

## СОПРЯЖЕННОСТЬ ИЗМЕНЕНИЙ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ И ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР И УРОВНЯ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПО РАЙОНАМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Н. В. КЛЕБАНОВИЧ<sup>1)</sup>, А. Л. КИНДЕЕВ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Рассматриваются территориальные и структурные изменения урожайности зерновых и зернобобовых культур по районам Республики Беларусь, а также различия в дозах внесения минеральных удобрений по отдельным видам с 2014 по 2018 г. Цель исследования – определение степени влияния удобрений на динамику урожайности за исследуемый период и анализ причин изменений уровня урожаев зерновых и зернобобовых культур в районах страны. В основе работы лежат статистические методы исследования – корреляционный и регрессионный анализ связи минеральных удобрений с урожайностью. Корреляционный анализ показал значительную обратную линейную зависимость динамики урожаев от балла плодородия (коэффициент корреляции  $-0,66$ ), доказав, что более плодородные почвы теряют в сборах зерновых и зернобобовых культур практически в 2 раза по сравнению с менее пригодными землями. Регрессионный анализ подтвердил существенное влияние минеральных удобрений (коэффициент детерминации 56 %) на итоговые сборы зерновых и зернобобовых культур. Новизна исследования состоит в математической формализации стохастической зависимости урожайности зерновых и зернобобовых культур от уровня применения отдельных видов минеральных удобрений и установлении ее линейного характера. С помощью ГИС-технологий выявлены территориальные различия в эффективности использования удобрений под зерновые и зернобобовые культуры по административным районам Республики Беларусь и выделены три кластера продуктивности в стране – высокопродуктивный юго-запад (Гродненская и Брестская области, а также прилегающие к ним районы Минской области), продуктивный юго-восток (Гомельская и Могилёвская области с приграничными районами соседних областей) и низкопродуктивный север (Витебская область с северными районами Минской и Гродненской областей).

**Ключевые слова:** урожайность; зерновые культуры; зернобобовые культуры; Республика Беларусь; применение удобрений; плодородие почвы; корреляционный анализ; регрессионный анализ.

### Образец цитирования:

Клебанович НВ, Киндеев АЛ. Сопряженность изменений урожайности зерновых и зернобобовых культур и уровня применения удобрений по районам Республики Беларусь. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2022;1:15–27. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-1-15-27>

### For citation:

Klebanovich NV, Kindeev AL. Connectivity of change in yield of grain and leguminous crops and level of application of fertilisers by district of the Republic of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2022;1: 15–27. Russian. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-1-15-27>

### Авторы:

**Николай Васильевич Клебанович** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; профессор кафедры почвоведения и геоинформационных систем факультета географии и геоинформатики.

**Аркадий Леонидович Киндеев** – младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики.

### Authors:

**Nikolay V. Klebanovich**, doctor of science (agricultural sciences), full professor; professor at the department of soil science and land information systems, faculty of geography and geoinformatics.

*n\_klebanovich@inbox.ru*

**Arkady L. Kindeev**, junior researcher at the laboratory of landscape ecology, faculty of geography and geoinformatics.

*akindeev@tut.by*

## CONNECTIVITY OF CHANGE IN YIELD OF GRAIN AND LEGUMINOUS CROPS AND LEVEL OF APPLICATION OF FERTILISERS BY DISTRICT OF THE REPUBLIC OF BELARUS

*N. V. KLEBANOVICH<sup>a</sup>, A. L. KINDEEV<sup>a</sup>*

*<sup>a</sup>Belarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus*

*Corresponding author: A. L. Kindeev (akindeev@tut.by)*

The article discusses territorial and structural changes in the productivity of grain and leguminous crops in the districts of the Republic of Belarus, as well as differences in the doses of mineral fertilisers for certain types from 2014 to 2018. The aim of the study is to determine the degree of influence of fertilisers on the dynamics of productivity for the studied period and to analyse the reasons for changes in the level of yields of grain and leguminous crops in the regions of the country. The work is based on statistical research methods – correlation and regression analysis of the relationship between mineral fertilisers and productivity were carried out. Correlation analysis showed a significant inverse linear dependence of the yield dynamics on the fertility score (correlation coefficient –0.66), proving that more fertile soils lose in harvests of grain and leguminous crops are almost 2 times in comparison with less suitable land. Regression analysis confirmed the significant effect of mineral fertilisers (determination coefficient 56 %) on the final harvests of grain and leguminous crops. The novelty of the research lies in the mathematical formalisation of the stochastic dependence of the yield of grain and leguminous crops on the level of application of certain types of mineral fertilisers and the establishment of its linear character. With the help of GIS technologies, territorial differences in the effectiveness of the use of fertilisers for grain and leguminous crops in the administrative regions of the Republic of Belarus were established and three clusters of productivity in the country were identified – highly productive south-west (Grodno Region, Brest Region and adjacent districts of Minsk Region), productive south-east (Gomel Region and Mogilev Region with border areas of neighbouring regions) and low-productive north (Vitebsk Region with northern regions of Minsk Region and Grodno Region).

**Keywords:** productivity; fertiliser application; grain crops; leguminous crops; Republic of Belarus; soil fertility; correlation analysis; regression analysis.

### Введение

**Актуальность темы исследования.** Одна из важнейших стратегических целей, продекларированных в Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г., – формирование конкурентоспособного на мировом рынке и экологически безопасно-го производства сельскохозяйственных продуктов, необходимых для поддержания достигнутого уровня продовольственной безопасности, обеспечения полноценного питания и здорового образа жизни населения при сохранении плодородия почв [1].

Условием эффективного развития любой отрасли экономики, в том числе сельского хозяйства, является устойчивость производства. В первую очередь это обусловлено тем, что сельское хозяйство выступает главным производителем продуктов питания, т. е. основным источником жизнеобеспечения людей, и поэтому любые перебои в производстве весьма ощутимо сказываются на уровне жизни населения. Кроме того, большинство продуктов сельского хозяйства не подлежат длительному хранению и не могут накапливаться в запасах [2].

Главным критерием, отражающим эффективность работы агропромышленного комплекса (АПК) в стране, является урожайность зерновых и зернобобовых культур как основной группы возделываемых культур (до половины и более посевных площадей). За последние годы сложилось представление, что при среднем уровне эффективного плодородия почв сельскохозяйственных земель Беларуси [3] культура земледелия в республике сформирована и находится на достаточно высоком уровне, о чем свидетельствуют одни из самых больших показателей урожайности среди стран СНГ.

В условиях плановой экономики в Республике Беларусь каждый год достигаются установленные показатели по валовым сборам зерновых культур, но при этом не акцентируется внимание на динамике такого относительного показателя, как урожайность (т. е. сбор зерна на гектар посевных площадей, который объективно отражает эффективность ведения растениеводства в стране).

Уровень получаемых урожаев в республике складывается из двух основных показателей – урожайности за счет исходного плодородия почвы и урожайности, полученной в результате проведения научно обоснованных агротехнических и организационных мероприятий по рациональному применению удобрений под сельскохозяйственные культуры [4]. Первый из этих показателей может быть вычислен исходя из кадастрового балла земель и является относительно стабильной величиной. В Республике Беларусь расчетное плодородие почвы колеблется от 12–16 ц/га в Витебской области до 20–24 ц/га в Гродненской области и ряде районов Минской области при среднем показателе по стране 16–20 ц/га [5].

