



Научная статья

УДК 631.41:631.812:631.839

doi: 10.55186/25876740\_2022\_65\_2\_194

## АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ ПРОИЗВОДСТВА КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ

Н.И. Аканова<sup>1</sup>, А.С. Стромский<sup>2</sup>, А.А. Стромский<sup>2</sup>,  
В.Б. Троц<sup>3</sup>, Н.М. Троц<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии  
имени Д.Н. Прянишникова, Москва, Россия

<sup>2</sup>ЕвроХим-Проект, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Самарский государственный аграрный университет, Усть-Кинельский,  
Самарская область, Россия

**Аннотация.** Рассмотрена перспектива использования промышленного калийно-натриевого глинистого удобрения (КНГУ) в сельском хозяйстве, где оно может найти применение в качестве мелиоранта или комплексного калийсодержащего удобрения. Мелиоративное использование отхода наряду с социальной и экологической целесообразностью имеет высокую экономическую эффективность. Внесение в почву КНГУ в сочетании с  $N_{40}P_{40}$ , обеспечивает прибавку урожая зерна яровой мягкой пшеницы сорта Кинельская Нива 5,7-10,1% или 0,06-0,25 т/га при его сборах 2,39-2,51 т/га. Урожайность яровой твердой пшеницы сорта Безенчукская 205 в среднем на 2,2-7,1% больше сборов зерна мягкой пшеницы. Урожай зерна мягкой и твердой пшеницы при внесении 600 кг/га КНГУ составил 2,46 и 2,55 т/га и при внесении 800 кг/га КНГУ — 2,51 и 2,69 т/га. Зерно с высокой объемной массой у мягкой пшеницы — 820-829 г/л и весом 1000 зерен 35,8-36,6 г получено в вариантах с нормой внесения КНГУ 600 и 800 кг/га. Аналогичные показатели у твердой пшеницы в этих же вариантах опыта равнялись 817-821 г/л и 51,2-52,0 г соответственно. Внесение в почву КНГУ снижает pH с 7,8 до 7,5 или на 2,6%. Эффект расселения почвы начинает проявляться при внесении 600 и 800 кг/га КНГУ. Внесение КНГУ в нормах 400, 600 и 800 кг/га в условиях центральной агроклиматической зоны Самарской области полностью окупается получением условно чистого дохода. Экономически наиболее целесообразно вносить КНГУ под яровую твердую пшеницу, получен максимальный условно чистый доход — 18400-20600 руб./га при уровне рентабельности производства 112,5-121,1%. Максимальный экономический эффект гарантируется при внесении 800 кг/га КНГУ.

**Ключевые слова:** мелиорант, калийное удобрение, плодородие почвы, яровая мягкая пшеница, яровая твердая пшеница, урожайность, качество зерна

Original article

## AGROECOLOGICAL EFFICIENCY OF THE USE OF SECONDARY RESOURCES OF POTASH FERTILIZER PRODUCTION IN AGRICULTURE

N.I. Akanova<sup>1</sup>, A.S. Stromsky<sup>2</sup>, A.A. Stromsky<sup>2</sup>, V.B. Trots<sup>3</sup>, N.M. Trots<sup>3</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov,  
Moscow, Russia

<sup>2</sup>EuroChem-Project, Saint-Petersburg, Russia

<sup>3</sup>Samara State Agrarian University, Ust-Kinelsky, Samara region, Russia

**Abstract.** The prospect of using industrial potassium-sodium clay fertilizer (KNGU) in agriculture, where it can be used as a reclamation agent or a complex potassium-containing fertilizer, is considered. The reclamation use of waste, along with social and environmental feasibility, has a high economic efficiency. The introduction of KNGU into the soil in combination with  $N_{40}P_{40}$ , provides an increase in the yield of grain of spring soft wheat of the Kinelskaya Niva variety of 5.7-10.1%, or 0.06-0.25 t/ha at its harvests of 2.39-2.51 t/ha. The yield of spring durum wheat of the Bezenchukskaya 205 variety is on average 2.2-7.1% more than the harvest of soft wheat grain. The yield of soft and durum wheat grain with the application of 600 kg/ha of KNGU amounted to — 2.46 t/ha and 2.55 t/ha and with the introduction of 800 kg/ha KNGU — 2.51 t/ha and 2.69 t/ha. Grain with a high volume weight of soft wheat — 820-829 g/l and a weight of 1000 grains 35.8-36.6 g was obtained in versions with a rate of application of KNGU 600 and 800 kg/ha. Similar indicators for durum wheat in the same experimental variants were 817-821 g/l and 51.2-52.0 g, respectively. The introduction of KNGU into the soil reduces the pH from 7.8 to 7.5 or by 2.6%. The effect of soil delimitation begins to manifest itself when 600 and 800 kg/ha of KNGU are applied. The introduction of KNGU in the norms of 400, 600 and 800 kg/ha in the conditions of the central agro-climatic zone of the Samara Region fully pays off by obtaining a conditional net income. Economically, it is most expedient to apply KNGU under spring durum wheat, the maximum conditionally net income was obtained — 18400-20600 rubles/ha with a production profitability of 112.5-121.1%. The maximum economic effect is guaranteed when applying 800 kg/ha of KNGU.

**Keywords:** meliorant, potash fertilizer, soil fertility, spring soft wheat, spring durum wheat, yield, grain quality

### Введение

Калий — необходимый элемент для роста и развития растений, и его недостаток в почве может быть лимитирующим фактором при формировании урожайности зерновых сельскохозяйственных культур [1, 2, 3]. Одним из основных источников калия для растений являются

калийные удобрения, которые используются как при основном внесении, так и в подкормках для всех культур. Уровень использования калийных удобрений — один из показателей интенсивности земледелия. К сожалению, в сельском хозяйстве России за последние 10-15 лет внесение калийных удобрений резко сократилось,

ежегодный дефицит калия в среднем по стране варьирует от -16 до -30 кг  $K_2O$ /га [4, 5].

