



## ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

И. В. ПОНКРАТЕНКОВА, старший научный сотрудник,  
А. Ю. ГАВРИЛОВА, старший научный сотрудник,  
Федеральный научный центр лубяных культур  
(214025, г. Смоленск, ул. Нахимова, д. 21; тел.: +7 920 300-74-85; e-mail: augavrilova@gmail.com),  
Г. Е. МЕРЗЛАЯ, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник,  
С. П. ВОЛОШИН, кандидат биологических наук, научный сотрудник,  
Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова  
(127550, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 31А; тел.: +7 962 369-41-97; e-mail: lab.organic@mail.ru)

**Ключевые слова:** яровая пшеница, навоз, минеральные удобрения, урожайность, качество, дерново-подзолистая почва.

В статье приведены данные по влиянию систем удобрения и их последствие на урожайность и качество зерна яровой пшеницы сорта МИС. Цель исследования – установить эффективные и экологически безопасные дозы и сочетания подстилочного навоза и минеральных удобрений и их влияние на урожайность и качество растительной продукции при возделывании яровой пшеницы. Исследования проводили в 2007–2008 гг. и в 2014–2015 гг. на двух полях в условиях длительного полевого опыта географической сети по общепринятой методике. В период 1978–2008 гг. в опыте на культурах полевого севооборота испытывали действие органических и минеральных удобрений, с 2009 г. – их последствие на фоне весенней подкормки азотом в дозе  $N_{45}$ . Установлено, что урожайность яровой пшеницы при длительном применении органических и минеральных удобрений (2007–2008 гг.) была значительно выше, чем на азотном фоне, без внесения фосфорно-калийных и органических удобрений (2014–2015 гг.). При одностороннем применении минеральных удобрений и навоза прибавка по сравнению с контролем составила 8,4–11,4 ц/га. Применение органоминеральной системы повышало урожайность до 106 %. Урожайность яровой пшеницы, которая возделывалась по последствию органических и минеральных удобрений на фоне подкормки азотом в дозе 45 кг, уменьшилась примерно в 2 раза. Совместное применение органических и минеральных удобрений также увеличивало содержание белка и массу 1000 зерен. В годы с внесением минеральных и органических удобрений крупность зерна зависела только от минеральных удобрений, в годы без внесения удобрений увеличению массы 1000 зерен способствовали калийные минеральные удобрения и навоз. В обоих случаях повышению содержания сырого белка в зерне яровой пшеницы способствовали азотные удобрения. Установлена корреляционная связь между массой 1000 зерен и урожайностью яровой пшеницы.

## THE INFLUENCE OF CONTINUOUS APPLICATION OF ORGANIC AND MINERAL FERTILIZERS ON YIELD AND QUALITY OF SPRING WHEAT

I. V. PONKRATENKOVA, senior researcher,  
A. Yu. GAVRILOVA, senior researcher,  
Federal Research Center for Bast Fiber Crops  
(21 Nakhimova Str., 214025, Smolensk; phone: +7 920 300-74-85; e-mail: augavrilova@gmail.com),  
G. E. MERZLAYA, doctor of agricultural sciences, chief researcher,  
S. P. VOLOSHIN, candidate of biological sciences, researcher,  
All-Russian Scientific and Research Institute of Agrochemistry named after D. N. Pryanishnikov  
(31A Pryanishnikova Str., 127550, Moscow; phone: +7 962 369-41-97; e-mail: lab.organic@mail.ru)