**Степень изученности вопроса.** Более динамичной и подверженной воздействию является та часть урожая, которая может быть получена за счет удобрений. Обычно на 1 кг действующего вещества минеральных удобрений удается получить 5–6 кг зерна и более, что полностью окупает затраты на их применение. При выращивании пшеницы на различных почвах Индии окупаемость 1 кг минеральных удобрений составила от 4,9 до 11,1 кг зерна, а при выращивании риса – от 8,1 до 11,3 кг [6]. В то же время индийские ученые отмечают снижение окупаемости удобрений со временем – с 48 кг в 1970–1971 гг. до 10 кг в 2007–2008 гг. [7]. В США, наоборот, наблюдается тенденция к росту окупаемости удобрений урожаем по мере улучшения качества самих удобрений, оптимизации доз внесения, внедрения более отзывчивых на удобрения сортов. Так, с середины 1970-х до начала 2000-х гг. средняя эффективность использования азотных удобрений под кукурузу возросла с 49 до 73 кг зерна на 1 кг азота [8]. В пяти частях Китая за 20 лет (1992–2012) окупаемость удобрений урожаем зерна изменилась по-разному: при повсеместном наращивании объемов внесения в Северо-Восточном Китае отмечено небольшое увеличение – с 23,6 до 24,8 кг на 1 кг минеральных удобрений, а в Центральном Китае зафиксировано максимальное снижение – с 17,8 до 14,9 кг на 1 кг удобрений [9].

Отмечается, что окупаемость 1 кг минеральных удобрений снижалась до 2,5 раза как с увеличением доз фосфорных и калийных удобрений в диапазоне 30–120 кг действующего вещества на 1 га (далее – кг/га д. в.), так и с повышением обеспеченности и легких, и суглинистых дерново-подзолистых почв подвижными формами элементов [10].

Как правило, урожайность зерновых культур тесно коррелирует с уровнем применения удобрений. Так, например, коэффициенты корреляции между уровнем применения минеральных удобрений и урожайностью зерновых культур в Курской области составили 0,64 в 1990 г. и 0,77 в 2000 г. (для органических удобрений – 0,67 и 0,76 соответственно) [11]. Урожайность зерновых может быть увеличена за счет использования улучшенного управления питательными веществами, повышения эффективности применения питательных веществ удобрений [12; 13]. Внесение полного минерального удобрения окупается лучше, чем раздельное использование азотных, фосфорных или калийных удобрений [14]. В опытах на Южном Урале в севообороте яровая пшеница – яровая пшеница – ячмень максимальная окупаемость минеральных удобрений урожаем при внесении  $N_{30}P_{30}$  была 5,3 кг зерновых единиц в среднем за 3 года, а с увеличением доз окупаемость снижалась [15]. При использовании полного минерального удобрения в дозе 127,5 кг/га была достигнута максимальная окупаемость удобрений – 6,7 кг зерновых единиц, при удвоении дозы она снижалась до 4,4 кг [16].

В целом если речь идет о зерновых колосовых культурах, то чаще всего окупаемость 1 кг минеральных удобрений составляет около 6 кг, как показало обобщение данных примерно 500 опытов в разных странах [17].

Белорусские ученые также неоднократно проводили анализ урожайных данных в контексте применения удобрений [18–22]. Так, за период 2004–2008 гг. среднегодовые дозы минеральных удобрений варьировались по районам от 150 до 348 кг/га. Продуктивность пашни была в положительной корреляционной связи ( $R^2 = 0,42$ ) с дозами удобрений, и расчетная окупаемость 1 кг минеральных удобрений составила 7,9 кормовой единицы, а фактическая окупаемость за период 2004–2008 гг. – в среднем 8,3 кормовой единицы [22].

**Цели исследования.** Очевидно, что высокий уровень урожайности любой культуры, как итоговый показатель деятельности всего АПК, складывается из массы лимитирующих факторов – от погодных условий при посеве семян, внесении удобрений и сборе урожая, геоморфологических особенностей территории до исправности сельскохозяйственной техники и квалификации рабочих. Анализ такого многообразия факторов в рамках одной статьи невозможен, поэтому наша цель – оценить степень влияния удобрений, которые имеют значительную пространственно-временную дифференциацию по дозам внесения в административных районах Республики Беларусь с 2014 по 2018 г., на динамику урожайности за исследуемый период и проанализировать причины изменений уровня урожая зерновых и зернобобовых культур в районах страны.

### Материалы и методы исследования

В основу работы положены статистические методы исследования, позволяющие определить силу взаимосвязи между переменными и степень влияния одной из них на другую. К таким методам относятся:

- корреляционный анализ (устанавливает форму и тесноту зависимости между случайными переменными);
- регрессионный анализ (математически описывает выявленную зависимость, т. е. дает возможность численно оценить одни параметры через другие) [23].

Построение картограмм осуществлялось с помощью инструментов программного обеспечения *ArcGIS* (приложение *ArcMap*).

Источниками информации для проведения исследования послужили статистический сборник «Сельское хозяйство Республики Беларусь» [24], данные об использовании удобрений и пестицидов за 2014–2018 гг.<sup>1</sup>, а также данные кадастровой оценки сельскохозяйственных земель [25].

### Результаты и их обсуждение

С 2014 по 2018 г. в разрезе областей прослеживается общая тенденция к снижению всех показателей, представленных в табл. 1. В 2014 г. удельные сборы зерновых и зернобобовых культур составляли от 25,5 ц/га в Витебской области до 46,2 ц/га в Гродненской области, также выделялась Гомельская область (34,0 ц/га), в остальных областях значения урожайности были примерно равны. К 2015 г. положительная тенденция сложилась в Гродненской области, значительно выросли урожаи в Витебской области (до 33,3 ц/га), превысив данный показатель в Гомельской и Могилёвской областях. Далее последовал спад урожайности, который продолжился вплоть до 2018 г. с небольшим подъемом в 2017 г., при этом позиции областей по урожайности остались такими же, как и в 2014 г. В большинстве областей снижение уровня урожаев в среднем колеблется в диапазоне 10–13 ц/га, исключением являются Гродненская область, для которой спад урожайности составил 16,2 ц/га, и Витебская область, где после резкого подъема в 2015 г. сборы с гектара вернулись примерно на уровень 2014 г., снизившись всего на 2,6 ц/га. В общем по стране с 2014 г. урожайность уменьшилась с 36,6 до 26,8 ц/га.

Таблица 1

Динамика урожайности зерновых и зернобобовых культур  
и уровень применения минеральных удобрений по областям Республики Беларусь

Table 1

Dynamics of the yield of grain and leguminous crops  
and the level of application of mineral fertilisers by regions of the Republic of Belarus

Область	Показатели	Год					Разница между 2014 и 2018 гг.
		2014	2015	2016	2017	2018	
Брестская	Урожайность, ц/га	39,2	38,3	34,2	34,8	29,4	–9,8
	Доза внесения минеральных удобрений, кг/га д. в.	237	204	181	180	186	–51
	В том числе:						
	азотных	85	80	72	81	81	–4
	фосфорных	34	26	19	19	23	–11
калийных	118	98	90	80	82	–36	
Витебская	Урожайность, ц/га	25,5	33,3	24,4	28,2	22,9	–2,6
	Доза внесения минеральных удобрений, кг/га д. в.	215	199	126	115	140	–75
	В том числе:						
	азотных	70	78	59	66	66	–4
	фосфорных	26	33	9	9	14	–12
калийных	119	88	58	40	60	–59	
Гомельская	Урожайность, ц/га	34,0	28,4	30,2	28,0	23,5	–10,5
	Доза внесения минеральных удобрений, кг/га д. в.	229	205	146	140	173	–56
	В том числе:						
	азотных	84	91	62	74	76	–8
	фосфорных	32	33	17	17	26	–6
калийных	113	81	67	49	71	–42	

<sup>1</sup>Об использовании удобрений и пестицидов под урожай 2014 года в Республике Беларусь : стат. бюл. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2015 ; Об использовании удобрений и пестицидов под урожай 2015 года в Республике Беларусь : стат. бюл. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2016 ; Об использовании удобрений и пестицидов под урожай 2016 года в Республике Беларусь : стат. бюл. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2017 ; Об использовании удобрений и пестицидов под урожай 2017 года в Республике Беларусь : стат. бюл. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2018 ; Об использовании удобрений и пестицидов под урожай 2018 года в Республике Беларусь : стат. бюл. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2019.

