы и активности ее гидролитических ферментов проводили по общепринятой методике [8].

Результаты и их обсуждение. Результаты проведенных исследований показали, что в окультуренной дерново-подзолистой песчаной почве накапливаются минералы с высоким некомпенсированным зарядом в набухающих пакетах, а также минералы с высокой степенью структурной неупорядоченности, которые, взаимодействуя с органическим веществом, образовывали водопрочные глино-гумусовые микроагрегаты. Конечным итогом такого взаимодействия является накопление биохимически устойчивых органо-минеральных соединений, что приводит к закреплению гумуса в почве.

Влажность пахотного горизонта песчаной почвы в процессе торфования и землевания заметно возрастала. И хотя абсолютная величина влажности в течение вегетационного периода изменялась в результате неравномерного выпадения атмосферных осадков, колебания влажности почвы

на окультуренных участках приобретали более выровненный характер, что обеспечивало улучшение экологических условий для роста и развития сельскохозяйственных культур. Данная закономерность прослеживалась во все годы исследований под различными сельскохозяйственными культурами. Создание почвенного профиля с добавлением торфа и суглинка позволяло более рационально использовать влагу и быстрее восстанавливать оптимальный водный режим при экстремальных погодных условиях. Внесение торфонавозного компоста и суглинка в дерново-подзолистую песчаную почву сопровождается уменьшением количества крупных пор, занятых воздухом, и увеличением мелких пор, заполненных водой, что обеспечивает повышение ее водоудерживающей способности в 2–3 раза. В основе этого механизма лежат процессы, имеющие коллоидную химическую природу. Как известно, в состав торфонавозного компоста и суглинка входят разнообразные органические соединения, многие из которых обладают свойством поверхностной активности, поскольку они понижают поверхностное натяжение воды, а следовательно, повышают ее смачивающую способность и возможность проникновения в мелкие поры почвы [9].

Содержание гумуса в пахотном горизонте песчаной почвы под действием торфования и землевания возрастало с 1,4 до 3%. И в последующие годы оно продолжало оставаться на высоком уровне. Изучение фракционно-группового состава гумуса показало, что структурная мелиорация оказывает положительное влияние на его качественный состав. Это проявилось в повышении удельного веса гуминовых кислот и уменьшении доли фульвокислот, что сопровождалось увеличением отношения углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот и свидетельствовало об активизации темпов гумификации органического вещества под действием окультуривания песчаной почвы. Следует отметить, что содержание гуминовых кислот возрастало, главным образом, за счет первой и третьей фракции, т.е. фракций, связанных с полуторными оксидами и глинистыми минералами. Это значит, что в результате оптимизации песчаной почвы органическое вещество превращается в менее подвижные формы. Оно становится более устойчивым против разрушения и вымывания и, следовательно, более способным к закреплению и накоплению в верхних слоях почвы. Полученные данные подтверждают то, что окультуривание песчаной почвы под действием торфования и землевания развивается по пути усиления дернового процесса почвообразования.

Расчетные данные продемонстрировали (табл. 1), что в первый год окультуривания песчаной почвы при возделывании картофеля в почве формируется положительный баланс гумуса, который значительно возрастает с увеличением доз внесенного суглинка.

Таблица 1

Влияние окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы на баланс гумуса, ц/га

Вариант	Всего образуется гумуса за счет растительных остатков и органических удобрений	Потери гумуса почвы на минерализацию	Баланс гумуса
Картофель, 2006 г.			
1	80	30	50
2	150	14	136
3	230	16	214
4	310	18	292
5	390	20	370
Ячмень, 2007 г.			
1	10	22	-12
2	13	24	-11
3	16	26	-10
4	20	30	-10
5	26	34	-8
Многолетние травы 1-го года пользования, 2008 г.			
1	31	25	6
2	35	28	7
3	38	30	8

Окончание табл. 1

4	41	32	9
5	43	33	10
Многолетние травы 2-го года пользования, 2009 г.			
1	26	20	6
2	30	24	6
3	32	25	7
4	35	27	8
5	37	28	9
Многолетние травы 3-го года пользования, 2010 г.			
1	30	22	8
2	33	23	10
3	35	24	11
4	37	25	12
5	39	26	13

Примечание: 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.