В настоящее время калий вносится, главным образом, в виде сложных удобрений, которые не всегда могут обеспечить сбалансированное калийное питание растений, а значит и устойчивое повышение урожайности и качества



продукции, в том числе зерна яровой пшеницы [6, 7, 8]. В настоящее время основная его часть, предлагаемая на рынке, соответствует требованиям 3-5 классов, и очень мало зерна с содержанием массовой доли клейковины свыше 25-28% [9, 10]. Во многом причина кроется и в несбалансированности и снижении уровня применения минеральных удобрений, стоимость которых ежегодно возрастает и для многих хозяйств становится не доступной.

В качестве минерального удобрения можно использовать дешевые побочные продукты химической промышленности, содержащие макро- и микроэлементы [11]. Одним из таких отходов является калийсодержащий глино-солевой продукт или калийно-натриевое глинистое удобрение (КНГУ) производства ООО «ЕвроХим-Проект».

**Методика проведения опыта**

Цель работы состояла в исследовании агроэкологической эффективности применения КНГУ в посевах яровой мягкой и твердой пшеницы.

По метеоусловиям 2021 г. весенний период (март-апрель) был влагообеспеченным — 51 мм. В дальнейшем развитие растений проходило на фоне повышенных температур и дефицита осадков. В мае среднесуточная температура воздуха была на 6°С выше нормы, а количество осадков составило только 20,8 мм при норме 33 мм. В июне отмечались обильные осадки, сумма которых составила 72 мм, что равно 185% от нормы. В июле наблюдалась теплая погода и недостаток осадков, их сумма составила 47 мм (37% от нормы), это ускорило процессы развития яровой пшеницы и наступления фаз спелости, что сказалось на массе 1000 зерен. Жаркая и засушливая погода была и в августе, вегетация яровой пшеницы продолжалась при полном отсутствии атмосферной влаги. Сумма положительных температур за вегетационный период яровой пшеницы составила 2239°С при норме 1960°С, ГТК равнялся 0,55.

Полевой опыт был заложен и проведен в 2021 г. на экспериментальном поле ООО «Степь» Кинельского района Самарской области на черноземе обыкновенном солонцеватом среднесуглинистом с мощностью гумусового горизонта до 50-60 см. Поглотительная способность относительно высокая, сумма поглощенных оснований 30 мг-экв/100 г почвы, в составе поглощенных оснований преобладает Са — 92% от суммы поглощенных оснований.

Схема опыта включала пять вариантов:

Вид	Сорт	Нормы внесения удобрений	Способ применения
Мягкая пшеница	Кинельская Нива	Контроль — без удобрения	Расчетные нормы КНГУ вносились весной под культивацию, N <sub>20</sub> P <sub>20</sub> — весной под культивацию, оставшаяся доза N <sub>20</sub> P <sub>20</sub> — при посеве
		N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> (Фон)	
		N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 400 кг/га	
		N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 600 кг/га	
		N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 800 кг/га	
Твердая пшеница	Безенчукская 205	Контроль — без удобрения	
		N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> (Фон)	
		N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 400 кг/га	
		N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 600 кг/га	
		N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 800 кг/га	

КНГУ вносили поверхностно путем разбрасывания навесным тракторным разбрасывателем РУМ-1000 в весенний период под культивацию почвы с последующей заделкой культиватором КПМ-8 на фоне применения карбамида в дозе 67 кг/га в физическом весе, или 31 кг/га N по д.в., аммофоса — 78 кг/га в физическом весе, или 9 кг/га N и 40 кг/га P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> по д.в. Норма его внесения определялась с учетом содержания K<sub>2</sub>O в продукте в пределах 10%.

Объектами исследований являлись растения яровой мягкой пшеницы (ЯМП) сорта Кинельская Нива и яровой твердой пшеницы (ЯТП) сорта Безенчукская 205. Норма высева семян 4,5 млн шт. всхожих семян на 1 га. Уход за посевами включал их обработку гербицидами против сорняков в фазе кущения. Уборка опытных делянок проводилась селекционным комбайном TERRION-2010. Экспериментальная работа проводилась с учетом методики опытного дела Б.А. Доспехова [12], Методических указаний по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями [13], Методических требований к полевому опыту [14]. Общая площадь делянок — 100 м<sup>2</sup>, учетная — 80 м<sup>2</sup>, повторность — 4-кратная, размещение вариантов систематическое.

Полевые опыты сопровождались необходимыми наблюдениями и анализами: содержание белка в зерне — по ГОСТ 10846-91; крахмал — по ГОСТ 10845-98; объемная масса зерна — по ГОСТ 18040-64, содержание азота — по Кьельдалю (ГОСТ 13496-93), фосфор — ванадо-молибдатным способом (ГОСТ 26557-97), калий — методом пламенной фотометрии (ГОСТ 30504-97).

Учет урожая проводился поделочно с последующим взвешиванием и пересчетом на 14% влажностью зерна. Математическая обработка данных проводилась по Б.А. Доспехову (1985). Экономическую оценку результатов исследований выполняли по методике, разработанной кафедрой экономики Самарского ГАУ.

**Обсуждение результатов**

Установлено, что полевая всхожесть яровой мягкой пшеницы составляла 72,5-73,4%, яровой твердой пшеницы — 72,5-76,7%. Плотность стояния растений на 1 м<sup>2</sup> равнялась, соответственно, 325-330 и 324-345 шт., что в соответствии с требованиями растениеводства вполне достаточно для формирования высокопродуктивного агроценоза (табл. 1).

Достоверной разницы в густоте стояния растений по вариантам внесения КНГУ в посевах мягкой и твердой пшеницы не обнаружено. Показатель для растений твердой пшеницы на фоне N<sub>40</sub>P<sub>40</sub> оказался в среднем на 5,7% больше контрольного варианта, к уборке в посевах мягкой пшеницы густота снижалась до 230-255 шт., твердой пшеницы — до 230-264 шт.