Окончание табл. 1  
 Ending table 1

Область	Показатели	Год					Разница между 2014 и 2018 гг.
		2014	2015	2016	2017	2018	
Гродненская	Урожайность, ц/га	46,2	47,5	35,4	39,7	30,0	-16,2
	Доза внесения минеральных удобрений, кг/га д. в.	298	275	199	228	251	-47
	В том числе:						
	азотных	117	112	91	111	118	+1
	фосфорных	47	40	17	23	26	-21
калийных	134	123	91	94	107	-27	
Минская	Урожайность, ц/га	38,5	38,4	33,1	35,0	28,5	-10
	Доза внесения минеральных удобрений, кг/га д. в.	241	235	207	187	204	-37
	В том числе:						
	азотных	87	91	83	89	90	+3
	фосфорных	36	36	26	20	30	-6
калийных	118	108	98	78	84	-34	
Могилёвская	Урожайность, ц/га	38,6	31,9	30,6	33,4	25,2	-13,4
	Доза внесения минеральных удобрений, кг/га д. в.	220	181	155	121	146	-74
	В том числе:						
	азотных	77	72	57	64	62	-15
	фосфорных	36	18	17	11	22	-14
калийных	107	91	81	46	62	-45	

Наряду со спадом урожайности во всех областях по сравнению с уровнем 2014 г. снизились дозы внесения минеральных удобрений. Так, в 2018 г. количество вносимых удобрений в Могилёвской и Витебской областях уменьшилось на 74–75 кг/га д. в., в Минской области – на 37 кг/га д. в., в других областях – примерно на 50 кг/га д. в. Анализ статистики по отдельным видам минеральных удобрений показывает резкое снижение доз внесения калийных удобрений (от -27 до -59 кг/га д. в. в Гродненской и Витебской областях соответственно). При этом уровень применения всех минеральных удобрений после 2017 г. начал возвращаться к уровню 2014 г. Например, в Гродненской и Минской областях наблюдается незначительное положительное сальдо по внесению азотных удобрений (+1 и +3 кг/га д. в. соответственно). По внесению фосфорных удобрений в 2018 г. лидирует Минская область (30 кг/га д. в.), почти достигнув показателя 2014 г., другие области приблизились к исходному уровню примерно на 60 %.

По полученным данным прослеживается очевидная закономерность: Витебская и Могилёвская области, традиционно имеющие худшие показатели экономической эффективности применения удобрений (чистый доход от удобрений и его производные – чистый доход на один рубль произведенных затрат и на единицу внесенных удобрений, рентабельность), вносят удобрений меньше, чем другие области, а Минская область быстрее выходит на высокие показатели 2014 г. Максимальные значения доз азотных удобрений в Гродненской области объясняются близостью предприятия по их производству («Гродно Азот»).

Известно, что значительная доля получаемого в итоге урожая зависит от количества внесенных удобрений [5; 14; 19–22]. Однако мы видим, что Витебская область в 2018 г. внесла на 75 кг/га д. в. меньше, чем в 2014 г., но при этом разница между урожайностью в 2014 и 2018 гг. составила всего 2,6 ц/га, а, например, Гродненская область, снизив дозу внесения удобрений на 47 кг/га д. в., лишилась 16,2 ц/га урожая. С другой стороны, в Могилёвской области урожайность упала на 13,4 ц/га при уменьшении дозы удобрений на 74 кг/га д. в. Это косвенно подтверждает известный факт, говорящий о том, что на менее плодородных почвах, которые сосредоточены на севере республики, эффективность удобрений значительно ниже, чем на более плодородных почвах, представленных на юго-западе страны и в центральной части Предполесья. В связи с этим существенное уменьшение дозировок минеральных удобрений не привело к сильным изменениям уровня урожайности. Для статистического подтверждения данного тезиса построен регрессионный график и рассчитаны коэффициенты детерминации и корреляции (рис. 1). Для репрезентативности результатов использовались данные по административным районам Республики Беларусь.

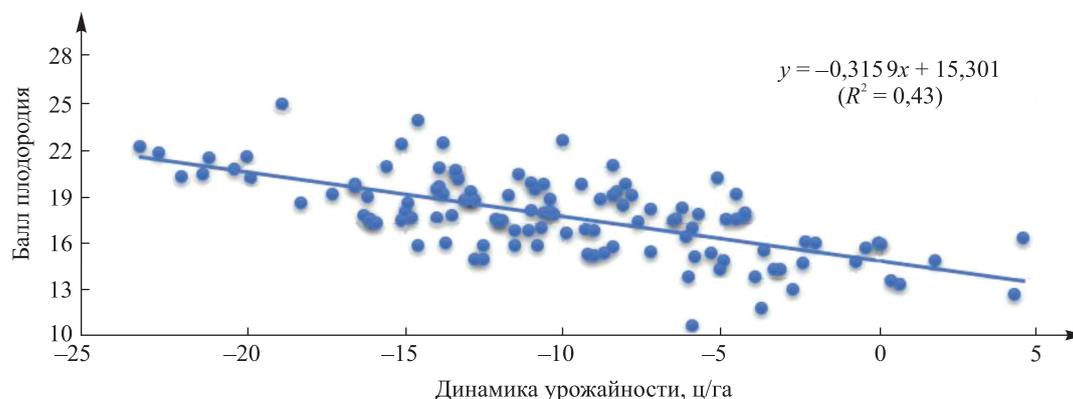


Рис. 1. Зависимость изменения урожайности зерновых и зернобобовых культур в административных районах Республики Беларусь в 2018 г. по сравнению с уровнем 2014 г. от балла плодородия почв

Fig. 1. Dependence of the change in the yield of grain and leguminous crops in the administrative regions of the Republic of Belarus in 2018 compared to the level of 2014 from the point of soil fertility

Полученный график отражает значительную обратную линейную зависимость динамики урожая от балла плодородия (коэффициент корреляции  $-0,66$ ), т. е. на плодородных почвах потери в сборах зерновых и зернобобовых культур практически в 2 раза превышают аналогичный показатель на менее пригодных землях. В ряде районов с самыми низкими баллами плодородия наблюдается положительная динамика урожайности. При коэффициенте детерминации  $R^2 = 0,43$  полученным уравнением регрессии ( $y = -0,3159x + 15,301$ ) можно объяснить только 43 % величины снижения урожайности зерновых и зернобобовых культур в районах страны.

