

## ВЛИЯНИЕ СЕВООБОРОТОВ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭКОНОМИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЦЧР

**В. А. Лукьянов**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, lukyanov27@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1764-4083;

**Л. Б. Нитченко**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, Nitchenko58@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-8744-6130

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение*

*«Курский федеральный аграрный научный центр»,*

*305021, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 70б; Тел.: +7(4712) 53-42-56; e-mail: kurskfarc@mail.ru*

Экономическая эффективность является неотъемлемым методом анализа агротехнологий, особенно на фоне повышения цен на СЗР, семена, удобрения, ГСМ. Выявление и внедрение наиболее эффективных способов выращивания полевых культур с использованием севооборотов и удобрений остается актуальной задачей. Цель исследований заключалась в изучении влияния севооборотов и доз минеральных удобрений на урожайность зерна озимой пшеницы, в анализе экономической и энергетической эффективности ее возделывания в условиях Центрально-Черноземного региона. Исследования проводили в 2016, 2020 гг. в условиях опытного поля ФГБНУ «Курский ФАНЦ», почва опытного участка – чернозем типичный среднесуглинистый среднегумусный. Схема опыта включала факторы: севооборот – зернопаропропашной, зернотравянопропашной и зернотравяной; дозы удобрений – без удобрений,  $N_{20}P_{40}K_{40}$  и  $N_{40}P_{80}K_{80}$ . Агрометеорологические условия по ротациям изучаемых севооборотов отличались незначительно. В результате исследований было установлено, что урожайность зерна озимой пшеницы в зернотравяном и зернотравянопропашном севооборотах была на 17,2 и 13,8 % ниже, чем в зернопаропропашном. При внесении минеральных удобрений в дозе  $N_{40}P_{80}K_{80}$  отмечена наибольшая урожайность озимой пшеницы – 4,52 т/га. Самая низкая себестоимость зерна показана в зернопаропропашном севообороте, которая изменялась от 4,68 до 5,04 тыс. руб./т за счет более высокой урожайности, по сравнению с другими изучаемыми севооборотами и с дозой  $N_{20}P_{40}K_{40}$  (4,68, 4,80 и 4,97 тыс. руб./т соответственно по севооборотам). Более высокий уровень рентабельности – 113,7 % был в зернопаропропашном севообороте с дозой минеральных удобрений  $N_{20}P_{40}K_{40}$ , доза  $N_{40}P_{80}K_{80}$  не позволила получить высокую окупаемость удобрений. Энергоемкость производства возрастала с повышением доз вносимых удобрений, ее минимальные значения отмечены в зернопаропропашном севообороте (1,35–2,77 ГДж/т). Коэффициенты энергетической эффективности при внесении дозы  $N_{20}P_{40}K_{40}$  в севооборотах были более высокие, чем при внесении  $N_{40}P_{80}K_{80}$ .

**Ключевые слова:** озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), агротехнологии, севооборот, минеральные удобрения, урожайность, экономическая и энергетическая эффективность.

**Для цитирования:** Лукьянов В. А., Нитченко Л. Б. Влияние севооборотов и минеральных удобрений на показатели экономико-энергетической эффективности при возделывании озимой пшеницы в ЦЧР // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 90–98. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-90-98.



## THE EFFECT OF CROP ROTATIONS AND MINERAL FERTILIZERS ON ECONOMIC AND ENERGY EFFICIENCY INDICATORS WHEN CULTIVATING WINTER WHEAT IN THE CENTRAL BLACK EARTH REGION

**V. A. Lukyanov**, Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the laboratory for crop rotations and adaptive agrotechnologies, lukyanov27@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1764-4083;

**L. B. Nitchenko**, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for crop rotations and adaptive agrotechnologies, Nitchenko58@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-8744-6130

*Federal Agricultural Kursk Research Center*

*305021, Kursk, Karl Marks str., 70b; Tel.: +7(4712) 53-42-56; e-mail: kurskfarc@mail.ru*