На контроле мягкой пшеницы к уборке сохранилось в среднем 71,0% взошедших растений на 1 м<sup>2</sup>, в фоновом варианте — 73,5%, что на 3,5% больше контроля. На сохранность растений оказывало действие КНГУ: сохранялось в среднем на 14-25 растений больше, чем на контроле и на 5-16 шт. больше, чем в фоновом варианте. Наибольшая существенная разница отмечалась в посевах с применением КНГУ в норме 600 кг/га — 250 шт./м<sup>2</sup> и 800 кг/га — 255 шт./м<sup>2</sup>.

Аналогичные закономерности прослеживались в посевах твердой пшеницы. Максимальная сохранность растений — 75,2-77,0% отмечалась в вариантах с применением КНГУ в норме 600 и 800 кг/га, соответственно, 260 и 264 шт./м<sup>2</sup>.

Исследование динамики высоты растений показало, что у растений мягкой и твердой пшеницы к фазе кущения она практически равная и составляла 10-11 см. Среднесуточные темпы линейного роста растений составляли в среднем 0,43-0,48 см. К началу фазы выхода в трубку рост стеблей заметно ускорился и достигал в контрольном варианте 1,2 см/сутки, высота растений составляла 32-33 см, а в вариантах с внесением удобрений — 33-34 см.

К фазе колошения среднесуточные приросты у растений сорта Кинельская Нива в контрольном варианте составляют 1,6 см, в варианте, где применялся КНГУ в норме 400 кг/га — 2,0 см, а при нормах 600 и 800 кг/га — соответственно 2,1 и 2,2 см, высота стеблей в этих вариантах достигала 55 и 56 см, что на 5-6 см больше контрольного варианта (рис. 1).

Аналогичные закономерности прослеживались у растений твердой пшеницы: к фазе колошения длина стеблей при применении 400 кг/га КНГУ равнялась 55 см, а при 600 и 800 кг/га — соответственно 56 и 57 см, что в среднем на 3-5 см больше контрольного варианта.

К началу фазы молочной спелости зерна среднесуточные приросты стеблей существенно снижались и на контроле равнялись 0,53-0,60 см.

Таблица 1. Густота стояния и сохранность растений (2021 г.)  
Table 1. Density of standing and preservation of plants (2021)

Культура, сорт	Вариант опыта	Густота, шт./м <sup>2</sup> *		Полевая всхожесть, %	Сохранность, %
		всходов	стояния к уборке		
ЯМП, Кинельская Нива	Контроль — без удобрения	324	230	72,5	71,0
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> (Фон)	325	239	72,6	73,5
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 400 кг/га	328	244	72,8	74,4
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 600 кг/га	325	250	72,3	76,9
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 800 кг/га	330	255	73,4	77,3
ЯТП, Безенчукская 205	Контроль — без удобрения	324	230	72,5	71,0
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> (Фон)	345	251	76,7	73,0
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 400 кг/га	342	256	76,0	74,9
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 600 кг/га	345	259	76,7	75,2
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 800 кг/га	335	258	74,4	77,0

\* Высеяно 450 семян, шт./м<sup>2</sup>



Высота растений в фоновом варианте — 84 см, в вариантах с внесением 400 кг/га КНГУ — 84 см, 600 и 800 кг/га — соответственно 88 и 89 см.

Высота стеблей мягкой пшеницы на контроле к уборке составляла 86 см, среднесуточные приросты за период всходы-полная спелость — 1,0 см. Внесение в почву  $N_{40}P_{40}$  повышало темпы линейного роста растений в среднем на 2,3%, высота стеблей достигала 88 см. Добавление к фону КНГУ в норме 400 кг/га увеличивало темпы среднесуточных приростов на 6,9% и повышало высоту стеблей на 6 см — до 92 см. Увеличение нормы внесения КНГУ до 600 кг/га стимулировало ростовые процессы стеблей в среднем на 11,6%. Высота стеблестоя поднималась до отметки 96 см, что на 10 см больше контроля. Максимальную высоту растений имели посеы на фоне  $N_{40}P_{40}$  + 800 кг/га КНГУ — 98 см, что на 12 см, или 13,9% больше средней высоты стеблей на контроле.

В посевах твердой пшеницы высота стеблей к уборке урожая в контрольном варианте была

84 см, в фоновом варианте — 86 см, а в варианте с внесением 400 кг/га КНГУ — 88 см, или на 4 см выше контроля. Увеличение нормы применения КНГУ до 600 и 800 кг/га способствовало повышению темпов среднесуточных приростов по отношению к контролю в среднем на 9,5 и 14,2%, высота растений составила 92 и 96 см (рис. 2).

Выявлено, что яровая мягкая пшеница, даже при дефиците атмосферной влаги, способна формировать на слабощелочных черноземных почвах урожай зерна на уровне 2,26 т/га (табл. 2).

Внесение  $N_{40}P_{40}$  достоверно повышало продуктивность посева в среднем на 2,5%, или на 0,06 т/га — до 2,32 т/га. Внесение 400 кг/га КНГУ обеспечило сборы зерна до 2,39 т/га, что на 5,7%, или на 0,13 т/га больше контрольного варианта. Увеличение нормы применения КНГУ до 600 кг/га способствовало росту урожая зерна на 3,0% — до 2,46 т/га, что уже на 8,8% больше контроля. Применение 800 кг/га КНГУ обеспечило получение максимальных сборов зерна — 2,51 т/га, что на 2% выше в сравнении с

нормой 600 кг/га, прибавка к контролю составила 0,25 т/га, или 10,1%.

Растения пшеницы сорта Безенчукская 205 лучше использовали имеющиеся ресурсы, их урожайность в среднем на 2,2-7,1% больше, чем мягкой пшеницы. При внесении 400 кг/га КНГУ сборы зерна составили 2,49 т/га, что на 7,7% больше значения контрольного варианта. При внесении 600 и 800 кг/га КНГУ урожайность составила, соответственно, 2,55 и 2,69 т/га, что на 10,3 и 16,4% больше контроля.