**Keywords:** spring wheat, manure, mineral fertilizers, yield, quality, sod-podzolic soil.

The article presents data on the influence of fertilizer systems and their aftereffect on the yield and quality of grain of spring wheat variety MIS. The aim of the study is to establish effective and ecologically safe doses and combinations of litter manure and mineral fertilizers and their impact on the yield and quality of plant products in the cultivation of spring wheat. The studies were carried out in 2007–2008 and in 2014–2015 on two fields under the conditions of long-term field experience of the Geographical network according to the generally accepted method. In the period 1978–2008 years of experience in the crops field rotation experienced the effect of organic and mineral fertilizers, and in 2009 their aftereffect on the backdrop of the spring fertilizing with nitrogen in the dose of  $N_{45}$ . It was found that the yield of spring wheat with long-term use of organic and mineral fertilizers (2007–2008) was significantly higher than on the nitrogen background, without the introduction of phosphorus-potassium and organic fertilizers (2014–2015). With one-sided application of mineral fertilizer and manure increase compared to control was 8.4 and 11.4 c/ha. Application of organic-mineral systems increased yields of up to 106 %. The yield of spring wheat, which was cultivated by the aftereffect of organic and mineral fertilizers on the background of nitrogen fertilizing at a dose of 45 kg, decreased by about 2 times. The combined use of organic and mineral fertilizers also increased the protein content and weight of 1000 grains. In the years with the introduction of mineral and organic fertilizers, the grain size depended only on mineral fertilizers, in the years without fertilizers, potassium mineral fertilizers and manure contributed to the increase in the mass of 1000 grains. In both cases, nitrogen fertilizers contributed to the increase in the content of crude protein in the grain of spring wheat. The correlation between the weight of 1000 grains and the yield of spring wheat is established.

### Введение

Как показывает накопленный опыт в России и за рубежом, воспроизводство плодородия почв во многом зависит от рационального применения агрохимических средств, главным образом – от удобрений. При этом максимальный эффект достигается от совместного использования органических и минеральных удобрений [1, 2]. Однако многие вопросы, в частности связанные с действием различных схем удобрения (минеральной, органической, органоминеральной) на физические, агрохимические и биологические показатели почв, урожайность и качество возделываемых культур в различных почвенных условиях, требуют уточнения. Необходимо уточнить, что в ряде зарубежных стран с применением высоких и сверхвысоких объемов минеральных удобрений, следствием чего во многих случаях стало ухудшение экологического равновесия и качества растительного сырья, появились сторонники так называемого альтернативного сельского хозяйства с ограниченным применением промышленных удобрений и даже с полным их исключением [3, 6, 8–9].

Между тем, согласно новой парадигме ФАО, изложенной в Руководстве для политиков по устойчивой интенсификации растениеводства, ставится задача получения высокой урожайности сельскохозяйственных культур путем разумного использования органических и химических удобрений, максимального использования естественных источников органического вещества (навоза, биологического азота) в комплексе с удобрениями на основе минерального сырья. Эта парадигма не противоречит ранее сформировавшимся отечественным концепциям. К тому же ее целесообразность подтверждают и результаты длительных исследований ВНИИ агрохимии и Смоленского ИСХ с удобрениями на дерново-подзолистых почвах, включая итоги нижеприведенного опыта [4, 7, 10].

### Цель и методика исследований

Влияние различных норм и сочетаний навоза и минеральных удобрений, а также их последствие на фоне азотного удобрения на урожай и качество яровой пшеницы сорта МИС изучали в долгосрочном полевом опыте в п. Олыша (Смоленский ИСХ), который был заложен в 1978 г. С 1998 г. опыт проводится в двух полях на площади 7 га. Опыт внесен в Реестр аттестатов длительных опытов с удобрениями и другими средствами химизации Российской Федерации. Исследования представлены четырехлетними данными (2007, 2008, 2014, 2015 гг.).

Цель работы заключалась в выявлении закономерностей длительного действия в агроценозах органических и минеральных удобрений в широком диапазоне доз для разработки эффективной системы удобрения под яровую пшеницу.

С 1978 по 2015 год прошло 5 ротаций севооборота. С 1978 по 2008 год изучали влияние органических и минеральных удобрений на урожай и качество культур. С 2009 г. исследуется последствие органических и минеральных удобрений на фоне  $N_{45}$ . Навоз последний раз вносили в 2002 году. Единичные дозы под яровую пшеницу составили:  $N_{30}$ ,  $P_{30}$ ,  $K_{30}$ . Доза навоза – 3 т/га ежегодно.

Полная схема опыта состояла из 16 вариантов, повторенных на 3 фонах (0000, 1111, 2222), или 48 вариантов. В кодах первая цифра означает дозу азота, вторая – фосфора, третья – калия, четвертая – навоза. Площадь делянки – 112 м<sup>2</sup>. Повторность трехкратная.

Эксперимент проводился в плодосменном севообороте со следующей очередностью культур: овес на зеленую массу, озимая рожь, ячмень с подсевом трав, многолетние травы 1 и 2 годов пользования, яровая пшеница, овес.

Почва исследуемого участка дерново-подзолистая легкосуглинистая с низким содержанием гумуса (1,5–2,0 %), слабокислой реакцией почвенной среды (рН = 5,5), содержанием подвижного фосфора и калия соответственно 150–170 и 110–150 мг/кг почвы.