Это ставит перед нами задачу провести количественную оценку степени влияния минеральных удобрений на урожайность зерновых и зернобобовых культур. Во избежание случайных совпадений, которые могут привести к неверной трактовке результатов, и корреляционный анализ, и регрессионный анализ выполнялись как для каждого года в отдельности, так и по средним значениям показателей за исследуемый период (табл. 2).

Таблица 2

**Корреляционная матрица урожайности зерновых и зернобобовых культур с долей внесенных удобрений**

Table 2

**Correlation matrix of productivity of grain and leguminous crops with the proportion of applied fertilisers**

Показатели	Год	Минеральные удобрения				Органические удобрения
		Азотные	Фосфорные	Калийные	В целом	
Урожайность	2014	0,80	0,58	0,17	0,70	0,65
	2015	0,58	0,34	0,48	0,58	0,48
	2016	0,76	0,57	0,40	0,70	0,62
	2017	0,77	0,53	0,55	0,70	0,55
	2018	0,65	0,49	0,53	0,65	0,61
Среднее значение урожайности	—	0,79	0,60	0,58	0,75	0,68

Примечание. В данном случае подразумевается не среднее арифметическое полученных коэффициентов за 5 лет, а расчет корреляции между усредненными данными.

Как и предполагалось, значения коэффициента корреляции в разные годы имеют ряд существенных отличий при рассмотрении отдельных видов удобрений. В 2014 г. корреляция с калийными удобрениями отсутствует (0,17), по фосфорным и азотным удобрениям выбивается 2015 г., где корреляция хотя

и осталась в доверительных пределах значимости (0,34 и 0,58), но сильно снизилась по отношению к ее величине в другие годы. Для объективности, кроме расчета коэффициента корреляции для минеральных удобрений, было решено рассчитать аналогичный показатель для органических удобрений. Взаимосвязь между урожайностью и органическими удобрениями можно оценить как самую стабильную (от 0,48 до 0,65 по годам). Вследствие уменьшения корреляции с отдельными видами удобрений в 2015 г. снизилось и общее значение коэффициента корреляции урожайности с минеральными удобрениями (0,58). По этой причине силу взаимосвязи между урожайностью и удобрениями наиболее репрезентативно будет отражать коэффициент корреляции, рассчитанный по средним значениям за исследуемый период и составивший 0,75, что говорит о сильной взаимосвязи между показателями. В отдельности выделяются азотные удобрения (0,79), незначительно меньше коррелируют органические удобрения (0,68), замыкают ряд фосфорные и калийные удобрения (0,60 и 0,58 соответственно). Несмотря на разницу между значениями, можно констатировать, что корреляция между урожайностью и вносимыми удобрениями может расцениваться как прямая и высокозначимая.

Логическим продолжением корреляционного анализа является регрессионный анализ, который развивает и углубляет представление о корреляционной связи. Полученные уравнения регрессии и коэффициенты детерминации ( $R^2$ ) представлены в табл. 3.

Таблица 3

Регрессионные зависимости урожайности зерновых и зернобобовых культур с долей внесенных удобрений

Table 3

Regression dependences of the productivity of grain and leguminous crops with the proportion of applied fertilisers

Показатели	Год	Минеральные удобрения				Органические удобрения
		Азотные	Фосфорные	Калийные	В целом	
Урожайность	2014	$y = 0,3176x + 8,75$ ( $R^2 = 0,55$ )	$y = 0,5241x + 17,8$ ( $R^2 = 0,45$ )	$y = 0,1899x + 13,4$ ( $R^2 = 0,12$ )	$y = 0,1513x - 0,043$ ( $R^2 = 0,49$ )	$y = 2,2042x + 24,9$ ( $R^2 = 0,42$ )
	2015	$y = 0,2808x + 11,2$ ( $R^2 = 0,33$ )	$y = -0,0364x + 37,5$ ( $R^2 = 0,02$ )	$y = 0,2119x + 14,7$ ( $R^2 = 0,23$ )	$y = 0,1189x + 9,90$ ( $R^2 = 0,33$ )	$y = 1,7626x + 28,0$ ( $R^2 = 0,23$ )
	2016	$y = 0,2845x + 10,8$ ( $R^2 = 0,58$ )	$y = 0,4086x + 23,4$ ( $R^2 = 0,32$ )	$y = 0,1303x + 19,9$ ( $R^2 = 0,16$ )	$y = 0,1165x + 10,9$ ( $R^2 = 0,49$ )	$y = 1,7241x + 22,1$ ( $R^2 = 0,38$ )
	2017	$y = 0,2852x + 9,49$ ( $R^2 = 0,59$ )	$y = 0,4012x + 25,5$ ( $R^2 = 0,29$ )	$y = 0,1576x + 22,1$ ( $R^2 = 0,30$ )	$y = 0,1061x + 15,2$ ( $R^2 = 0,49$ )	$y = 1,6653x + 24,0$ ( $R^2 = 0,30$ )
	2018	$y = 0,1883x + 10,692$ ( $R^2 = 0,42$ )	$y = 0,2895x + 18,979$ ( $R^2 = 0,24$ )	$y = 2,0823x + 19,979$ ( $R^2 = 0,29$ )	$y = 0,0842x + 10,6$ ( $R^2 = 0,43$ )	$y = 1,3752x + 18,733$ ( $R^2 = 0,37$ )
Среднее значение урожайности	–	$y = 0,3111x + 7,08$ ( $R^2 = 0,63$ )	$y = 0,4832x + 20,17$ ( $R^2 = 0,36$ )	$y = 0,2293x + 12,1$ ( $R^2 = 0,34$ )	$y = 0,1331x + 6,46$ ( $R^2 = 0,57$ )	$y = 2,1726x + 21,5$ ( $R^2 = 0,47$ )

Результаты построения регрессионных графиков (не приводятся в связи с большой громоздкостью) показали, что во всех случаях наибольший коэффициент детерминации наблюдался при использовании линейного тренда. Логичным является наличие наибольшего коэффициента детерминации у азотных удобрений, значения которого находятся в диапазоне 0,42–0,60 и достигают 0,63 при усредненных показателях. Исключением является 2015 г., где взаимосвязь как азотных, так и других видов удобрений значительно снизилась. Гипотетически снижение коэффициента детерминации в 2015 г. можно объяснить уменьшением количества атмосферных осадков (550 мм в год, что является минимальным значением за последние 20 лет [26]), которое привело к снижению фотосинтетической активности растений и, как следствие, худшему отклику на вносимые удобрения. По отдельным годам практически отсутствует взаимосвязь урожайности с калийными удобрениями, только к 2017 г. значения  $R^2$  достигли 0,29, т. е. лишь 29 % урожайности можно описать, используя данные уравнения регрессии. В целом регрессионную

зависимость урожайности от доз минеральных и органических удобрений за исследуемый период можно оценить как значимую ( $R^2$  равен 0,56 и 0,46 соответственно).

Полученные результаты подтверждают значительную взаимосвязь между величиной получаемых урожаев и вносимыми удобрениями. В агрономической науке считается, что удобрения обеспечивают 40–60 % урожайности зерновых и зернобобовых культур. Наши расчеты доказывают справедливость выдвинутого тезиса для Республики Беларусь: можно констатировать, что минеральные удобрения имеют сильную корреляционную связь с продуктивностью и детерминируют 56 % урожаев, полученных за 2014–2018 гг.

После 2015 г. как в разрезе областей, так и в разрезе районов уменьшились дозы внесения удобрений. Особенно резко снизились количества фосфорных удобрений: в Шумилинском, Браславском, Верхнедвинском и Россонском районах в 2016 г. и Октябрьском, Глусском, Бобруйском, Мстиславском, Дрибинском, Россонском, Докшицком и Ушачском районах в 2017 г. фосфорные удобрения не вносились вообще<sup>2</sup>.