Анализ структуры урожая показал, что число продуктивных стеблей в вариантах с яровой мягкой пшеницей варьировало от 430 до 481 шт./м<sup>2</sup>. Коэффициент продуктивной кустистости составлял 1,8-2,0 и не зависел от норм внесения КНГУ (табл. 3).

Количество зерен в колосе в среднем варьировало от 17,5 шт. — у растений контрольного варианта до 18,1 и 17,5 шт. — при внесении 600 и 800 кг/га КНГУ. Такая закономерность изменяла и суммарный вес зерна с одного колоса — с 0,54 г на контроле до 0,64 и 0,67 г в зависимости от числа зерен и их веса. Увеличивалась и масса 1000 зерен с 30,8 г — на контроле до 35,8 и 36,6 г — в вариантах с внесением 600 и 800 кг/га КНГУ. Вес зерна с одного колоса в этих вариантах был в среднем на 18,5 и 24,0% больше контроля и равнялся, соответственно, 0,64 и 0,67 г, против 0,54 г у растений контроля.

Число продуктивных колосьев на 1 м<sup>2</sup> и вес зерна с одного колоса определяли биологический урожай зерна. В фоновом варианте он был в среднем на 3,8% больше контроля — 270 г, против 260 г — на контроле. В вариантах с применением КНГУ он возростала на 6,2-14,8% по сравнению с фоновым вариантом и по отношению к контролю на 10,3-19,2% (табл. 4).

Анализ данных структуры урожая твердой пшеницы показал, что, в отличие от мягкой пшеницы, она меньше кустится, коэффициент кущения варьировал от 1,6 до 1,8. Меньшим было и число зерен в колосе — в среднем на 2,6-3,3 шт., однако они были более тяжеловесными, масса 1000 зерен в 1,4-1,5 раза превышала этот показатель зерна мягкой пшеницы. Наибольшие количество зерен в колосе, массу на 1 м<sup>2</sup> и массу 1000 зерен имели варианты с внесением КНГУ, максимальные значения отмечались при внесении 600 и 800 кг/га КНГУ.

Применение КНГУ в сочетании с  $N_{40}P_{40}$  способствовало улучшению структуры урожая: максимальное число зерен в колосе — 15,5-18,1 и 15,9-18,5 шт. их вес — 0,64-0,79 и 0,67-0,82 г, а также наибольшая масса 1000 зерен отмечена у растений вариантов с внесением 600 и 800 кг/га КНГУ. Биологическая урожайность в среднем на 13,0-13,3 и 16,5-19,2% соответственно больше показателя контрольного варианта и на 9,2-9,9 и 12,9-14,8% — фоновом варианте.

Внесение в почву  $N_{40}P_{40}$  и КНГУ оказало влияние на качество зерна сорта Кинельская Нива: увеличилась объемная масса (натура) с 809 г/л на контроле до 820 и 829 г/л в вариантах с внесением 600 и 800 кг/га КНГУ (табл. 5).

Существенное повышение объемной массы зерна — до 814 г/л отмечалось и при внесении 400 кг/га КНГУ. В фоновом варианте превышение контроля по показателю натуре зерна было относительно небольшим — 2 г/л.

У растений твердой пшеницы сформировалось зерно с большей объемной массой —

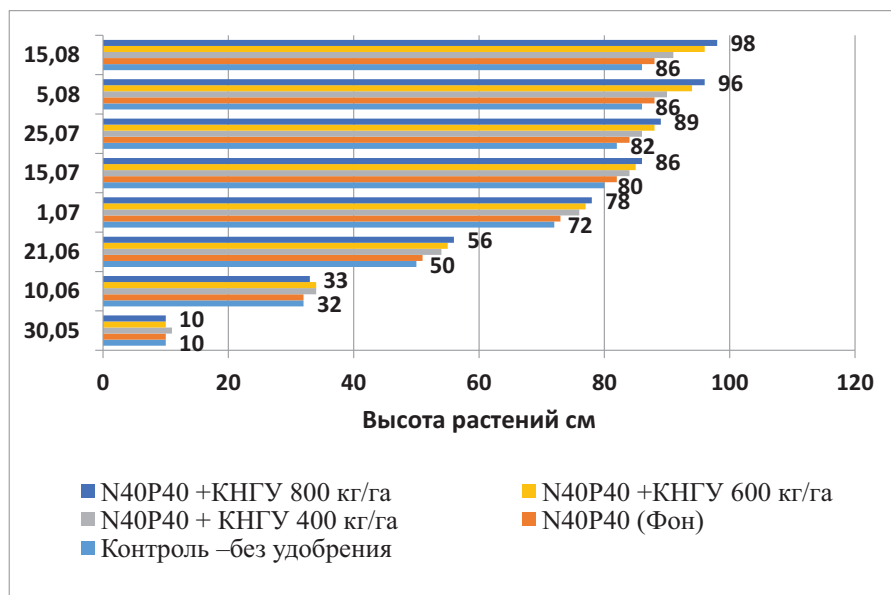


Рисунок 1. Динамика роста растений яровой пшеницы сорта Кинельская Нива  
Figure 1. Dynamics of growth of spring wheat plants of Kinelskaya Niva variety

