

ISSN 1561-8323 (Print)  
ISSN 2524-2431 (Online)

**АГРАРНЫЕ НАУКИ**  
**AGRARIAN SCIENCES**

УДК 631.461:631.445.2  
<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2018-62-5-633-640>

Поступило в редакцию 04.06.2018  
Received 04.06.2018

**Академик В. В. Лапа, Н. А. Михайловская, С. А. Касьянчик, Е. Г. Мезенцева**

*Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Беларуси,  
Минск, Республика Беларусь*

**ВЛИЯНИЕ МОНОАЗОТНОЙ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ  
НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СТАТУС  
ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ  
С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ФОСФОРА И КАЛИЯ**

**Аннотация.** Влияние моноазотной системы удобрений на биохимический статус дерново-подзолистой легко-суглинистой почвы с высоким содержанием фосфора и калия изучали в течение 5 лет. Интерпретацию данных ферментативной диагностики проводили по результирующему оценочному показателю – биохимическому коэффициенту, учитывающему 4 ключевых энзиматических параметра и представляющему соотношение усредненных скоростей гумификации и минерализации в циклах С и N. Пятилетнее применение моноазотной системы удобрения привело к прогрессирующему усилению минерализационных процессов, скорость которых возрастала с увеличением дозы азота. Экологически целесообразно внесение полного минерального удобрения с минимальными дозами фосфора и калия, при этом процессы гумификации и минерализации сбалансированы, что сохраняет органическое вещество.

**Ключевые слова:** моноазотная система удобрения, высоко окультуренная дерново-подзолистая суглинистая почва, гумификация, минерализация, биохимический коэффициент

**Для цитирования:** Влияние моноазотной системы удобрения на биохимический статус дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы с высоким содержанием фосфора и калия / В. В. Лапа [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2018. – Т. 62, № 5. – С. 633–640. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2018-62-5-633-640>

**Academician Vitalij V. Lapa, Natallia A. Mikhailouskaya, Sviatlana A. Kasyanchyk, Elena G. Mezentseva**

*Institute for Soil Science and Agrochemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

**INFLUENCE OF MONONITROGEN FERTILIZER SYSTEM ON BIOCHEMICAL STATUS  
OF LUVISOL SANDY LOAM SOIL WITH HIGH CONTENTS OF PHOSPHORUS AND POTASSIUM**

**Abstract.** The effect of mononitrogen fertilizer system on biochemical status of high fertility Luvisol sandy loam soil was studied during five years in the field experiment. Data interpretation of enzyme diagnostics was done based on the resulting estimation criteria, which is a biochemical coefficient including four key enzymatic parameters and representing the ratio of average speeds of humification and mineralization activities in C and N cycles. Five-year application of mono nitrogen fertilizer system resulted in progressive increase of organic substances mineralization, which enhanced with nitrogen dose rising. It is ecologically advisable to fertilize the soil with the complete mineral fertilizer with the minimal doses of phosphorus and potassium. Thus, humification and mineralization processes are balanced and organic matter is saved.

**Keywords:** mononitrogen fertilizer system, Luvisol sandy loam soil, humification, mineralization, biochemical coefficient

**For citation:** Lapa V. V., Mikhailouskaya N. A., Kasyanchyk S. A., Mezentseva E. G. Influence of mononitrogen fertilizer system on biochemical status of Luvisol sandy loam soil with high contents of phosphorus and potassium. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2018, vol. 62, no. 5, pp. 633–640 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2018-62-5-633-640>

**Введение.** По уточненным данным за 2013–2016 гг. дерново-подзолистые глинистые и суглинистые почвы с содержанием подвижных форм фосфора и калия выше 250 мг/кг составляют 23,3 % пахотных почв Беларуси [1]. Такие почвы отличаются устойчивостью к техногенным нагрузкам, снижают негативное воздействие токсикантов разной природы и обеспечивают высокую урожайность сельскохозяйственных культур [1–5]. Высоко окультуренные почвы – это стратегический резерв государства [4], их плодородие необходимо сохранять, применяя экологически обоснованные системы удобрения. К настоящему времени некоторые агрохимические и биологические аспекты применения удобрений на высоко окультуренных почвах исследованы недостаточно. Дискуссионными остаются вопросы экологической целесообразности и длительности эффективного применения моноазотной системы удобрения.