В эксперименте изучали следующие удобрения: аммиачную селитру (N – 34 %), простой суперфосфат ( $P_2O_5$  – 30 %) и хлористый калий ( $K_2O$  – 57 %), которые применяли под культивацию. Полуперепревший навоз вносили один раз за севооборот под озимую рожь под вспашку. Содержание в нем органического вещества (на сухую массу) составляло 49,1–68,6 %, отношение C:N равнялось 18–19. С единичной дозой навоза 3 т/га было внесено в почву (на 1 га) ежегодно 580 кг органического вещества, 15 кг N, 7 кг  $P_2O_5$ , 22 кг  $K_2O$ .

Закладка опыта и статистическая обработка экспериментальных данных выполнены по общепринятым методикам с использованием компьютерной программы STRAZ [5, 11].

### Результаты исследований

В таблице 1 представлены данные, которые отражают воздействие минеральных и органических удобрений на урожай яровой пшеницы. При сравнении экспериментальных показателей очевидно, что продуктивность яровой пшеницы при продолжительном использовании органических и минеральных удобрений (за период 1978–2008 гг.) значительно выше, чем на азотном фоне, без внесения фосфорно-калийных и органических удобрений. Прибавка урожайности в среднем за 2007–2008 годы увеличилась с 8,4 до 20,4 ц/га, а за 2014–2015 годы она возросла с 0,7 до 15,5 ц/га.

При одностороннем применении азота, фосфора и навоза прибавка была примерно одинаковой (11,0–

Таблица 1  
Влияние органических и минеральных удобрений на урожай яровой пшеницы

Table 1

*Influence of organic and mineral fertilizers on spring wheat harvest*

Варианты опыта <i>Experience variants</i>	Действие удобрений <i>Effect of fertilizers</i>			Последействие удобрений <i>Aftereffect of fertilizers</i>		
	Урожайность, ц/га (в среднем за 2007–2008 гг.) <i>Yield, c/ha (on average for 2007–2008)</i>	Прибавка <i>Increase</i>		Урожайность, ц/га (в среднем за 2014–2015 гг.) <i>Yield, c/ha (on average for 2014–2015)</i>	Прибавка <i>Increase</i>	
		ц/га <i>c/ha</i>	%		ц/га <i>c/ha</i>	%
0000	19,2	–	–	11,8	–	–
0030	27,6	8,4	44	16,6	4,8	41
0300	30,6	11,4	59	13,9	2,1	18
3000	30,5	11,3	59	12,5	0,7	6
3330	34,5	15,3	80	17,3	5,5	47
0003	30,2	11,0	57	15,1	3,3	28
1111	28,5	9,3	48	14,1	2,3	19
2222	33,4	14,2	74	17,5	5,7	48
3333	35,3	16,1	84	18,2	6,4	54
4444	32,3	13,1	68	24,3	12,5	106
5555	39,6	20,4	106	27,3	15,5	131
НСР <sub>05</sub>	2,6			1,1		

11,4 ц/га), от калия несколько ниже – 8,4 ц/га. При внесении минеральных удобрений в тройном объеме (3330) урожайность увеличилась на 80 %. Применение органоминеральной схемы с постепенным увеличением дозы способствовало значительному повышению прибавки урожая (до 106 %).

Яровая пшеница 2014–2015 гг. возделывалась шестой культурой севооборота, где уже изучали последействие фосфорно-калийных минеральных удобрений и навоза на фоне азотных удобрений. Аммиачную селитру вносили в дозе 45 кг д. в. Как видно из таблицы 1, средняя урожайность за 2 года уменьшилась примерно в 2 раза. И только на вариантах 4444, 5555 разница снизилась в 1,3–1,4 раза.

Расчитанные на основе экспериментальных данных полевого опыта уравнения (1) и (2) отражают зависимость урожайности зерна пшеницы от удобрений.

$$Y_{(2007-2008 \text{ гг.})} = 21,96 + 4,16N^{0,5} + 2,52P + 0,99K + 5,68H^{0,5} - 1,73(NP)^{0,5} - 2,05(PH)^{0,5} - 1,59(KH)^{0,5};$$

$$R = 0,75 \quad (1)$$

$$Y_{(2014-2015 \text{ гг.})} = 12,28 + 1,45K + 0,64H + 0,42(NP)^{0,5};$$

$$R = 0,87 \quad (2)$$

Согласно первому уравнению регрессии, установлена прямолинейная зависимость роста урожайности от возрастающих доз всех видов удобрений. Взаимодействие фосфорных и калийных удобрений с навозом и азотно-фосфорное сочетание способствовали снижению урожайности.