Economic efficiency is an integral method of analyzing agricultural technologies, especially against the rising prices for plant protection products, seeds, fertilizers, and fuels and lubricants. Identification and implementation of the most effective methods of field crops, growing using crop rotation and fertilizers remains an urgent task. The purpose of the current research was to study the effect of crop rotations and doses of mineral fertilizers on productivity of winter wheat grain, to analyze the economic and energy efficiency of its cultivation in the conditions of the Central Blackearth region. The study was carried out in the conditions of the experimental field of the Federal Agricultural Kursk Research Center in 2016, 2020. The soil of the experimental plot was typical medium-loamy, medium-humus blackearth (chernozem). The experimental scheme included such factors as grain-fallow-row crop, grain-grass-row crop, and grain-grass rotations; with doses of fertilizers or without fertilizers,  $N_{20}P_{40}K_{40}$  and  $N_{40}P_{80}K_{80}$ . The weather con-

ditions for the rotations of the studied crop rotations differed slightly. As a result of the study, there was found that winter wheat grain productivity in grain-grass and grain-grass-row crop rotations was 17.2 and 13.8 % lower than in grain-fallow-row crop rotation. When applying mineral fertilizers at a dose of  $N_{40}P_{80}K_{80}$ , the largest winter wheat productivity was 4.52 t/ha. The lowest cost of grain was established in the grain-fallow-row crop rotation, which varied from 4.68 to 5.04 thousand rubles/t due to higher yields compared to other studied crop rotations and with a dose of  $N_{20}P_{40}K_{40}$  (4.68, 4.80 and 4.97 thousand rubles/t, respectively for crop rotations). A higher level of profitability of 113.7 % was observed in grain-fallow-row crop rotation with a dose of mineral fertilizers  $N_{20}P_{40}K_{40}$ , a dose of  $N_{40}P_{80}K_{80}$  not allowing obtaining a high payback of fertilizers. The energy intensity of production increased with increasing doses of applied fertilizers; its minimum values were determined in grain-fallow-row crop rotation (1.35–2.77 GJ/t). Energy efficiency coefficients when applying a dose of  $N_{20}P_{40}K_{40}$  in crop rotations were higher than when applying  $N_{40}P_{80}K_{80}$ .

**Keywords:** winter wheat (*Triticum aestivum* L.), agricultural technologies, crop rotation, mineral fertilizers, yield, economic and energy efficiency.

**Введение.** Стратегия по обеспечению страны полноценными продуктами питания и кормами требует внедрения эффективных адаптивных агротехнологий, включающих научно обоснованную систему удобрений, обработки почвы, биологизированных севооборотов, экологичную защиту растений.

В настоящее время экономическое положение аграрного производства ухудшилось вследствие сложившегося диспаритета цен, наблюдается опережающий рост затрат энергии на производство единицы продукции (Мелихова и др., 2020; Pederieva et al., 2019). В таких условиях экономия ресурсов является одной из важнейших проблем современного агропроизводства, так как необходима разработка новых агротехнологий возделывания полевых культур высокого качества с меньшими затратами на единицу продукции, при этом окупаемость должна формироваться не только за счет прироста урожая, но и за счет снижения себестоимости продукции, повышения ее качества (Великанова и др., 2018; Кислов и др., 2018). Оценка биоэнергетической эффективности производства сельскохозяйственной продукции является актуальным информационным ресурсом, которая позволяет оценить распределение энергоемкости по отдельным технологическим операциям и разработать способы ее снижения с каждого гектара почвы при наименьших затратах энергии в форме удобрений, пестицидов, топлива, средств механизации и т.д. (Дзюин, 2021; Семашкина и др., 2019).

Озимая пшеница является важнейшей зерновой культурой в России, поэтому повышение ее продуктивности и качества – одна из основных задач товаропроизводителя. На продуктивность озимой пшеницы существенно влияет расположение в севообороте, но в большей степени она зависит от вносимых минеральных удобрений, а также правильных сочетаний других технологических приемов – способов обработки почвы, защиты растений, наиболее урожайных сортов (Janusauskaite, 2022; Merzlaya et al., 2021).