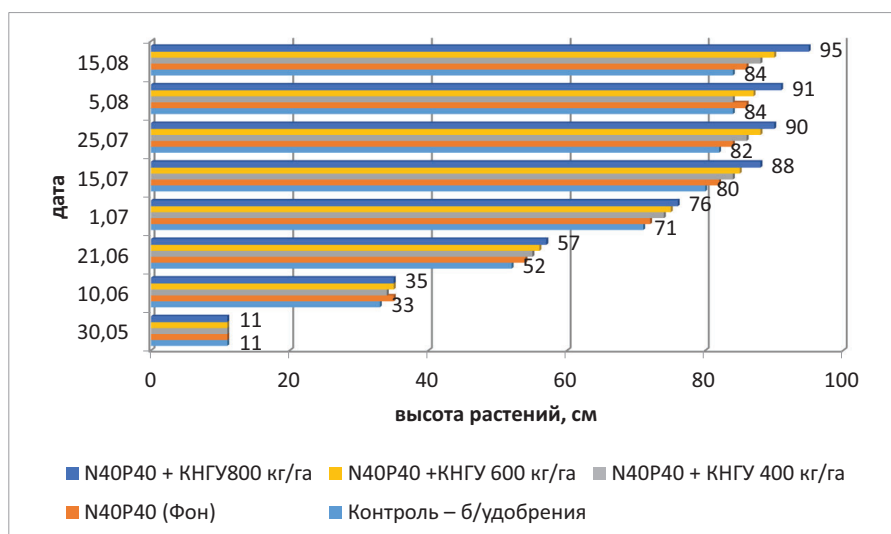


Рисунок 2. Динамика роста растений яровой пшеницы сорта Безенчукская 205  
Figure 2. Dynamics of growth of spring wheat plants of Brezenchukskaya 205 variety



803-821 г/л, наибольшие показатели — 817 и 821 г/л получены в вариантах с внесением 600 и 800 кг/га КНГУ, что больше на 1,7 и 2,2%.

Применение КНГУ существенно повлияло на массу 1000 зерен: в вариантах с растениями сорта Кинельская Нива она варьировала от 30,8 г на контроле до 35,8 г в варианте с внесением 600 кг/га КНГУ и 36,6 г — в варианте с внесением 800 кг/га КНГУ. Масса 1000 зерен в этих вариантах увеличилась по сравнению с контролем на 12,2 и 18,8% соответственно. На 3,8 г больше контроля оказалась масса 1000 зерен в варианте с внесением 400 кг/га КНГУ — 34,6 г, а в фоновом варианте на 1,2 г — на уровне 32,0 г.

Зерно твердой пшеницы получилось более крупное. Масса 1000 зерен составляла 46,4-52,0 г,

при этом максимальное значение отмечалось при внесении 600 и 800 кг/га КНГУ, которое на 10,3 и 12,0% превышало контрольный вариант. Масса 1000 зерен 50,0 г получена в варианте с внесением 400 кг/га КНГУ, что на 2,2 г выше контрольного варианта.

С увеличением урожайности посева сорта Кинельская Нива содержание белка в зерне снижалось в среднем на 2,8-12,6%, что характерно для всех вариантов применения КНГУ. Минимальное содержание белка — 12,65% отмечено в зерне вариантов с внесением 800 кг/га КНГУ.

У растений твердой пшеницы сорта Безенчукская 205 снижение содержания белка в зерне не выявлено, оно увеличивалось на удобренных вариантах по сравнению с контролем

в среднем на 4,1-4,8%. Очевидно, это связано с биологическими особенностями данного вида пшеницы и накоплением пластических веществ в зерне. При этом не выявлено значимых различий накопления белка по вариантам с внесением КНГУ.

Наибольшее содержание клейковины в зерне мягкой яровой пшеницы — 32,4% было в контрольном варианте, более низкое — в фоновом варианте — 31,2% и еще ниже в варианте с внесением КНГУ — 28,8%. Зерно вариантов с внесением 400 и 600 кг/га КНГУ содержало примерно равное количество клейковины — 27,5-28,8%, ИДК клейковины варьировал от 79 до 85 усл. ед., что соответствовало требованиям 2 группы качества.

В зерне твердой пшеницы оценивалось и содержание каратиноидов, определяющих цвет макаронных изделий. Их количество оказалось в пределах 432,4-460,6 мг%, определенных закономерностей их вариации не выявлено. Содержание клейковины в зерне варьировало от 25,1 до 26,4%. Однако в вариантах с внесением 600 и 800 кг/га КНГУ клейковина не отмывалась.

Выявлено, что внесение минеральных удобрений и КНГУ снижает реакцию почвенной среды с pH 7,8 весной до pH 7,5-7,7. Отмечено, что эффект рессорения почвы начинает проявляться при внесении 600 и 800 кг/га КНГУ. Значения pH уменьшались в слое 0-30 см в среднем с 7,7 на контроле до 7,5, или на 2,6% (табл. 6). Внесение КНГУ повышало почвенные запасы обменного калия по сравнению с контрольными вариантами в среднем на 30,6-35,2% — с 237-238 до 311-322 мг/кг. Это положительно может отразиться на урожайности последующих культур севооборота.

Экономическими расчетами установлено, что стоимость урожая мягкой пшеницы в денежном выражении по вариантам опыта варьировала от 20340 до 22590 руб./га (в ценах 2021 г.) (табл. 7).

Производственные затраты на выполнение всех технологических операций полностью окупались стоимостью произведенной продукции с получением условно чистого дохода в пределах 10840-11390 руб./га и уровнем рентабельности 102,0-114,1%. Прибавка продукции от внесения КНГУ оказалось недостаточно высокой, для того чтобы удержать показатель рентабельности на уровне контрольного значения. Он составил только 104,7,9% против 114,1% в контрольном варианте.

По мере увеличения нормы применения КНГУ до 600 кг/га объем дополнительно произведенного зерна увеличивался не значительно — в среднем на 3,0%. В результате величина условно чистого дохода составила 11240 руб./га и уровень рентабельности — 103%. Повышение нормы внесения КНГУ до 800 кг/га обеспечивало существенную прибавку урожая по сравнению контролем и вариантом с минимальной нормой его внесения — 400 т/га, достигавшей в денежном выражении, соответственно, 2250 и 1080 руб./га, при сравнительно небольших производственных затратах. В результате условно чистый доход возрастал до 11390 руб./га.

Анализ экономических показателей в опытах с твердой пшеницей показал, что получен достаточно высокий денежный доход — 32340-37600 руб./га, что на 59,0-66,0% больше, чем

Таблица 2. Урожай зерна (2021 г.)