Учеными отмечено, что при хорошей обеспеченности почвы фосфором и калием одностороннее внесение азотных удобрений способствует получению стабильных урожаев, но приходится считаться

с неизбежностью определенного снижения почвенных запасов подвижного  $P_2O_5$  и  $K_2O$  [6, 7].

За период 2014–2015 гг. на рост урожайности яровой пшеницы оказывали влияние калийные минеральные удобрения и органика (2). Действие фосфора проявлялось только в комбинации с азотом.

Наравне с продуктивностью при возделывании пшеницы большое значение имеет и качество получаемого зерна.

На дерново-подзолистых почвах применение удобрений в научно обоснованных дозах способствует оптимизации условий для протекания биохимических реакций в растениях, а соответственно и повышению качества продукции [8].

Масса 1000 зерен – один из показателей, который определяет урожай зерна. В среднем за 2007–2008 гг. на фоне без внесения навоза масса 1000 зерен в зависимости от вида минерального удобрения увеличивалась от 34,2 до 42,9 г (таблица 2). При одностороннем применении органики (9 т/га ежегодно) она составила 37,0 г. Наиболее крупное зерно формировалось при внесении органо-минерального комплекса.

В период 2014–2015 гг. на фоне поддерживающей подкормки азотом наблюдались изменения крупности зерна пшеницы. Более крупная зерновка формировалась на делянках, где ранее вносили большие дозы навоза и минеральных удобрений. Наибольшая масса 1000 зерен составила 37,9 г.

Действие удобрений в той или иной степени влияло на массу 1000 зерен, о чем свидетельствуют уравнения регрессии (3) и (4).

$$Y_{(масса 1000 \text{ зерен за } 2007-2008 \text{ гг.})} = 36,84 + 0,32P + 0,52(NK)^{0,5};$$

$$R = 0,54 \quad (3)$$

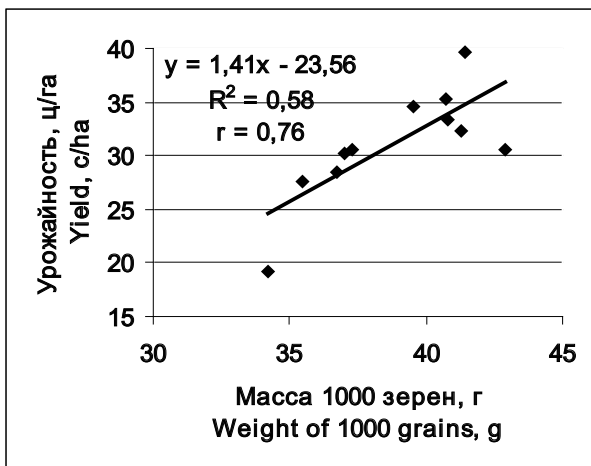
Таблица 2

Влияние действия и последействия органических и минеральных удобрений на качество зерна яровой пшеницы

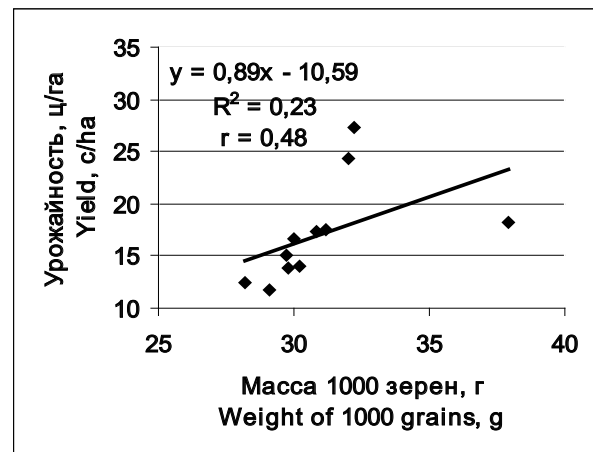
Table 1

Influence of action and aftereffect of organic and mineral fertilizers on quality of grain of spring wheat