Использование удобрений как дорогостоящий ресурс должно обосновываться исходя из экономической целесообразности, поэтому важным фактором является сбалансированное обеспечение питательными веществами на каждой стадии роста и развития растений (Алиев и др., 2019; Monreal et al., 2016). В связи с этим

возрастает роль элементов системы возделывания озимой пшеницы, в частности, применение научно обоснованных систем удобрения культуры в совокупности с размещением в севообороте по наилучшим предшественникам. Для формирования высоких урожаев озимых культур и повышения продуктивности пашни необходимо разработать эффективную систему удобрений под каждую культуру севооборота (Дзанагов и др., 2019; Петрова и др., 2021; Soltanaeva et al., 2018). На таком фоне правильно разработанный севооборот, учитывающий конкретные экономические и почвенно-климатические особенности хозяйств, обеспечит систематическое повышение плодородия почвы. Включение в севооборот традиционных биологических форм воспроизводства почвенного плодородия, например, многолетних бобовых трав, обеспечивает не только сбалансированность кормов по протеину, но и пополняет в почве содержание азота (Gurin et al., 2021; Mukhametov et al., 2021).

Цель исследований – изучение влияния севооборотов и доз минеральных удобрений на урожайность зерна озимой пшеницы, анализ экономической и энергетической эффективности ее возделывания в условиях Центрально-Черноземного региона.

#### **Материалы и методы исследований.**

Объект исследования – озимая пшеница, возделываемая в 2015/2016, 2019/2020 сельскохозяйственных годах на водораздельном плато опытного поля ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (с. Панино, Курская область, Медвенский район).

Схема опыта включала следующие факторы:

- севооборот (фактор А): зернопаропропашной: озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – кукуруза (*Zéa máys*) на зеленый корм – ячмень (*Hordeum vulgare*) – чистый пар; зернотравянопропашной: озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – кукуруза (*Zéa máys*) на зеленый корм – ячмень (*Hordeum vulgare*) + многолетние травы (*Onobrychis arenaria*) – (*Triticum aestivum* L.) – ячмень (*Hordeum vulgare*) + многолетние травы (*Onobrychis arenaria*) – многолетние травы первого года (*Onobrychis arenaria*) – многолетние травы второго года (*Onobrychis arenaria*);

- минеральные удобрения (фактор В): без внесения минеральных удобрений (контроль), доза удобрений –  $N_{20}P_{40}K_{40}$ , доза удобрений  $N_{40}P_{80}K_{80}$ .

Опыт заложен методом расщепленных делянок, площадь которых составляла 100 м<sup>2</sup>. Севообороты размещены во времени. Минеральные удобрения вносили вручную под основную обработку почвы. Сорт озимой пшеницы Синтетик (оригинатор – ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН»), норма высева семян – 5 млн шт./га.

Почва опытного участка – чернозем типичный среднесуглинистый среднегумусный. Содержание гумуса (ГОСТ 26213-91) – 5,9 %, щелочногидролизующего азота (метод Корнфилда) – 18,0 мг/100 г, подвижного фосфора (ГОСТ 26204-91) – 14,8 мг/100 г, подвижного калия (ГОСТ 26204-91) – 11,7 мг/100 г почвы, рНКСI (ГОСТ 26483-85) – 6,5.

Оценку условий увлажнения проводили с учетом гидротермического коэффициента (ГТК) Селянинова: ГТК < 0,4 – сухая; ГТК = 0,4–0,7 – очень засушливая; ГТК = 0,7–1,0 – засушливая; ГТК = 1,0–1,3 – слабо засушливая; ГТК = 1,3–1,6 – достаточно влажная;

ГТК > 1,6 – избыточно влажная. Обработку экспериментальных данных проводили методами дисперсионного (Доспехов, 2014) анализа с использованием программы Statistica 10.0. Экономическую и энергетическую эффективность результатов исследований рассчитали на основе технологических карт с использованием типовых норм в ценах 2020 года.

Агрометеорологические условия в период проведения исследований различались по ротациям изучаемых севооборотов незначительно. Среднегодовая температура воздуха была одинаковой в 2015/2016 и 2019/2020 сельскохозяйственных годах и составила + 9,1 °С. Количество выпавших осадков составило в 2015/2016 г. 837 мм (129,2 % к средней многолетней норме), в 2019/2020 г. – 561 мм (86,6 % к средней многолетней норме). Активные температуры при возобновлении весенней вегетации культуры отмечены только начиная с мая. Данные ГТК в период активной вегетации озимой пшеницы представлены на рисунке 1.