В 2018 г. ситуация улучшилась: в большинстве районов дозы фосфорных удобрений составили от 15 до 30 кг/га, притом что остались 34 района, в которых внесли менее 15 кг/га. Тем не менее в ряде административных районов Могилёвской и Минской областей наблюдается положительная динамика по внесению данного вида удобрений по отношению к уровню 2014 г. Максимальный прирост (более чем 30 кг/га) отмечен в Краснопольском, Славгородском, Костюковичском и Кричевском районах.

Внесение азотных удобрений при незначительных количественных изменениях за исследуемый период имело ряд структурных сдвигов. Подавляющее большинство районов Могилёвской и Гомельской областей снизили уровень применения данного вида удобрений, тогда как в Витебской и Гродненской областях преобладают районы, увеличившие дозы азота. Таким образом, территорию страны можно условно разделить на две части – северо-западную с положительной динамикой внесения азотных удобрений и юго-восточную с отрицательной динамикой.

При значительном уменьшении доз фосфорных и калийных удобрений констатируется общая отрицательная динамика внесения минеральных удобрений (108 из 118 районов), что не могло не отразиться на изменении урожайности зерновых и зернобобовых культур (рис. 2). За исследуемый период наименьшим различием по сравнению с уровнем 2014 г. характеризуются районы Витебской области, где колебания урожайности составили  $\pm 5$  ц/га, что может говорить об устоявшихся урожаях в данном регионе при однородном исходном уровне плодородия почв (12–16 ц/га). Однако в Верхнедвинском, Миорском, Поставском и Бешенковичском районах урожайность зерновых и зернобобовых культур в 2015 г. можно оценить как среднюю (30–35 ц/га) и выше среднего (более 35 ц/га). Данный факт говорит о том, что при очевидной корреляции плодородия почвы с урожайностью оно не является единственной причиной пониженных урожаев в другие годы: колебания урожайности в Республике Беларусь незначительно зависят от природных факторов и являются функцией многих переменных [27].

На большей части территории страны прослеживаются более значительные отрицательные изменения урожайности (исключение – Наровлянский район Гомельской области (+4,6 ц/га)). Подавляющее большинство районов (56), относящихся к центральной и северо-восточной частям Беларуси, с 2014 по 2018 г. потеряли от 10 до 20 ц/га зерна. В 64 районах не был достигнут уровень урожайности 25 ц/га, что для этой части страны можно расценивать как очень низкий показатель, практически сравнявшийся с урожайностью за счет плодородия почв (16–24 ц/га). Наиболее значительные изменения произошли в Гродненском (–20,0 ц/га), Слонимском (–20,4 ц/га), Зельвенском (–21,2 ц/га), Могилёвском (–21,4 ц/га), Ляховичском (–22,1 ц/га), Берестовицком (–22,8 ц/га) и Волковысском (–23,4 ц/га) районах.

Почвы всех этих районов являются одними из самых плодородных в стране (20–24 ц/га), позволяя получать урожаи более 45 ц/га. В ряде районов в 2014 г. урожайность достигала 50 ц/га (Волковысский, Могилёвский, Зельвенский районы), 60 ц/га (Берестовицкий район) и 70 ц/га (Гродненский район). Несмотря на высокие показатели, к 2018 г. из перечисленных районов только Гродненскому и Берестовицкому районам удалось выйти на урожайность выше 40 ц/га.

Стоит отметить, что ни один из этих районов не относится к группе с наибольшим снижением доз внесения минеральных удобрений за исследуемый период, так же как и ряд других районов страны с наиболее плодородными почвами. Вышеизложенное говорит о том, что присутствует управленческо-технологический фактор ведения сельскохозяйственного производства. Это подтверждают расхождения показателей урожайности в разных районах на почвах одинакового уровня плодородия и значительное уменьшение получаемых урожаев по годам, для нивелирования которых необходима действенная система мер в сфере отраслевого управления [28].

<sup>2</sup>Об использовании удобрений и пестицидов под урожай 2016 года... ; Об использовании удобрений и пестицидов под урожай 2017 года...

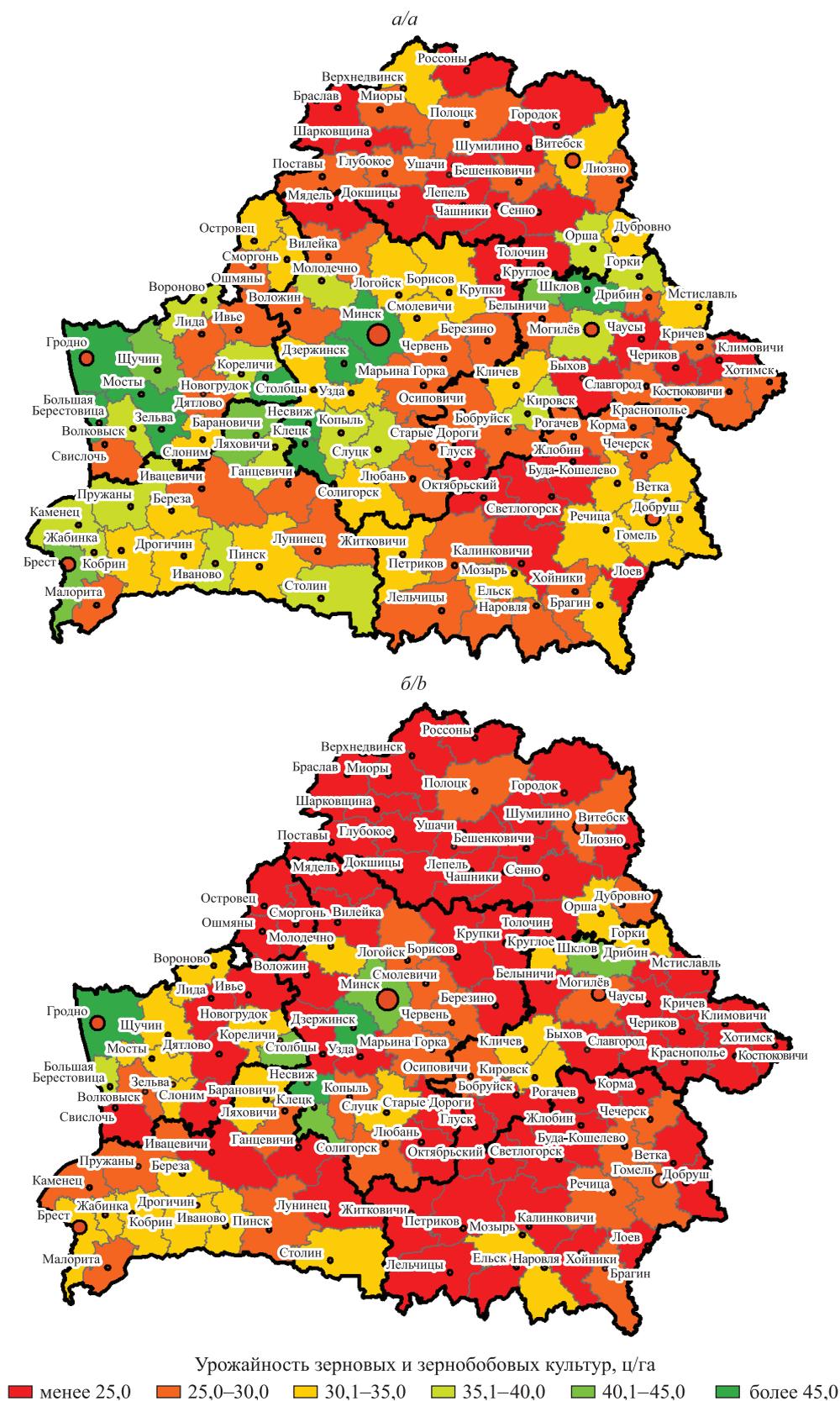


Рис. 2. Урожайность зерновых и зернобобовых культур в административных районах Республики Беларусь (начало): а – 2014 г.; б – 2018 г.