Варианты опыта Phases experience variants	Действие удобрений, в среднем за 2007–2008 гг. Effect of fertilizers, on average for 2007–2008		Последействие удобрений, в среднем за 2014–2015 гг. Aftereffect of fertilizers, on average for 2014–2015	
	Сырой белок, % Crude protein, %	Масса 1000 зерен, г Weight of 1000 grains, g	Сырой белок, % Crude protein, %	Масса 1000 зерен, г Weight of 1000 grains, g
0000	9,4	34,2	6,1	29,1
0030	7,5	35,5	7,1	30,0
0300	9,5	42,9	7,2	29,8
3000	9,8	37,3	7,1	28,2
3330	11,7	39,5	7,7	30,8
0003	9,4	37,0	5,9	29,7
1111	7,4	36,7	6,5	30,2
2222	10,8	40,8	6,3	31,2
3333	10,3	40,7	7,9	37,9
4444	11,8	41,3	7,3	32,0
5555	12,5	41,4	7,9	32,2



2007–2008 гг.  
2007–2008



2014–2015 гг.  
2014–2015

Рис. 1. Взаимосвязь между урожайностью и массой 1000 зерен яровой пшеницы  
Fig. 1. Relationship between yield and weight of 1000 grains of spring wheat

$$Y_{\text{(масса 1000 зерен за 2014-2015 гг.)}} = 28,99 + 0,65K^{0,5} + 0,275N; \quad R = 0,48 \quad (4)$$

Если в годы внесения минеральных и органических удобрений крупность зерновки зависела только от минеральных удобрений, то в годы без их внесения увеличению массы 1000 зерен способствовали только калийные удобрения и навоз.

Применение органо-минерального комплекса в возрастающих дозах способствовало увеличению количества сырого белка в зерне пшеницы с 7,4 до 12,5 %. Без внесения удобрений процент белка изменялся незначительно.

Обработка экспериментальных данных выявила зависимость концентрации белка в зерне от удобрений (уравнения (5), (6)).

$$Y_{\text{(сырой белок за 2007-2008 гг.)}} = 9,24 + 0,58N^{0,5} - 0,6K^{0,5} + 0,5(PK)^{0,5}; \quad R = 0,66 \quad (5)$$

$$Y_{\text{(сырой белок за 2014-2015 гг.)}} = 6,43 + 0,22N + 0,34P + 0,35K^{0,5} - 0,54(PK)^{0,5}; \quad R = 0,56 \quad (6)$$

Сравнительный анализ показал, что в обоих случаях на содержание белка в зерне положительно влияли азотные удобрения. Калийные и взаимодействие фосфорно-калийных удобрений имели противоположный эффект. Если в годы внесения калийные удобрения снижали содержания белка, а фосфорно-калийное взаимодействие удобрений способствовало его увеличению, то без внесения минеральных удобрений, используя свободные запасы в почве, калий положительно влиял на увеличение концентрации белка в зерне, а фосфорно-ка-

лийное взаимодействие способствовало снижению его содержания.

В годы без минеральных удобрений процент белка в зерне увеличивался за счет использования почвенных запасов фосфора.

Установлена корреляционная связь между массой 1000 зерен пшеницы и ее продуктивностью. Как показано на рис. 1, коэффициент корреляции ( $r$ ) в 2007–2008 гг. приближался к единице. Это говорит о том, что между изучаемыми признаками имела тесная связь. При выращивании яровой пшеницы в 2014–2015 гг. коэффициент корреляции не превышал 0,48, т. е. урожайность слабо зависела от изменения массы 1000 зерен.

Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) составил 0,58 и 0,23, т. е. 58 % и 23 % колебаний в урожайности, соответственно, связано с изменением массы 1000 зерен.