Table 2. Grain harvest (2021)

Вариант опыта	ЯМП Кинельская Нива			ЯТП Безенчукская 205		
	урожай зерна, т/га	прибавка		урожай зерна, т/га	прибавка	
		т/га	%		т/га	%
Контроль — без удобрения	2,26	-	-	2,31	-	-
N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> (Фон)	2,32	0,06	2,6	2,40	0,09	3,8
N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 400 кг/га	2,39	0,13	5,7	2,49	0,18	7,7
N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 600 кг/га	2,46	0,20	8,8	2,55	0,24	10,3
N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 800 кг/га	2,51	0,25	10,1	2,69	0,38	16,4
HCP <sub>05</sub>	0,15	-	-	0,18	-	-

Таблица 3. Показатели структуры урожая зерна (2021 г.)

Table 3. Indicators of the structure of the grain harvest (2021)

Культура, сорт	Вариант опыта	Число			Кoeffициент продуктивного кущения
		растений к уборке	продуктивных стеблей	зерен в колосе, шт.	
ЯМП, Кинельская Нива	Контроль — без удобрения	230	481	17,5	2,0
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> (Фон)	239	450	17,7	1,9
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 400 кг/га	244	462	18,0	1,9
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 600 кг/га	250	460	18,1	1,8
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 800 кг/га	255	462	18,5	1,8
ЯТП, Безенчукская 205	Контроль — без удобрения	230	430	14,2	1,8
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> (Фон)	251	417	14,4	1,7
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 400 кг/га	256	413	15,0	1,6
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 600 кг/га	259	406	15,5	1,6
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 800 кг/га	258	404	15,9	1,6

Таблица 4. Показатели структуры биологической урожайности (2021 г.)

Table 4. Indicators of the structure of biological yield (2021)

Культура, сорт	Вариант опыта	Масса, г			Биологическая урожайность, т/га
		зерна с 1 колоса	зерна с 1 м <sup>2</sup>	1000 зерен	
ЯМП, Кинельская Нива	Контроль — без удобрения	0,54	260	30,8	2,60
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> (Фон)	0,60	270	32,0	2,70
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 400 кг/га	0,62	287	34,6	2,87
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 600 кг/га	0,64	295	35,8	2,95
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 800 кг/га	0,67	310	36,6	3,10
ЯТП, Безенчукская 205	Контроль — без удобрения	0,66	284	46,4	2,84
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> (Фон)	0,70	292	48,6	2,92
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 400 кг/га	0,75	310	50,0	3,10
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 600 кг/га	0,79	321	51,2	3,21
	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> + КНГУ 800 кг/га	0,82	331	52,0	3,31



у мягкой пшеницы. Посевы твердой пшеницы позволяют получать условно чистый доход на уровне 17040-20600 руб., что в 1,6-18 раз больше показателей посевов мягкой пшеницы.

Твердая пшеница, по сравнению с мягкой пшеницей, обеспечивает лучшую экономическую окупаемость дополнительно вкладываемых материальных ресурсов: уровень рентабельности

сравнению с контролем в среднем на 4,7-8,8% увеличивать сохранность растений к уборке. При этом наибольший эффект наблюдается при внесении в почву 600 и 800 кг/га КНГУ.

сравнению с контролем в среднем на 4,7-8,8% увеличивать сохранность растений к уборке. При этом наибольший эффект наблюдается при внесении в почву 600 и 800 кг/га КНГУ.

Применение КНГУ в сочетании с  $N_{40}P_{40}$  обеспечивает получение прибавки урожая зерна яровой мягкой пшеницы 5,7-10,1%, или 0,06-0,25 т/га при его сборах на уровне 2,39-2,51 т/га.

### Заключение

Внесение КНГУ не оказывает влияние на полевую всхожесть семян, но позволяет по

Таблица 5. Качество зерна яровой пшеницы (2021 г.)  
Table 5. Spring wheat grain quality (2021)

Культура, сорт	Вариант опыта	Натура, г/л	Содержание, %		Качество клейковины		Каротиноиды, мг%
			белка	клейковины	ИДК, усл. ед.	группа	
ЯМП, Кинельская Нива	Контроль — без удобрения	809	14,25	32,4	85	2	-
	$N_{40}P_{40}$ (Фон)	811	13,85	31,2	79	2	-
	$N_{40}P_{40}$ + КНГУ 400 кг/га	814	13,05	28,8	87	2	-
	$N_{40}P_{40}$ + КНГУ 600 кг/га	820	13,05	28,3	85	2	-
	$N_{40}P_{40}$ + КНГУ 800 кг/га	829	12,65	27,5	84	2	-
ЯТП, Безенчукская 205	Контроль — без удобрения	803	13,11	25,1	108	3	449,1
	$N_{40}P_{40}$ (Фон)	806	13,65	26,5	106	3	440,7
	$N_{40}P_{40}$ + КНГУ 400 кг/га	812	13,85	26,4	111	3	460,6
	$N_{40}P_{40}$ + КНГУ 600 кг/га	817	13,72	-	не отмывалась		465,7
	$N_{40}P_{40}$ + КНГУ 800 кг/га	821	13,75	-	не отмывалась		432,4

Таблица 6. Агрохимические показатели почвы  
Table 6. Agrochemical indicators of the soil

Культура, сорт	Вариант опыта	Глубина взятия образца, см	Показатель				
			рН	гумус, %	$N_{\text{щг}}$	мг/кг	
						$P_2O_5$	$K_2O$
<b>Перед посевом (до внесения КНГУ)</b>							
	Почва опытного участка S — 2000 м <sup>2</sup>	0-10	7,8	4,8	55,4	162	247
		10-20	7,8	4,4	51,6	169	255
		20-30	7,8	4,3	50,7	157	249
<b>Последствие КНГУ (после уборки урожая)</b>							
ЯМП, Кинельская Нива	Контроль — без удобрения	0-30	7,7	4,6	55,6	167	238
	$N_{40}P_{40}$ (Фон)	0-30	7,6	4,5	49,4	163	242
	$N_{40}P_{40}$ + КНГУ 400 кг/га	0-30	7,6	4,7	42,1	167	311
	$N_{40}P_{40}$ + КНГУ 600 кг/га	0-30	7,5	4,7	40,1	162	318
	$N_{40}P_{40}$ + КНГУ 800 кг/га	0-30	7,5	4,6	40,1	162	322
ЯТП, Безенчукская 205	Контроль — без удобрения	0-30	7,7	4,6	54,2	162	237
	$N_{40}P_{40}$ (Фон)	0-30	7,6	4,6	47,4	164	242
	$N_{40}P_{40}$ + КНГУ 400 кг/га	0-30	7,6	4,7	43,0	163	312
	$N_{40}P_{40}$ + КНГУ 600 кг/га	0-30	7,5	4,7	41,2	163	316
	$N_{40}P_{40}$ + КНГУ 800 кг/га	0-30	7,5	4,7	41,1	168	320