Это обусловлено тем, что накопление гумуса в почве за счет гумификации значительно превосходит его потери, связанные с минерализацией. На второй год окультуривания почвы при возделывании ячменя на всех вариантах опыта выявлен отрицательный баланс гумуса, который составил 8–12 ц/га. Данная закономерность объясняется тем, что образование гумуса в почве в процессе гумификации не компенсировало его потери, вызванные минерализацией, т.е. минерализация гумуса происходила более активно, чем гумификация. В последующие годы при возделывании многолетних трав накопление гумуса в результате гумификации органических веществ происходило более активно, чем минерализация гумуса, что и обеспечило проявление его положительного баланса в почве. За пять лет в окультуренной почве сформировался положительный баланс гумуса. Например, на варианте с применением суглинка в дозе 400 т/га накопление гумуса в почве за счет гумификации примерно в 4 раза превосходило его потери, связанные с минерализацией (табл. 2).

Таблица 2

**Баланс гумуса за ротацию пятипольного севооборота
на окультуренной дерново-подзолистой песчаной почве**

Вариант	Всего образуется гумуса за счет растительных остатков и органических удобрений	Потери гумуса почвы на минерализацию	Баланс гумуса
1	177	119	58
2	261	113	148
3	351	121	230
4	443	132	311
5	535	141	394

Примечание: варианты опытов те же, что и в табл. 1.

Окультуривание дерново-подзолистой песчаной почвы на основе торфования и землевания оказало положительное влияние на ее биологическую активность. Это проявилось в увеличении численности гетеротрофных бактерий, актиномицетов и микроскопических грибов. Повышение численности аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий вызвало активную минерализацию органического вещества, внесенного с торфом и суглинком в песчаную почву, освобождение азота и превращение его в аммонийные и нитратные соединения. Важно отметить накопление в окультуренной песчаной почве азотфиксирующих форм бактерий, в том числе цианобактерий, что имеет важное значение с точки зрения активизации микробиологических механизмов воспроизводства почвенного плодородия.

Структурная мелиорация дерново-подзолистой песчаной почвы стимулировала развитие целлюлозоразрушающих микроорганизмов, активность которых возрастала с увеличением доз внесенного суглинка. Выявленная закономерность в изменении активности целлюлозоразрушающих микроорганизмов наблюдалась во все годы исследований. Наиболее высокая активность целлюлозоразрушающих микроорганизмов наблюдалась под картофелем, наиболее низкая – под многолетними травами, а ячмень в этом плане занимал промежуточное положение (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы
на активность разложения клетчатки**

<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>				
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
<i>Многолетние травы, 2008 г.</i>				
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

Примечание: варианты опытов те же, что и в табл. 1.

Особенно активно разрушение целлюлозы происходило в верхнем пахотном горизонте. В более глубоких слоях почвы активность целлюлозоразрушения заметно снижалась. Снижение активности целлюлозоразрушающих микроорганизмов по мере увеличения глубины почвенного профиля можно объяснить уменьшением запаса органических соединений и ухудшением воздушного режима почвы.

Окультуривание дерново-подзолистой песчаной почвы путем торфования и землевания обеспечивает повышение урожайности картофеля на 76–127 ц/га, или на 69–115%, а урожайности ячменя – на 12–21 ц/га, или на 81–140%. При этом выход протеина по картофелю возрастает на 3,6 ц/га, или на 190%, а по ячменю – на 2,6 ц/га, или на 200%. Действие структурной мелиорации песчаной почвы сохраняется в течение трех лет при возделывании многолетних трав и обеспечивает формирование урожайности сена за два укоса на уровне 99–113 ц/га при урожайности на контроле 68 ц/га. Валовой сбор протеина повышается на 6 ц/га, или на 96%.

Продуктивность пятипольного севооборота возрастает под действием торфования и землевания песчаной почвы с 22,9 до 41,2 тыс. к. ед./га, или на 80 %, что обеспечивает среднегодовую прибавку на уровне 3,7 тыс. к. ед./га. Под действием торфования и землевания песчаной почвы повышается биологическая ценность урожая картофеля, ячменя и многолетних трав, что выражается в накоплении микроэлементов.

Окультуривание дерново-подзолистой песчаной почвы на основе торфования и землевания обеспечивает прибавку урожая сельскохозяйственных культур, в которой запасы аккумулированной химической энергии на 40–70% превосходят затраты технической энергии, направленной на получение этой прибавки. Это подтверждает высокую энергетическую эффективность окультуривания песчаной почвы под действием торфования и землевания. Расчеты экономической эффективности окультуривания песчаной почвы показали, что на каждый доллар затрат получено 1,2–1,5 доллара дохода. Это также способствует хорошей окупаемости затрат по окультуриванию песчаной почвы.