### Литература

1. Агрохимия. Классический университетский учебник для стран СНГ / Под ред. В. Г. Минеева. – М. : ВНИИА, 2017. – 854 с.
2. Влияние длительного применения удобрений на органическое вещество почв / Под ред. В. Г. Сычева, Л. К. Шевцовой. – М. : ВНИИА, 2010. – 352 с.
3. Гаврилова А. Ю. [и др.] Эффективное использование органических и минеральных удобрений на дерново-подзолистых почвах Смоленской области // Итоги выполнения программы фундаментальных научных исследований государственных академий на 2013 – 2020 гг.: материалы Всероссийского координационного совещания научных учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями. 2018. С. 63–72.
4. Державин Л. М. Методология проектирования применения удобрений и других средств химизации в ресурсосберегающих агротехнологиях при модернизации земледелия // Агрохимия. 2013. № 8. С. 18–29.
5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М. : Книга по требованию, 2012. – 352 с.
6. Еськов А. И., Лукин С. М., Мерзлая Г. Е. Современное состояние и перспективы использования органических удобрений в сельском хозяйстве // Плодородие. 2018. № 1 (100). С. 20–23.
7. Коллетт Л., Ходжкин Т. Сохранить и приумножить: Руководство для политиков по устойчивой интенсификации растениеводства в мелких хозяйствах. – Рим : Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО), 2011. – 102 с.
8. Конова А. М. [и др.] Региональная система земледелия Смоленской области. – Смоленск: Агронаучсервис, 2013. – 277 с.
9. Лапа В. В., Ивахненко Н. Н., Грачева А. А. Длительное последствие остаточных количеств фосфорных и калийных удобрений // Почвоведение и агрохимия. 2014. № 1 (52). С. 136–148.
10. Мерзлая Г. Е. Эффективность органических систем удобрения // Экологически устойчивое земледелие: состояние, проблемы и пути их решения: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2018. С. 23–31.
11. Методика полевых и вегетационных опытов с удобрениями и гербицидами. – М. : Наука, 2000. – 184 с.

### References

1. Agrochemistry. Classical University textbook for CIS countries / Under the editorship of V. G. Mineev. – Moscow : All-Russian Research Institute of Automation, 2017. – 854 p.
2. Effect of long-term use of fertilizers on soil organic matter / Under the editorship of V. G. Sychev, L. K. Shevtsova. – Moscow : All-Russian Research Institute of Automation, 2010. – 352 p.
3. Gavrilova A. Yu. [et al.] Effective use of organic and mineral fertilizers on sod – podzolic soils of the Smolensk region // Results of the program of fundamental research of the state academies for 2013–2020: materials of the all-Russian coordination meeting of scientific institutions participating in the Geographical network of experiments with fertilizers. 2018. Pp. 63–72.
4. Derzhavin L. M. Methodology of designing the use of fertilizers and other chemicals in resource-saving agricultural technologies in the modernization of agriculture // Agrochemistry. 2013. No. 8. Pp. 18–29.

### Выводы. Рекомендации

На основании исследований, выполненных в долгосрочном полевом опыте, под яровую пшеницу сорта МИС при выращивании в севообороте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве рекомендуется применять органоминеральный комплекс удобрений в дозах не менее  $N_{60}P_{60}K_{60}$  на фоне 6 т/га подстилочного навоза ежегодно. При использовании этой системы удобрения средняя урожайность пшеницы составила 33,4 ц/га, что на 74 % превышало контроль без удобрений. При этом концентрация белка в зерне находилась на уровне 10,8 %, масса 1000 зерен составила 40,8 г. Возделывание яровой пшеницы по последствию минеральных и органических удобрений на фоне  $N_{45}$  привело к снижению средней урожайности зерна примерно в 2 раза.

5. Dospekhov B. A. Methodology of field experiment (with bases of statistical processing of results of observations). – Moscow : Kniga po trebovaniyu, 2012. – 352 p.
6. Eskov A. I., Lukin S. M., Merzlaya G. E. The current state and prospects of the use of organic fertilizers in agriculture // Fertility. 2018. No. 1 (100). Pp. 20–23.
7. Collett L., Hodgkin T. Preserve and multiply: A guide for policy makers on sustainable intensification of crop production in small farms. – Rome : Food and agriculture organization of the United Nations (FAO), 2011. – 102 p.
8. Konova A. M. [et al.] Regional system of agriculture of the Smolensk region. – Smolensk : Agronauchservis, 2013. – 277 p.
9. Lapa V. V., Ivakhnenko N. N., Gracheva A. A. Long-term aftereffect of residual amounts of phosphate and potash fertilizers // Soil science and Agrochemistry. 2014. No. 1 (52). Pp. 136–148.
10. Merzlaya G. E. Efficiency of organic fertilizer systems // Ecologically sustainable agriculture: the state, problems and solutions: materials of the all-Russian scientific and practical conference with international participation. 2018. Pp. 23–31.
11. Methods of field and vegetation experiments with fertilizers and herbicides. – Moscow : Nauka, 2000. – 184 p.