В исследованиях, проведенных в Беларуси на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах с высоким содержанием подвижного фосфора, в пределах 650–750 мг/кг, и калия – 400–500 мг/кг, показано, что в течение первых трех лет наибольшие прибавки урожайности яровой пшеницы и ярового ячменя и лучшие экономические показатели получали за счет одностороннего применения азотных удобрений. При этом наибольший эффект от азотных удобрений отмечали на фонах без навоза, на фонах последействия соломистого навоза их эффективность снижалась. Прибавки урожайности от внесения фосфора и калия были незначительными [2; 3].

На Северо-Западе России на дерново-подзолистых почвах с высоким содержанием подвижных фосфора и калия также установлена более высокая агрономическая и экономическая эффективность минеральной моноазотной системы удобрения и практическое отсутствие эффекта от фосфора и калия [4; 5]. В серии длительных полевых опытов с разными сельскохозяйственными культурами А. И. Иванов показал, что азотные удобрения обеспечивали стабильно высокие прибавки урожайности в течение 12–13 лет. Отмечено, что азотные удобрения, в особенности в повышенных дозах, активизировали процессы мобилизации почвенных запасов фосфора и калия. При этом коэффициент использования фосфора увеличивался в 1,4 раза, калия – в 1,5 раза [4]. В исследованиях В. В. Ильющенкова также получены данные, что длительное использование моноазотной системы удобрения замедляло темпы деградации азотного состояния и ускоряло деградацию фосфатного и калийного состояний почвы [5].

Несмотря на высокие агрономические и экономические показатели, российские и белорусские исследователи отмечают, что моноазотная система удобрения может оказаться экологически рискованной в отношении качества урожая. Наблюдается снижение содержания крахмала, сахаров и клетчатки в продукции. Отмечается повышение концентрации нитратов в клубнях картофеля, которое, однако, не достигает предельно допустимой [4; 5].

Анализ литературы показывает, что до настоящего времени нет однозначной экологической оценки моноазотной системы удобрения высоко окультуренных почв, что вызывает необходимость более углубленного исследования этой проблемы. По нашему мнению, для адекватной экологической оценки моноазотной системы удобрения агрохимические исследования должны сопровождаться изучением ее влияния на биологический статус высоко окультуренных почв. В этом отношении наиболее информативна ферментативная диагностика. Почвенные ферменты играют ключевую роль в процессах формирования плодородия. Основу микробного метаболизма составляет функционирование ферментов, которые катализируют ключевые биохимические реакции, регулирующие плодородие почв [6–9]. В пользу применения ферментативной диагностики свидетельствуют строгая субстратная специфичность ферментов [6; 9], более высокая стабильность энзиматических параметров [6; 8] и относительная простота измерения по сравнению с другими биологическими показателями. Методы определения активности ферментов более стандартизированы [6; 7; 10; 11], что позволяет получать сопоставимые данные.

Для оценки влияния моноазотной системы удобрения на биологический статус почвы наиболее важны данные по активности ключевых биохимических процессов, формирующих плодородие – гумификации и минерализации органических веществ в циклах основных биогенных элементов [6; 7; 9; 10]. К наиболее масштабным минерализационным процессам в цикле азота относится аммонификация [6; 10], в цикле углерода – разложение полисахаридов [6; 9], которые целесообразно оценивать по активности ключевых гидролитических ферментов – уреазе (цикл

N) и инвертазе (цикл C) [10]. Наиболее значимый процесс, ведущий к образованию органического вещества – гумификация лигнинов растительных остатков. По современным представлениям катализаторами гумификации ароматических соединений считаются микробные оксидазы – фенолоксидазы и пероксидазы, а их активность служит показателем скорости процессов гумификации [7; 10; 12; 13]. Эти ферменты играют критическую роль в процессах гумификации и тесно положительно коррелируют с содержанием гумуса [10; 12; 13].