Fig. 2. Productivity of grain and leguminous crops in the administrative regions of the Republic of Belarus (beginning): a – 2014; b – 2018

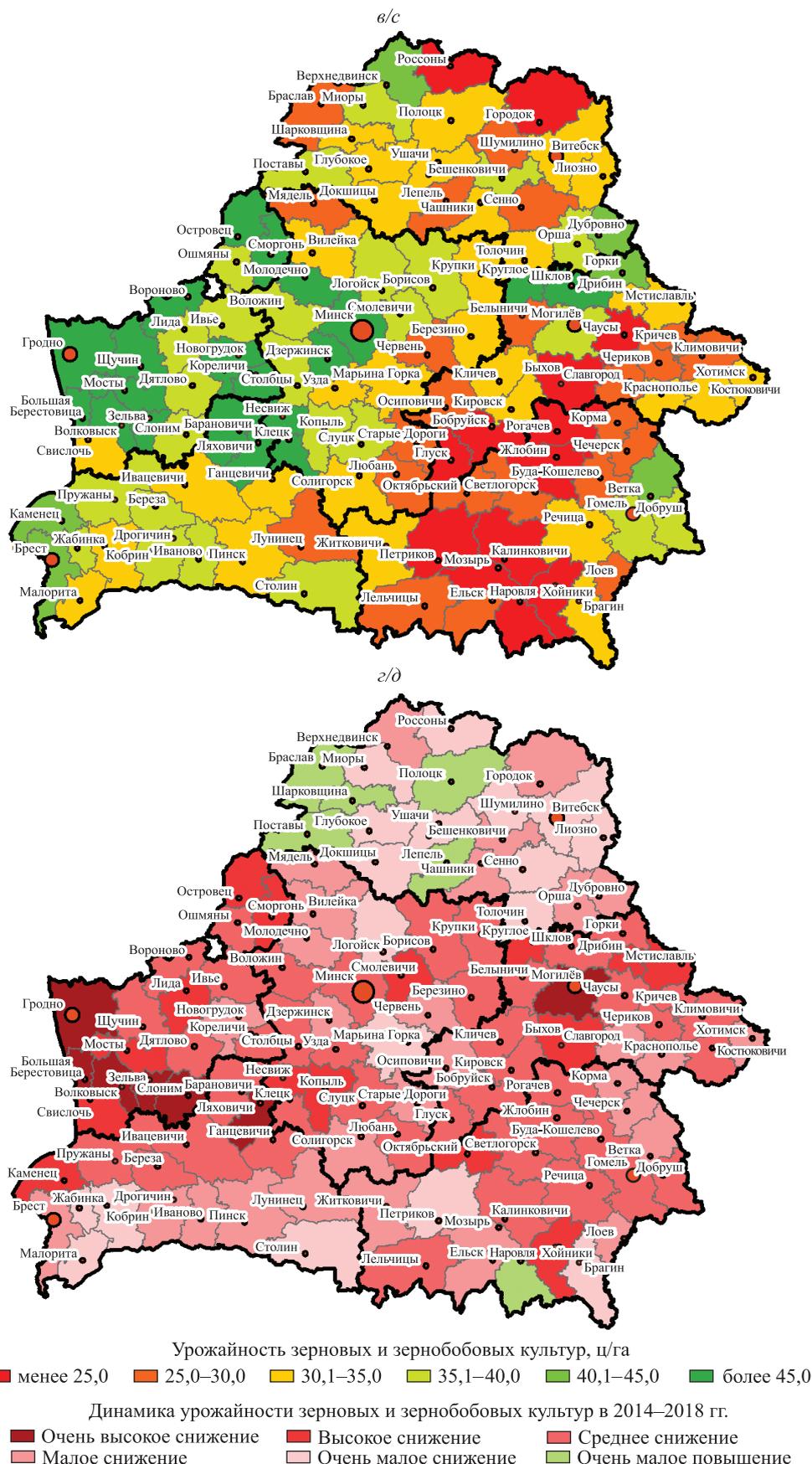


Рис. 2. Урожайность зерновых и зернобобовых культур в административных районах Республики Беларусь (окончание):  
 в – среднее арифметическое значение за 5 лет; г – динамика в 2014–2018 гг.

Fig. 2. Productivity of grain and leguminous crops in the administrative regions of the Republic of Belarus (ending):  
 с – arithmetic mean over 5 years; д – dynamics in 2014–2018

Различия в техническом и материальном оснащении хозяйств, разные подходы к управлению и ведению сельскохозяйственной деятельности, климатические изменения последних лет и ряд других переменных, влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур, не позволяют оценить реальный уровень производства по одному году. Это наглядно доказывают даже две картограммы за 2014 и 2018 гг. (см. рис. 2, а и б), различия между которыми колоссальны. Более репрезентативную оценку продуктивности тех или иных районов дает картограмма средних арифметических значений урожайности за исследуемый период (см. рис. 2, в).

По усредненным данным всю страну можно разделить на три региона – высокопродуктивный юго-запад (Гродненская и Брестская области, а также прилегающие к ним районы Минской области), продуктивный юго-восток (Гомельская и Могилёвская области с приграничными районами соседних областей) и низкопродуктивный север (Витебская область с северными районами Минской и Гродненской областей). При этом внутри данных регионов можно выделить кластеры как с высокими, так и с низкими показателями урожайности.

В юго-западном регионе большинство районов имеют повышенный уровень урожайности (более 40 ц/га) с вкраплениями низкопродуктивных районов, образующих кластер в северной части региона (Воложинский, Ошмянский, Ивьевский, Лидский, Дятловский районы) с урожайностью ниже среднего (25–30 ц/га). Юго-восточный регион отличается большей пестротой урожайности: в центре – низкопродуктивный кластер (Глусский, Октябрьский, Светлогорский, Калинковичский и Жлобинский районы) с урожайностью менее 25 ц/га, на севере – высокопродуктивный кластер (Круглянский, Шкловский, Горецкий, Оршанский и Могилёвский районы) с урожайностью более 40 ц/га. Северный регион однороден, большинство районов разделены на две группы: с очень низкой (менее 25 ц/га) и низкой (25–30 ц/га) урожайностью. Исключением можно считать три района Минской области – Логойский, Борисовский, Смолевичский.

### Заключение

Установлено, что зависимость между уровнем применения минеральных удобрений и урожайностью зерновых и зернобобовых культур носит сложный характер. Снижение доз внесения удобрений по районам Республики Беларусь с 2014 по 2018 г. привело к более существенным депрессиям урожайности зерна на плодородных почвах по сравнению с таковыми на менее плодородных почвах. Так, все районы со спадом урожая более чем 20 ц/га имеют высокий балл плодородия.