Таблица 7. Экономическая эффективность применения КНГУ (2021 г.)  
Table 7. Cost-effectiveness of the application of the KNGU (2021)

Культура, сорт	Вариант опыта	Стоимость продукции	Производственные затраты	Условный чистый доход	Рентабельность, %
ЯМП, Кинельская Нива	Контроль — без удобрения	20 340	9 500	10840	114,1
	$N_{40}P_{40}$ (Фон)	20 880	10 200	10 680	104,7
	$N_{40}P_{40}$ + КНГУ 400 кг/га	21 510	10 600	10 910	103,0
	$N_{40}P_{40}$ + КНГУ 600 кг/га	22 140	10 900	11 240	103,1
	$N_{40}P_{40}$ + КНГУ 800 кг/га	22 590	11 200	11 390	102,0
ЯТП, Безенчукская 205	Контроль — без удобрения	32 340	15 300	17 040	111,4
	$N_{40}P_{40}$ (Фон)	33 600	16 000	17 600	110,0
	$N_{40}P_{40}$ + КНГУ 400 кг/га	34 860	16 400	18 460	112,5
	$N_{40}P_{40}$ + КНГУ 600 кг/га	35 700	16 700	19 000	113,7
	$N_{40}P_{40}$ + КНГУ 800 кг/га	37 600	17 000	20600	121,1



Урожайность яровой твердой пшеницы сорта Безенчукская 205 в среднем на 2,2-7,1% больше урожайности мягкой пшеницы, максимальный урожай мягкой и твердой пшеницы при внесении 600 кг/га КНГУ — 2,46 и 2,55 т/га и при внесении 800 кг/га КНГУ — 2,51 и 2,69 т/га. Повышение урожая зерна обусловлено увеличением числа зерен в колосе мягкой и твердой пшеницы в среднем на 1,1-1,4%, массы зерна колоса — на 6,0-11,1%, массы 1000 зерен — на 3,8-4,7%, массы зерна с 1 м<sup>2</sup> и биологической урожайности — на 2,8-3,8%.

Внесение 600 и 800 кг/га КНГУ снижает pH среды с 7,8 до 7,5-7,7.

Применение КНГУ в нормах 400, 600 и 800 кг/га полностью окупается получением условно чистого дохода. Экономически наиболее целесообразно вносить КНГУ под яровую твердую пшеницу, что обеспечивает получение максимального условно чистого дохода — 18400-20600 руб./га при уровне рентабельности производства 112,5-121,1%, максимальный экономический эффект гарантируется при внесении КНГУ в норму 800 кг/га.

#### Список источников

1. Минеев В.Г. Агрохимия и экологические функции калия. М.: Изд-во МГУ, 1999. 332 с.
2. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. М.: Ледум, 2000. 184 с.
3. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. М.: Агрохимиздат, 1990. 219 с.
4. Вильдфлуш И.Р., Лапа В.В., Мишура О.И. Агрохимия удобрения и их применение в современном земледелии. Горки: БГСХА, 2019. 405 с.
5. Liu, X., P. He, J. Jin, W. Zhou, G. Sulewski, and S. Phillips. (2011). Yield gaps, indigenous nutrient supply, and nutrient use efficiency of wheat in China. *Agron. J.*, 103:1452-1463.
6. Иванова С.Е., Романенков В.А., Никитина Л.В. Первые результаты научного проекта по совершенствованию рекомендаций по внесению калийных удобрений в России // Ключевой элемент. 2014. № 1. С. 6-10.
7. Виноградов Д.В., Ильинский А.В., Данчев Д.В. Экологические аспекты охраны окружающей среды и рационального природопользования. Рязань: РГАТУ, 2017. 128 с.

#### Информация об авторах:

**Аканова Наталья Ивановна**, доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией агрохимии известковых удобрений и химической мелиорации, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3153-6740>, [n\\_akanova@mail.ru](mailto:n_akanova@mail.ru)

**Стромский Анатолий Сергеевич**, начальник отдела переработки твердых полезных ископаемых, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6270-4773>, [anatoly.stromsky@eurochemproject.ru](mailto:anatoly.stromsky@eurochemproject.ru)

**Стромский Александр Анатольевич**, заведующий лабораторией обогащения минерального сырья отдела переработки твердых полезных ископаемых, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3796-9822>, [aleksandr.stromsky@eurochemproject.ru](mailto:aleksandr.stromsky@eurochemproject.ru)

**Троц Василий Борисович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесоводства, экологии и безопасности жизнедеятельности, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0214-3529>, [dr.troz@mail.ru](mailto:dr.troz@mail.ru)

**Троц Наталья Михайловна**, доктор сельскохозяйственных наук, декан агрономического факультета, профессор кафедры землеустройства, почвоведения и агрохимии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3774-1235>, [troz\\_shi@mail.ru](mailto:troz_shi@mail.ru)

#### Information about the authors:

**Natalia I. Akanova**, doctor of biological sciences, professor, head of the laboratory of lime fertilizers and chemical reclamation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3153-6740>, [n\\_akanova@mail.ru](mailto:n_akanova@mail.ru)

**Anatoly S. Stromsky**, head of the mineral processing department, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6270-4773>, [anatoly.stromsky@eurochemproject.ru](mailto:anatoly.stromsky@eurochemproject.ru)