Цель исследований – оценить влияние моноазотной системы удобрения на скорость процессов гумификации и минерализации органических веществ в циклах углерода и азота, установить их соотношение и направленность изменения плодородия высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при моноазотной системе удобрения.

**Материалы и методы исследования.** Биохимические исследования проведены в 2014–2018 гг. в стационарном полевом опыте на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (ОАО «Гастелловское» Минский р-н). Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы представлена в табл. 1. Опыт развернут в пространстве в двух полях. Схема опыта включает 15 вариантов в 4-кратной повторности. Общий размер делянки 24,0 м<sup>2</sup> (4,0 × 6,0 м).

Т а б л и ц а 1. Динамика агрохимических показателей высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (2012–2017 гг.)

Table 1. Dynamics of agrochemical properties of high fertility Luvisol sandy loam soil (2012–2017)

Вариант Variant	pH <sub>ксл</sub>		Гумус, % Humus, %		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг		K <sub>2</sub> O, мг/кг	
	2012 г.	2017 г.	2012 г.	2017 г.	2012 г.	2017 г.	2012 г.	2017 г.
Без удобрений	6,17	6,10	2,24	2,22	799	700	432	335
N <sub>330</sub>	6,20	6,09	2,19	2,12	803	728	423	321
N <sub>480</sub>	6,19	6,09	2,16	2,08	793	663	419	280
N <sub>630</sub>	6,29	6,10	2,15	2,10	855	710	406	275
N <sub>630</sub> P <sub>90</sub> K <sub>195</sub>	6,19	6,05	2,13	2,09	800	662	427	285
Навоз, 50 т/га	6,03	5,91	2,17	2,12	756	709	424	386
Навоз, 50 т/га + N <sub>330</sub>	6,12	6,00	2,23	2,19	755	724	412	378
Навоз, 50 т/га + N <sub>480</sub>	6,17	6,05	2,18	2,26	846	779	454	357
Навоз, 50 т/га + N <sub>630</sub>	6,24	6,08	2,26	2,35	779	732	442	326
Навоз, 50 т/га + N <sub>630</sub> P <sub>90</sub> K <sub>195</sub>	6,21	6,03	2,31	2,38	811	783	460	341
Навоз, 100 т/га	6,06	5,99	2,26	2,20	820	796	473	436
Навоз, 100 т/га + N <sub>330</sub>	6,14	6,10	2,12	2,11	770	737	452	412
Навоз, 100 т/га + N <sub>480</sub>	6,16	6,08	2,43	2,47	775	744	472	414
Навоз, 100 т/га + N <sub>630</sub>	6,00	5,94	2,35	2,40	755	717	462	391
Навоз, 100 т/га + N <sub>630</sub> P <sub>90</sub> K <sub>195</sub>	6,02	5,97	2,14	2,23	732	739	443	430
НСР <sub>05</sub>			0,14	0,16	51	44	36	32

Возделываемые культуры: 2014 г. – яровая пшеница, 2015 г. – яровой ячмень, 2016 г. – яровой рапс, 2017 г. – озимая пшеница. Технологии возделывания культур включали традиционную систему обработки почвы, интегрированную систему защиты растений от сорняков, вредителей и болезней. Фосфорные и калийные удобрения (аммонизированный суперфосфат и хлористый калий) вносили весной под предпосевную культивацию, азотные – в форме карбамида под предпосевную культивацию и в подкормку.

Биохимические показатели определяли в воздушно-сухих почвенных образцах. Для определения активности инвертазы использован колориметрический метод Т. А. Щербаковой [7; 11], в котором для индикации редуцирующих сахаров используется 3,5-динитросалициловая кислота, а активность фермента рассчитывается в мг глюкозы/кг почвы. Активность почвенной уреазы устанавливали колориметрическим методом по Т. А. Щербаковой [7; 11], где в качестве ферментного субстрата используется мочевины, активность фермента рассчитывается в мг N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/кг

почвы. Активность окислительных ферментов, полифенолоксидазы (ПФО) и пероксидазы (ПО), определяли также колориметрически, по трансформации гидрохинона в почве и выражали в мг превращенного субстрата – мг 1,4-*p*-бензохинона/кг почвы [11; 14].