Заключение. Окультуривание дерново-подзолистой песчаной почвы под действием торфования и землевания достигается за счет изменения направленности микробиологических процессов минерализации и гумификации органических веществ в пользу синтеза гуминовых кислот и улучшения их качественного состава, что приводит к накоплению гумуса и формированию его положительного баланса.

Активизация микрофлоры дерново-подзолистой песчаной почвы в условиях его окультуривания является мощным биологическим фактором, обеспечивающим повышение урожая картофеля на 127 ц/га, ячменя на 21 ц/га, сена многолетних трав за 2 укоса на 45 ц/га.

Запас химической энергии, аккумулируемой в прибавке урожая сельскохозяйственных культур, которая формируется в условиях окультуривания песчаной почвы, на 40–70 процентов превосходит затраты технической энергии, направленной на получение данной прибавки, что свидетельствует о высокой энергетической эффективности торфования и землевания этой почвы.

Землевание и торфование дерново-подзолистой песчаной почвы является высокоэффективным способом ее окультуривания, так как позволяет получать дополнительный доход в размере 1,2–1,5 доллара на каждый доллар затрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андронов, Е.Е. Анализ показателей почвенного микробиома в процессах, связанных с почвообразованием, трансформацией органического вещества и тонкой регуляцией вегетационных процессов / Е.Е. Андронов, Е.А. Иванова, Е.В. Першина // 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. Здоровая почва как необходимое условие жизни человека / М.С. Соколов, Ю.Л. Дородных, А.И. Марченко // Почвоведение. – 2010. – № 7. – С. 858–866.
4. Маринеску, К.М. Экология микробного ценоза эродированных черноземов и восстановление его функций / К.М. Маринеску // Идентификация, ресурсосбережение и охрана почв в адаптивно-ландшафтных системах земледелия. – Курск, 2008. – С. 550–554.
5. Куликов, Я.К. Агроэкологические особенности земледелия на дерново-подзолистых песчаных почвах Беларуси / Я.К. Куликов // Журн. Белорус. гос. ун-та. Биология. – 2017. – № 1. – С. 71–76.
6. Ягодин, Б.А. Практикум по агрохимии / Б.А. Ягодин, И.П. Дерюгин, Ю.П. Жуков. – М., 1987. – 512 с.
7. Доспехов, Б.А. Планирование полевого опыта и статистическая обработка его данных / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1972. – 207 с.

8. Звягинцев, Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Д.Г. Звягинцев. – М., 1991. – 304 с.
9. Соколов, Г.А. Изменения морфологических и водно-физических свойств песчаных пустынных почв под действием мелиорантов / Г.А. Соколов // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 2(53). – С. 39–69.

R E F E R E N C E S

1. Andronov E.E., Ivanova E.A., Pershina E.V. *Bulleten Pochvennoho instituta im. V.V. Dokuchayeva* [Bulletin of V.V. Dokuchayev Soil Institute], 2015, 80, pp. 83–93.
2. Dobrovolski G.V. *Degradatsiya i okhrana pochv* [Degradation and Protection of Soils], 2002, 654 p.
3. Sokolov M.S., Dorodnykh Yu.L., Marchenko A.I. *Pochvovedeniye* [Soil Studies], 2010, 7, pp. 858–866.
4. Marinesku K.M. *Identifikatsiya, resursoberezhniye i okhrana pochv v adaptivno-landshaftnykh sistemakh zemledeliya* [Identification, Resource Saving and Protection of Soils in Adaptive and Landscape Systems of Farming], Kursk, 2008, pp. 550–554.
5. Kulikov Ya.K. *Zhurn. Belorus. gos. un-ta. Biologiya* [Journal of Belarusian State University. Biology], 2017, 1, pp. 71–76.
6. Yagodin B.A., Deriugin I.P., Zhukov Yu.P. *Praktikum po agrokhimii* [Practice Book on Agrochemistry], M., 1987, 512 p.
7. Dospikhov B.A. *Planirovaniye polevogo opyta i statisticheskaya obrabotka yego dannykh* [Planning Field Experiments and Statistical Processing of their Results], M.: Kolos, 1972, 207 p.
8. Zviagintsev D.G. *Metody pochvennoi mikrobiologii i biokhimii* [Methods of Soil Microbiology and Biochemistry], M., 1991, 304 p.
9. Sokolov G.A. *Pochvovedeniye i agrokhimiya* [Soil Studies and Agrochemistry], 2014, 2(53), pp. 39–69.

Поступила в редакцию 03.01.2022

Адрес для корреспонденции: e-mail: gaevski@rambler.ru – Гаевский Е.Е.