Новизна исследования состоит в математической формализации стохастической зависимости урожайности зерновых и зернобобовых культур от уровня применения отдельных видов минеральных удобрений и установлении ее линейного характера. Подтвердилась исходная гипотеза о наиболее существенном влиянии на урожайность зерна азотных удобрений (коэффициент корреляции 0,79), но и влияние фосфорных (0,60), калийных (0,58) и даже органических (0,68) удобрений было весьма значимым. В целом за 2014–2018 гг. минеральные удобрения детерминировали 56 % урожая зерна в стране.

Выявлены территориальные особенности эффективности производства зерна по административным районам Республики Беларусь. Самые высокие уровни урожайности зерновых и зернобобовых культур тяготеют к плодородным почвам в центре и на западе страны, но примерно в тех же районах зафиксировано и наибольшее снижение урожая с 2014 по 2018 г., связанное с уменьшением доз вносимых удобрений.

### Библиографические ссылки

1. Министерство экономики Республики Беларусь, Научно-исследовательский экономический институт Министерства экономики Республики Беларусь. *Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года*. Минск: Научно-исследовательский экономический институт Министерства экономики Республики Беларусь; 2017. 143 с.
2. Волчек В. Статистический анализ устойчивости сельскохозяйственного производства. *Экономический вестник (Эковест)*. 2001;4:627–642.
3. Клебанович НВ. *Почвоведение и земельные ресурсы*. Минск: БГУ; 2013. 343 с.
4. Лапа ВВ, Емельянова ВН, Леонов ФН, Рак МВ, Золотарь АК, Шибанова ИВ и др. *Система применения удобрений*. Лапа ВВ, редактор. Гродно: Гродненский государственный аграрный университет; 2011. 418 с.
5. Клебанович НВ, Киндеев АЛ. Оценка эффективности применения удобрений в районах Республики Беларусь. *Земля Беларуси*. 2017;3:37–45.
6. Fertilizer and Plant Nutrition Service, Land and Water Development Division. *Maximizing fertilizer use efficiency*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 1983. VI, 50 p. (FAO fertilizer and plant nutrition bulletin; 6).
7. Aulakh MS, Benbi DK. Enhancing fertilizer use efficiency. In: *Fertilizer security – a prerequisite for food security. Papers presented at the FAI annual seminar; 2008 December 4–6; New Delhi, India*. New Delhi: Fertiliser Association of India; 2008. p. SII-4/1–SII-4/23.

8. Fixen PE, West FB. Nitrogen fertilizers: meeting contemporary challenges. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 2002;31(2):169–176. DOI: 10.1579/0044-7447-31.2.169.
9. Wang X, Cai D, Grant C, Hoogmoed WB, Oenema O. Changes in regional grain yield responses to chemical fertilizer use in China over the last 20 years. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2018;18(2):312–328.
10. Шафран СА, Козенчева ЕС. Окупаемость минеральных удобрений прибавкой урожая картофеля на почвах нечерноземной зоны с разными агрохимическими свойствами. *Плодородие*. 2015;1:8–10.
11. Глазовский НФ, Гордеев АВ, Сдасюк ГВ, редакторы. *Устойчивое развитие сельского хозяйства и сельских территорий. Зарубежный опыт и проблемы России*. Москва: Товарищество научных изданий КМК; 2005. 615 с.
12. Limin Chuan, Ping He, Tongke Zhao, Huaiguo Zheng, Xinpeng Xu. Agronomic characteristics related to grain yield and nutrient use efficiency for wheat production in China. *PLoS One*. 2016;11(9):e0162802. DOI: 10.1371/journal.pone.0162802.
13. Imran M, Gurmani ZA. Role of macro and micro nutrients in the plant growth and development. *Science, Technology and Development*. 2011;30(3):36–40.
14. Fertilizer and Plant Nutrition Service, Land and Water Development Division. *Crop production levels and fertilizer use*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 1981. IX, 69 p. (FAO fertilizer and plant nutrition bulletin; 2).
15. Plotnikov AM, Sukhanova SF, Sazhina SV, Sozinov AV, Postovalov AA. Economic efficiency of fertilizer system in field crop rotation of the Trans-Urals. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;422:012030. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012030.
16. Окорков ВВ. Некоторые пути повышения эффективности применения удобрений. *Приложение к журналу «Современные наукоемкие технологии»*. 2008;3:64–72.
17. Schütz L, Gättinger A, Meier M, Müller A, Boller T, Mäder P, et al. Improving crop yield and nutrient use efficiency via biofertilization – a global meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*. 2018;8:2204. DOI: 10.3389/fpls.2017.02204.
18. Конончук ВВ, Иовик ЛН. Эконометрический анализ использования различных видов органических удобрений в формировании урожайности сельскохозяйственных культур. *Экологический вестник*. 2016;2:104–109.
19. Богдевич ИМ, Терещенко НД. Эффективность использования удобрений под зерновые культуры в зависимости от плодородия почв и экономических условий хозяйств Гомельской области. *Почвоведение и агрохимия*. 2007;1:112–120.
20. Терещенко НД. Влияние почвенно-агрохимических и экономических условий на урожайность зерновых культур и окупаемость удобрений. *Почвоведение и агрохимия*. 2007;2:133–141.
21. Васильюк ГВ, Германович ТМ. Оценка экономической и агрономической эффективности минеральных удобрений, внесенных под зерновые и зернообовые культуры. *Агрэкономіка*. 2004;4:50–54.
22. Богдевич ИМ, Терещенко НД. Продуктивность пашни и эффективность удобрений в зависимости от почвенно-агрохимических и экономических факторов. *Почвоведение и агрохимия*. 2009;2:79–92.
23. Чертко НК, Карпиченко АА. *Математические методы в географии*. Минск: БГУ; 2009. 199 с.
24. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. *Сельское хозяйство Республики Беларусь* [Интернет]. Минск: [б. и.]; 2019 [процитировано 10 марта 2021 г.]. 211 с. Доступно по: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/cd8/cd8827937d14602dc05d3c32081c0b47.pdf>.
25. Мороз ГМ, Дробыш СВ, Зданович ТН, Угначева НВ, Теренева АП, Павлюкевич ОА и др. *Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика*. Мороз ГМ, Лапа ВВ, редакторы. Минск: ИВЦ Минфина; 2017. 208 с.
26. В.2. Атмосферные осадки. В: *Индикаторы Совместной системы экологической информации* [Интернет]. Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь; 2020 [процитировано 2 апреля 2020 г.]. Доступно по: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovместnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/b-izmenenie-klimata/v-2-atmosfernye-osadki/>.
27. Клебанович НВ, Прокопович СН. Территориальные особенности эффективности сельскохозяйственного производства по административным районам Беларуси. В: Пирожник ИИ, Антипова ЕА, Власов БП, Витченко АН, Клебанович НВ, Смоляков ГС и др., редакторы. *Географические науки в обеспечении стратегии устойчивого развития в условиях глобализации (к 100-летию со дня рождения профессора Н. Т. Романовского) = Geographical sciences in realization of sustainable development strategy in globalizing world (to the 100<sup>th</sup> anniversary of professor N. T. Romanovskij)*. Материалы Международной научно-практической конференции; 25–28 октября 2012 г.; Минск, Беларусь. Минск: Издательский центр БГУ; 2012. с. 103–105.
28. Мороз Г. Плодородие сельскохозяйственных земель и его влияние на эффективность производства сельскохозяйственной продукции. *Земля Беларуси*. 2015;1:27–33.