**Результаты и их обсуждение.** Биохимические исследования в высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве проводили в течение 2014–2018 гг. В соответствии с разработанными нами методическими рекомендациями определяли активность гумификации и минерализации в циклах основных биогенных элементов – углерода и азота по биохимической трансформации основных форм нахождения этих элементов в почвах. Количественная оценка скорости процессов минерализации в цикле углерода дана по инвертазной активности, а в цикле азота – по уреазной активности почвы. Количественная характеристика скорости процессов гумификации ароматических соединений проведена по активности почвенных оксидаз, осуществляющих процессы окислительной полимеризации за счет кислорода воздуха (полифенолоксидаза) и за счет кислорода перекиси водорода (пероксидаза) [10].

Активность фермента – количественная характеристика скорости протекания конкретного биохимического процесса, которая выражается количеством превращенного субстрата за единицу времени на единицу массы почвы. Ферментативная диагностика позволяет количественно определять скорости важнейших формирующих плодородие почвенных процессов – гумификации и минерализации в циклах С и N. Соотношение скоростей протекания гумификационных и минерализационных процессов показывает направленность трансформации органических веществ и позволяет определять тренд изменения плодородия под влиянием антропогенных факторов.

Для интерпретации данных ферментативной диагностики почвы разработан результирующий оценочный показатель – биохимический коэффициент  $K_6$ . Предлагаемый критерий рассчитывается как соотношение усредненных количественных данных по скорости процессов гумификации ароматических соединений, определяемых по активности оксидаз (ПФО и ПО), и процессов минерализации по активности гидролитических ферментов в циклах С (инвертаза) и N (уреаза), что подробно изложено в методических рекомендациях [10] и нашей предыдущей публикации [3].

Биохимический коэффициент – информативный диагностический показатель, учитывающий 4 ключевых биохимических параметра, что позволяет соотносить скорости гумификации и минерализации, выявлять их баланс или дисбаланс, давать экологическую оценку систем удобрения и нормировать антропогенную нагрузку.

При близких к единице значениях  $K_6$  наблюдается относительный баланс гумификации и минерализации. Снижение биохимического коэффициента ( $K_6 < 1$ ) указывает на преобладание минерализационных процессов, его повышение ( $K_6 > 1$ ) свидетельствует о более активном протекании гумификации.

В табл. 2 представлены результаты определения  $K_6$  по вышеперечисленным ключевым биохимическим параметрам за пять лет исследований. Сравнительный анализ данных ферментативной диагностики по результирующему показателю  $K_6$  выявил следующие зависимости:

в течение 2014–2016 гг. одностороннее применение азотных удобрений приводило к сдвигу в сторону преобладания минерализации, скорость которой увеличивалась при внесении возрастающих доз азота  $N_{60}$ ,  $N_{90}$  и  $N_{120}$ : на безнавозном фоне коэффициенты  $K_6$  снижались от 1,00 до 0,96, 0,93 и 0,93, на фоне последействия 50 т/га навоза – от 0,99 до 0,96, 0,92 и 0,89, на фоне последействия 100 т/га навоза – от 0,99 до 0,95, 0,92 и 0,91 соответственно (табл. 3);

в последующие два года (2017–2018 гг.) моноазотная система удобрения еще более значимо снижала величины биохимических коэффициентов, при внесении  $N_{60}$ ,  $N_{90}$  и  $N_{120}$  на безнавозном фоне коэффициенты  $K_6$  снижались от 1,00 до 0,91, 0,83 и 0,83, на фоне последействия 50 т/га навоза – от 0,96 до 0,89, 0,85 и 0,85, на фоне последействия 100 т/га навоза – от 0,95 до 0,93, 0,86 и 0,85 соответственно;

на фоне последействия 50 и 100 т/га навоза во все годы исследований (2014–2018 гг.) отмечен относительный баланс гумификации и минерализации, биохимические коэффициенты  $K_6$  были близки к единице (табл. 2).

Т а б л и ц а 2. Влияние моноазотной системы удобрения на биохимический коэффициент  $K_b$  высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (2014–2018 гг.)