**Alexander A. Stromsky**, head of the mineral processing laboratory of the mineral processing department, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3796-9822>, [aleksandr.stromsky@eurochemproject.ru](mailto:aleksandr.stromsky@eurochemproject.ru)

**Vasily B. Trots**, doctor of agricultural sciences, professor, head of the department of forestry, ecology and safety, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0214-3529>, [dr.troz@mail.ru](mailto:dr.troz@mail.ru)

**Natalia M. Trots**, doctor of agricultural sciences, dean of the faculty of agronomy, professor of the department of land engineering, soil science and agrochemistry, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3774-1235>, [troz\\_shi@mail.ru](mailto:troz_shi@mail.ru)

8. Чуб М.П. Определение потребности яровой пшеницы в удобрениях в зависимости от погодных факторов и содержания в почве подвижных элементов питания. В кн.: Эффективность удобрений и повышение плодородия почв в засушливом Поволжье. Саратов: НИИСХ Юго-Востока, 1986. С. 4-19.

9. Габиров М.А. Агроэкологические приемы повышения продуктивности севооборота // Вестник Воронежского ГАУ. 2017. № 2. С. 40-44.

10. Габиров М.А. Энергосберегающие технологии производства сельскохозяйственной продукции // Зерновое хозяйство. 2006. № 2. С. 5-6.

11. Кирейчева Л.В., Нефедов А.В., Виноградов Д.В. и др. Обоснование использования удобрительно-мелиорирующей смеси на основе торфа и сапропеля для повышения плодородия деградированных почв // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2016. № 3 (31). С. 12-17.

12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / 5-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

13. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями / ВАСХНИЛ, ВНИИ удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова. М.: ВИУА, 1983. 22 с.

14. Методические требования к полевому опыту. Режим доступа: <https://poznayka.org/s65985t2.html> (дата обращения: 12.05.2021).

#### References

1. Mineev, V.G. (1999). *Agrokimiya i ehkologicheskii funktsii kaliya* [Agrochemistry and ecological functions of potassium]. Moscow, MSU Publishing house, 332 p.
2. Prokoshev, V.V., Deryugin, I.P. (2000). *Kalii i kaliinye udobreniya* [Potassium and potassium fertilizers]. Moscow, Ledum Publ., 184 p.
3. Kulakovskaya, T.N. (1990). *Optimizatsiya agrokhimicheskoi sistemy pochvennogo pitaniya rastenii* [Optimization of the agrochemical system of soil nutrition of plants]. Moscow, Agrohimizdat Publ., 219 p.
4. Vil'dflush, I.R., Lapa, V.V., Mishura, O.I. (2019). *Agrokimiya udobreniya i ikh primenenie v sovremennom zemledelii* [Agrochemistry of fertilizers and their application in modern agriculture]. Gorki, BGSА, 405 p.
5. Liu, X., P. He, J. Jin, W. Zhou, G. Sulewski, and S. Phillips. (2011). Yield gaps, indigenous nutrient supply, and nutrient use efficiency of wheat in China. *Agron. J.*, 103:1452-1463.
6. Ivanova, S.E., Romanenkov, V.A., Nikitina, L.V. (2014). Pervye rezultaty nauchnogo proekta po sovershenstvovaniyu rekomendatsii po vneseniyu kaliinykh udobrenii

v Rossii [The first results of the scientific project to improve the recommendations for the application of potash fertilizers in Russia]. *Klyuchevoi ehlement* [Key element], no. 1, pp. 6-10.

7. Vиноградов, D.V., Il'inskiy, A.V., Dancheev, D.V. (2017). *Ehkologicheskie aspekty okhrany okruzhayushchei sredy i ratsional'nogo prirodopol'zovaniya* [Ecological aspects of environmental protection and rational nature management]. Ryazan, 128 p.

8. Chub, M.P. (1986). *Opreделение potrebnosti yarovoi pshenitsy v udobreniyakh v zavisimosti ot pogodnykh faktorov i sodержaniya v pochve podvizhnykh ehlementov pitaniya* [Determination of the need for spring wheat in fertilizers depending on weather factors and the content of mobile nutrients in the soil]. In: *Ehffektivnost' udobrenii i povyshenie plodorodiya pochv v zasushlivom Povolzh'e* [Efficiency of fertilizers and increase of soil fertility in the arid Volga region]. Saratov, Research Institute of Agriculture of the South-East, pp. 4-19.

9. Gabibov, M.A. (2017). *Agroehkologicheskie priemy povysheniya produktivnosti sevooborota* [Agroecological methods of increasing the productivity of crop rotation]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of Voronezh State University], no. 2, pp. 40-44.

10. Gabibov, M.A. (2006). *Ehnergoberegayushchie tekhnologii proizvodstva sel'skokhozyaistvennoi produktsii* [Energy-saving technologies for the production of agricultural products]. *Zernovoe khozyaistvo*, no. 2, pp. 5-6.

11. Kireicheva, L.V., Nefedov, A.V., Vinogradov, D.V. i dr. (2016). *Obosnovanie ispol'zovaniya udobritel'no-melioriroyushchei smesi na osnove torfa i sapropelya dlya povysheniya plodorodiya degradirovannykh pochv* [Substantiation of the use of a fertilizer-reclamation mixture based on peat and sapropel to increase the fertility of degraded soils]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva* [Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev], no. 3 (31), pp. 12-17.

12. Dospikhov, B.A. (1985). *Metodika polevogo opyta* [Methods of field experience]. Moscow, Agropromizdat Publ., 351 p.

13. VIUA (1983). *Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu issledovaniy v dlitel'nykh opytakh s udobreniyami* [Methodical instructions for conducting research in long-term experiments with fertilizers]. Moscow, VIUA, 22 p.

14. Metodicheskie trebovaniya k polevomu opytu [Methodological requirements for field experience]. Available at: <https://poznayka.org/s65985t2.html> (accessed: 12.05.2021).