## References

1. Ministry of Economy of the Republic of Belarus, Economic Research Institute of the Ministry of Economy of the Republic of Belarus. *Natsional'naya strategiya ustoichivogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Respubliki Belarus' na period do 2030 goda* [National strategy for sustainable socio-economic development of the Republic of Belarus for the period up to 2030]. Minsk: Economic Research Institute of the Ministry of Economy of the Republic of Belarus; 2017. 143 p. Russian.
2. Volchek V. [Statistical analysis of the sustainability of agricultural production]. *Ekonomicheskii vestnik (Ekovest)*. 2001;4: 627–642. Russian.
3. Klebanovich NV. *Pochvovedenie i zemel'nye resursy* [Soil science and land resources]. Minsk: Belarusian State University; 2013. 343 p. Russian.
4. Lapa VV, Emel'yanova VN, Leonov FN, Rak MV, Zolotar' AK, Shibanova IV, et al. *Sistema primeneniya udobrenii* [Fertilizer application system]. Lapa VV, editor. Grodno: Grodno State Agrarian University; 2011. 418 p. Russian.
5. Klebanovich NV, Kindeev AL. Evaluation of fertilizer applications in areas of the Republic of Belarus. *Zemlya Belarusi*. 2017;3:37–45. Russian.
6. Fertilizer and Plant Nutrition Service, Land and Water Development Division. *Maximizing fertilizer use efficiency*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 1983. VI, 50 p. (FAO fertilizer and plant nutrition bulletin; 6).
7. Aulakh MS, Benbi DK. Enhancing fertilizer use efficiency. In: *Fertilizer security – a prerequisite for food security. Papers presented at the FAI annual seminar; 2008 December 4–6; New Delhi, India*. New Delhi: Fertiliser Association of India; 2008. p. SII-4/1–SII-4/23.

8. Fixen PE, West FB. Nitrogen fertilizers: meeting contemporary challenges. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 2002;31(2):169–176. DOI: 10.1579/0044-7447-31.2.169.
9. Wang X, Cai D, Grant C, Hoogmoed WB, Oenema O. Changes in regional grain yield responses to chemical fertilizer use in China over the last 20 years. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2018;18(2):312–328.
10. Shafran SA, Kozeicheva ES. Recoupmnt of mineral fertilizers by potato yield gain on soils with different agrochemical properties in the nonchernozemic zone. *Plodородie*. 2015;1:8–10. Russian.
11. Glazovskii NF, Gordeev AV, Sdasyuk GV, editors. *Ustoichivoe razvitie sel'skogo khozyaistva i sel'skikh territorii. Zarubezhnyi opyt i problemy Rossii* [Sustainable development of agriculture and rural areas. Foreign experience and problems of Russia]. Moscow: KMK Scientific Press Ltd.; 2005. 615 p. Russian.
12. Limin Chuan, Ping He, Tongke Zhao, Huaiguo Zheng, Xinpeng Xu. Agronomic characteristics related to grain yield and nutrient use efficiency for wheat production in China. *PLoS One*. 2016;11(9):e0162802. DOI: 10.1371/journal.pone.0162802.
13. Imran M, Gurmani ZA. Role of macro and micro nutrients in the plant growth and development. *Science, Technology and Development*. 2011;30(3):36–40.
14. Fertilizer and Plant Nutrition Service, Land and Water Development Division. *Crop production levels and fertilizer use*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 1981. IX, 69 p. (FAO fertilizer and plant nutrition bulletin; 2).
15. Plotnikov AM, Sukhanova SF, Sazhina SV, Sozinov AV, Postovalov AA. Economic efficiency of fertilizer system in field crop rotation of the Trans-Urals. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;422:012030. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012030.
16. Okorkov VV. Some way of increasing to efficiency of the using the fertilizers. *Supplement to the Journal «Modern High Technologies»*. 2008;3:64–72. Russian.
17. Schütz L, Gattinger A, Meier M, Müller A, Boller T, Mäder P, et al. Improving crop yield and nutrient use efficiency via biofertilization – a global meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*. 2018;8:2204. DOI: 10.3389/fpls.2017.02204.
18. Kononchuk VV, Iovik LN. Econometric analysis using various types of organic fertilisers in crop yields. *Ekologicheskii vestnik*. 2016;2:104–109. Russian.
19. Bogdevich IM, Tereshchenko ND. [Efficiency of using fertilizers for grain crops depending on soil fertility and economic conditions of farms in the Gomel Region]. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2007;1:112–120. Russian.
20. Tereshchenko ND. [The influence of soil-agrochemical and economic conditions on the yield of grain crops and the payback of fertilizers]. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2007;2:133–141. Russian.
21. Vasilyuk GV, Germanovich TM. [Evaluation of the economic and agronomic efficiency of mineral fertilizers applied for grain and leguminous crops]. *Agroekonomika*. 2004;4:50–54. Russian.
22. Bogdevich IM, Tereshchenko ND. Productivity of arable land and fertilizer efficiency in relation to soil fertility and economy factors. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2009;2:79–92. Russian.
23. Chertko NK, Karpichenko AA. *Matematicheskie metody v geografii* [Mathematical methods in geography]. Minsk: Belarusian State University; 2009. 199 p. Russian.
24. National Statistical Committee of the Republic of Belarus. *Sel'skoe khozyaistvo Respubliki Belarus'* [Agriculture of the Republic of Belarus] [Internet]. Minsk: [s. n.]; 2019 [cited 2021 March 10]. 211 p. Available from: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/cd8/cd8827937d14602dc05d3c32081c0b47.pdf>. Russian.
25. Moroz GM, Drobyshev SV, Zdanovich TN, Ugnacheva NV, Tereneva AP, Pavlyukevich OA, et al. *Kadastruvaya otsenka sel'skokozyaistvennykh zemel' sel'skokhozyaistvennykh organizatsii i krest'yanskikh (fermerskikh) khozyaistv: metodika, tekhnologiya, praktika* [Cadastral assessment of agricultural lands of agricultural organizations and peasant (farmer) households: methodology, technology, practice]. Moroz GM, Lapa VV, editors. Minsk: IVTs Minfina; 2017. 208 p. Russian.
26. [B.2. Precipitation]. In: *Indikatoriy Sovmestnoi sistemy ekologicheskoi informatsii* [Indicators of the Shared Environmental Information System] [Internet]. Minsk: National Statistical Committee of the Republic of Belarus; 2020 [cited 2020 April 2]. Available from: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovmestnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/b-izmenenie-klimata/v-2-atmosfernye-osadki/>. Russian.
27. Klebanovich NV, Prokopovich SN. [Territorial features of the efficiency of agricultural production in the administrative regions of Belarus]. In: Pirozhnik II, Antipova EA, Vlasov BP, Vitchenko AN, Klebanovich NV, Smolyakov GS, et al., editors. *Geographical sciences in realization of sustainable development strategy in globalizing world (to the 100<sup>th</sup> anniversary of professor N. T. Romanovskij)*. *Proceedings of the International scientific and practical conference; 2012 October 25–28; Minsk, Belarus*. Minsk: Publishing Center of the Belarusian State University; 2012. p. 103–105. Russian.
28. Moroz G. Fertility of agricultural lands and its impact on the efficiency of agricultural production. *Zemlya Belarusi*. 2015;1:27–33. Russian.

Получена 13.05.2021 / исправлена 30.09.2021 / принята 24.03.2022.  
Received 13.05.2021 / revised 30.09.2021 / accepted 24.03.2022.