T a b l e 2. Effect of mononitrogen fertilizer system on biochemical coefficient of high fertility Luvisol sandy loam soil (2014–2018)

Вариант Variant	Биохимический коэффициент Biochemical coefficient $K_b = \Gamma(\%) / M(\%)$				
	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Без удобр. – ф. 1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$N_{60}$	0,93	1,00	0,94	0,91	0,91
$N_{90}$	0,90	0,96	0,93	0,84	0,82
$N_{120}$	0,89	0,97	0,93	0,85	0,82
$N_{120}P_{15}K_{30}$	0,99	1,07	1,12	1,03	1,02
П/д н. 50 т/га – ф. 2	1,03	0,99	0,96	0,96	0,96
Ф. 2 + $N_{60}$	0,98	0,95	0,95	0,90	0,88
Ф. 2 + $N_{90}$	0,94	0,91	0,91	0,86	0,84
Ф. 2 + $N_{90+30}$	0,92	0,88	0,88	0,86	0,84
Ф. 2 + $N_{120}P_{15}K_{30}$	1,03	1,07	1,08	1,00	1,00
П/д н. 100 т/га – ф. 3	1,02	0,96	0,98	0,94	0,96
Ф. 3 + $N_{60}$	0,97	0,94	0,93	0,95	0,92
Ф. 3 + $N_{90}$	0,91	0,91	0,94	0,88	0,85
Ф. 3 + $N_{120}$	0,92	0,92	0,88	0,86	0,84
Ф. 3 + $N_{120}P_{15}K_{30}$	1,09	1,04	1,05	1,02	1,00

П р и м е ч а н и е. П/д н. – последствие навоза, Г – гумификация, М – минерализация.

N o t e. П/д н. – manure aftereffect, Г – humification, М – mineralization.

Т а б л и ц а 3. Влияние длительности применения моноазотной системы удобрения на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на биохимический коэффициент  $K_b$  (2014–2018 гг.)

T a b l e 3. Effect of duration of mononitrogen fertilizer system application on biochemical coefficient of high fertility Luvisol sandy loam soil (2014–2018)

Вариант Variant	Без удобрения Without fertilizer	$N_{60}$	$N_{90}$	$N_{120}$	$N_{120}P_{15}K_{30}$
2014–2016 гг.					
Без органики	1,00	0,96	0,93	0,93	1,06
50 т/га навоза	0,99	0,96	0,92	0,89	1,06
100 т/га навоза	0,99	0,95	0,92	0,91	1,06
2017–2018 гг.					
Без органики	1,00	0,91	0,83	0,83	1,02
50 т/га навоза	0,96	0,89	0,85	0,85	1,00
100 т/га навоза	0,95	0,93	0,86	0,85	1,00

Следует отметить, что сдвиг в сторону преимущественного протекания минерализационных процессов в 2017–2018 гг. не может быть обусловлен только длительностью последствия навоза, так как аналогичная ситуация наблюдается и на фоне без его внесения (табл. 2, 3).

Ферментативная диагностика выявила прогрессирующее снижение биохимического коэффициента при моноазотной системе, указывающее на ее потенциальную рискованность. Наиболее существенный сдвиг в сторону минерализации отмечен в 2017–2018 гг., на 4-й и 5-й годы исследований. Преобладание минерализационных процессов не способствует восполнению органического вещества и представляет потенциальный риск деградации плодородия.

Аналогичные закономерности, указывающие на неустойчивость гумусного состояния хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв, отмечены в многолетних исследованиях А. И. Иванова: за 12 лет на фоне моноазотной системы удобрения содержание гумуса в почве

снизились на 0,22–0,32 %, относительная доля ГК уменьшилась на 5–12 % при одновременном увеличении доли ФК на 7–10 % [4].

Длительное использование моноазотной системы удобрения замедляет темпы деградации азотного состояния, однако значительно ускоряет деградацию фосфатного и калийного состояний окультуренных дерново-подзолистых почв. Наиболее критично влияние моноазотной системы удобрения на калийное состояние почвы – по данным В. В. Ильющенкова за 13 лет содержание подвижного и водорастворимого калия снижалось в два раза [5].

Российские исследователи отмечают допустимость краткосрочного применения моноазотной системы удобрения на высоко окультуренных дерново-подзолистых почвах (в течение 5 лет), так как длительное ее применение неизбежно приведет к снижению плодородия и ухудшению качества растениеводческой продукции [4; 5]. Проведенные нами 5-летние биохимические исследования подтверждают их выводы.

Таким образом, на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве пятилетнее применение моноазотной системы удобрения привело к прогрессирующему усилению минерализации органических веществ. Для сохранения плодородия дерново-подзолистых легкосуглинистых почв с высоким содержанием фосфора и калия экологически наиболее целесообразно внесение полного минерального удобрения с минимальными дозами фосфора и калия –  $P_{15}K_{30}$ . Ферментативная диагностика показала экологические преимущества НРК-удобрения. При внесении  $N_{120}P_{15}K_{30}$  на фонах без навоза и по последдействию 50 и 100 т/га навоза биохимические коэффициенты  $K_6$  в 2014–2016 гг. на уровне 1,06, в 2017–2018 гг. – в пределах 1,00–1,02, что свидетельствует о сбалансированности процессов гумификации и минерализации и обеспечивает сохранность органического вещества (табл. 3).

Однако в сельскохозяйственной практике в настоящее время превалирует ориентация на получение быстрого результата и высоких экономических показателей [2–5], в то время как необходима система удобрения, ориентированная на перспективу устойчивых долговременных эффектов.

Длительное использование моноазотной системы удобрения замедляет темпы деградации азотного состояния, однако значительно ускоряет деградацию фосфатного и калийного состояний окультуренных дерново-подзолистых почв. За пять лет применения моноазотной системы удобрения отмечены тенденции снижения содержания подвижных форм фосфора и калия (табл. 1).

Как правило, наиболее высокую продуктивность сельскохозяйственных культур и качество продукции получали на фоне последствия 100 т/га навоза с внесением полного минерального удобрения с минимальными дозами фосфора и калия (табл. 4).

Т а б л и ц а 4. Влияние моноазотной системы удобрения на продуктивность сельскохозяйственных культур на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (2013–2017 гг.)

Table 4. Effect of mononitrogen fertilizer system application on crop productivity on high fertility Luvisol sandy loam soil (2013–2017)

Вариант Variant	Без удобрений Without fertilizer	$N_{60}$	$N_{90}$	$N_{120}$	$N_{120}P_{15}K_{30}$
Без навоза	250	305	323	339	345
50 т/га навоза	284	321	327	349	356
100 т/га навоза	294	324	346	369	367
НСР <sub>05</sub>			38,6		

**Заключение.** Для интерпретации данных ферментативной диагностики почв разработан результирующий оценочный показатель – биохимический коэффициент  $K_6$ , учитывающий 4 ключевых энзиматических параметра и представляющий собой соотношение усредненных скоростей гумификации (ПФО и ПО, цикл С) и минерализации (инвертаза и уреазы, циклы С и N). Предлагаемый критерий позволяет давать экологическую оценку системы удобрения, выявлять дисбаланс гумификации и минерализации, тренд изменения плодородия почв и нормировать антропогенную нагрузку.

Ферментативная диагностика по результирующему показателю – биохимическому коэффициенту  $K_6$  показала, что пятилетнее применение моноазотной системы удобрения привело к прогрессирующему усилению минерализации органических веществ в высоко окультуренной легкосуглинистой почве. Наиболее рискованным, как на фоне без навоза, так и по последствию 50 и 100 т/га навоза, было внесение  $N_{120}$ , при этом  $K_6$  снижались от 1,00 до 0,83, от 0,96 до 0,85 и от 0,95 до 0,85 соответственно. Пятилетнее применение моноазотной системы удобрения выявило тенденцию снижения содержания подвижных форм фосфора и калия в почве.

Экологически наиболее целесообразно внесение полного минерального удобрения с минимальными дозами фосфора и калия, при этом как на фоне без навоза, так и по последствию навоза наблюдается сбалансированность гумификации и минерализации, способствующая сбережению органического вещества,  $K_6$  в пределах 1,00–1,06. Баланс процессов гумификации и минерализации отмечен при органической системе удобрения, биохимические коэффициенты  $K_6$  близки к единице.

### Список использованных источников

1. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016) / под общ. ред. И. М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – 275 с.
2. Лапа, В. В. Особенности удобрения яровой пшеницы при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высоким содержанием фосфора и калия / В. В. Лапа, О. Г. Кулеш, Е. Г. Мезенцева // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 1(56). – С. 93–105.
3. Лапа, В. В. Активность процессов минерализации и гумификации в высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в зависимости от применения удобрений / В. В. Лапа, Н. А. Михайловская // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2016. – Т. 60, № 3. – С. 125–132.
4. Иванов, А. И. Почвенно-агрохимическое обоснование системы удобрения на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах Северо-Запада России / А. И. Иванов. – СПб.: Пушкин, 2000. – 40 с.
5. Ильющенко, В. В. Азотное, фосфатное и калийное состояние хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв Северо-Запада России и его изменение при длительном использовании минеральных систем удобрения / В. В. Ильющенко. – Великие Луки, 2000. – 16 с.
6. Звягинцев, Д. Г. Биология почв / Д. Г. Звягинцев, И. Л. Бабьева, Г. М. Зенова. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с.
7. Щербакова, Т. А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества / Т. А. Щербакова. – Минск: Наука и техника, 1983. – 221 с.
8. Dick, R. P. A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters / R. P. Dick // *Agr. Ecosys. Environ.* – 1992. – Vol. 40, N 1–4. – P. 25–36. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(92\)90081-1](https://doi.org/10.1016/0167-8809(92)90081-1)
9. Dick, R. P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality / R. P. Dick // *SSSA Special Publication* / eds. J. W. Doran [et al.]. – Madison, 1994. – P. 107–124. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c7>
10. Биохимические и микробиологические критерии оценки плодородия почв и нормирования антропогенной нагрузки / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2015. – 40 с.
11. Хазиев, Ф. Х. Методы почвенной энзимологии / Ф. Х. Хазиев. – М.: Наука, 2005. – 252 с.
12. Kirk, T. K. Enzymatic “combustion”: the microbial degradation of lignin / T. K. Kirk, R. L. Ferrell // *Annu. Rev. Microbiol.* – 1987. – Vol. 41, N 1. – P. 465–505. <https://doi.org/10.1146/annurev.mi.41.100187.002341>
13. Гулько, А. Е. Фенолоксидазы почв: продуцирование, иммобилизация, активность / А. Е. Гулько, Ф. Х. Хазиев // *Почвоведение.* – 1992. – № 11. – С. 55–67.
14. Карагіна, Л. А. Вызначэнне актыўнасці поліфенолаксидазы і пераксідазы ў глебе / Л. А. Карагіна, Н. А. Міхайлоўская // *Весці АН БССР. Сер. с/г навук.* – 1986. – № 2. – С. 40–41.

### References

1. Bogdevich I. M., Lapa V. V., Rak M. V., Chernysh A. F., Putyatin Yu. V., Lomonos O. L. [et al.]. *Agrochemical characteristics of agricultural soils of Belarus Republic (2013–2016)*. Minsk, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, 2017. 275 p. (in Russian).
2. Lapa V. V., Kulesh O. G., Mezentseva E. G. Specificity of spring wheat fertilization under cultivation on Luvisol sandy loam soil with very high content of phosphorus and potassium. *Pochvovedenie i agrochimiya [Soil Science and Agrochemistry]*, 2016, vol. 1, no. 56, pp. 93–105 (in Russian).
3. Lapa V. V., Michailovskaya N. A. Activity of mineralization and humification processes in high-fertility derno-podzolic sandy-loam soil depending on the fertilizer application. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belaru*, 2016, vol. 60, no. 3, pp. 125–132 (in Russian).
4. Ivanov A. I. *Agrochemical Foundation of fertilizer system on high fertility sod-podzolic soils of Nord-West regions of Russia*. Sankt-Petersburg; Pushkin, 2000. 40 p. (in Russian).

5. Ilyuschenkov V. V. *Nitrogen, phosphorus and potassium status of high fertility sod-podzolic soils of Nord-West regions of Russia and its change under long time application of mineral fertilizer system*. Velikie Luki, 2000. 16 p. (in Russian).
6. Zviagintsev D. G., Babyeva I. L., Zenova G. M. *Soil Biology*. Moscow, Publishing House of Moscow State University, 2005. 445 p. (in Russian).
10. Lapa V. V. [et al.]. *Biochemical and microbiological criteria for the characterization of soil fertility status and normalizing of anthropogenic press*. Minsk, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, 2015. 40 p. (in Russian).
7. Scherbakova T. A. *Enzymatic activity of soil and transformation of soil organic matter*. Minsk, Nauka i Technika Publ., 1983. 221 p. (in Russian).
8. Dick R. P. A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1992, vol. 40, no. 1–4, pp. 25–36. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(92\)90081-1](https://doi.org/10.1016/0167-8809(92)90081-1)
9. Doran J. W., Coleman D. C., Bezdicek D. F., Stewart B. A., Dick R. P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. Doran J. W. (ed.). *SSSA Special Publication*, 1994, pp. 107–124. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c7>
11. Chaziev F. H. *Methods of soil enzymology*. Moscow, Nauka Publ., 2005. 252 p. (in Russian).
12. Kirk T. K., Ferrell R. L. Enzymatic “combustion”: the microbial degradation of lignin. *Annual Review of Microbiology*, 1987, vol. 41, no. 1, pp. 465–505. <https://doi.org/10.1146/annurev.mi.41.100187.002341>
13. Gulko A. E., Chaziev F. H. Phenoloxidases: production, immobilization, activity. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*, 1992, no. 11, pp. 55–67 (in Russian).
14. Karyagina L. A., Mikhailouskaya N. A. Determination of polyphenoloxidase and peroxidase activities in soil. *Vesti Akademii navuk Belaruskai Savetskai Satsyialistychnai Respubliki. Seryya sel'skagapadarchykh navuk = Proceedings of the Academy of Sciences of the Belarusian Soviet Socialist Republic. Series of Agricultural Sciences*, 1986, no. 2, pp. 40–41 (in Russian).

### Информация об авторах

*Лана Виталий Витальевич* – академик, д-р с.-х. наук, профессор, директор. Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси (ул. Казинца, 90, 220108, Минск, Республика Беларусь). E-mail: brissagro@gmail.com.

*Михайловская Наталья Алексеевна* – канд. с/х наук, доцент, заведующая лабораторией. Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси (ул. Казинца, 90, 220108, Минск, Республика Беларусь). E-mail: bionfl@yandex.ru.

*Касьянчик Светлана Ананьевна* – канд. с/х наук, доцент. Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси (ул. Казинца, 90, 220108, Минск, Республика Беларусь). E-mail: agro@presidium.bas-net.by.

*Мезенцева Елена Геннадьевна* – канд. с/х наук, доцент. Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси (ул. Казинца, 90, 220108, Минск, Республика Беларусь). E-mail: e\_mezentseva@list.ru.

### Information about the authors

*Lapa Vitalij Vitalyevich* – Academician, D. Sc. (Agrarian), Professor, Director. Institute for Soil Science and Agrochemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (90, Kazinets Str., 220108, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: brissagro@gmail.com.

*Mikhailouskaya Natallia Alekseevna* – Ph. D. (Agrarian), Associate professor, Head of the Laboratory. Institute for Soil Science and Agrochemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (90, Kazinets Str., 220108, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bionfl@yandex.ru.

*Kasyanchyk Sviatlana Ananievna* – Ph. D. (Agrarian), Associate professor. Institute for Soil Science and Agrochemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (90, Kazinets Str., 220108, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: agro@presidium.bas-net.by.

*Mezentseva Elena Gennadievna* – Ph. D. (Agrarian), Associate professor, Head of the Laboratory. Institute for Soil Science and Agrochemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (90, Kazinets Str., 220108, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: e\_mezentseva@list.ru.