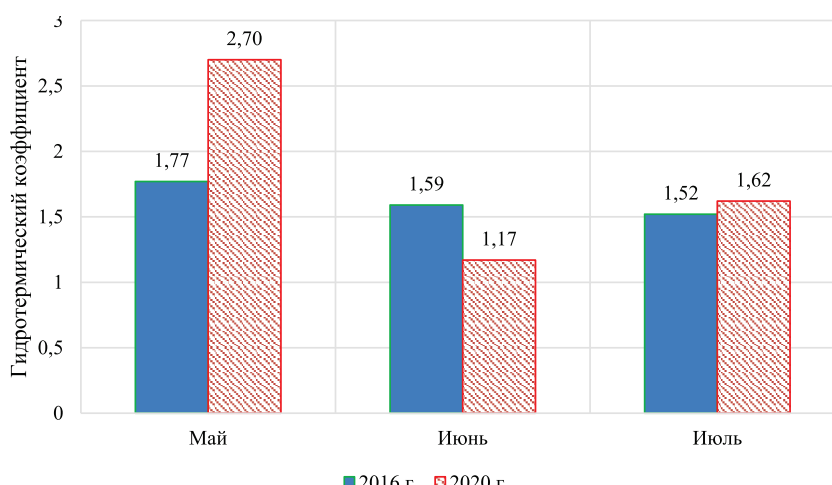


Рис. 1. Гидротермический режим в период проведения исследований

Fig. 1. Hydrothermal regime during the period of study

Из приведенного графика видно, что в мае 2016, 2020 и в июле 2020 гг. ГТК составил более 1,6, то есть условия увлажнения были избыточно влажные. В июне и июле 2016 г. ГТК = 1,59 и 1,52 указывали на достаточно влажные, в июне 2020 г. ГТК = 1,17 – на слабо засушливые условия увлажнения. Оценивая весь вегетационный период озимой пшеницы, гидротермические условия в 2015/2016 с.х. г. складывались избыточно влажные (ГТК = 1,64), в 2019/2020 г. – достаточно влажные (ГТК = 1,52).

**Результаты и их обсуждение.** Согласно полученным результатам урожайность зерна озимой пшеницы определялась в большей степени воздействием минеральных удобрений и в меньшей – севооборотов, доля влияния которых составила 63,9 и 36,1 % соответственно ( $HCP_{05}$ : A = 0,04; B = 0,04; AB = 0,07). Различия в урожайности озимой пшеницы, полученной в изучаемых севооборотах, были достоверны на 5-процентном уровне значимости при  $HCP_{05}$  = 0,04 т/га (табл. 1).

**Таблица 1. Влияние севооборотов и доз минеральных удобрений на урожайность зерна озимой пшеницы, т/га (средняя 2016, 2020 гг.)**  
**Table 1. Effect of crop rotations and doses of mineral fertilizers on productivity of winter wheat grain, t/ha (mean in 2016, 2020)**

| Севооборот (фактор А)    | Минеральные удобрения (фактор В) |                                                 |                                                 |         |
|--------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------|
|                          | без удобрений                    | N <sub>20</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> | N <sub>40</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub> | средняя |
| Зернопаропашной          | 3,58                             | 4,30                                            | 4,52                                            | 4,13    |
| Зернотравнопаропашной    | 3,00                             | 3,74                                            | 3,95                                            | 3,56    |
| Зернотравяной            | 2,83                             | 3,61                                            | 3,82                                            | 3,42    |
| Средняя                  | 3,14                             | 3,88                                            | 4,10                                            | 3,71    |
| $HCP_{05}$ , т/га        | A = 0,04; B = 0,04; AB = 0,07    |                                                 |                                                 |         |
| Доля влияния факторов, % | A = 36,1; B = 63,9               |                                                 |                                                 |         |

В зернопаропропашном севообороте паровой предшественник под озимую пшеницу способствовал получению урожайности зерна от 3,58 до 4,52 т/га, в зернотравянопропашном с многолетними бобовыми травами урожайность варьировала от 3,00 до 3,95 т/га, а в зернотравяном – от 2,83 до 3,82 т/га. Урожайность зерна озимой пшеницы составила в среднем в зернопаропропашном севообороте 4,13 т/га; в зернотравянопропашном была ниже на 13,8 %, в зернотравяном – ниже на 17,2 %. В варианте без удобрений средняя урожайность по севооборотам составила 3,14 т/га, с дозой  $N_{20}P_{40}K_{40}$  – 3,88 т/га, с дозой  $N_{40}P_{80}K_{80}$  – 4,10 т/га, то есть была выше на 23,6 и 30,6 % соответственно.

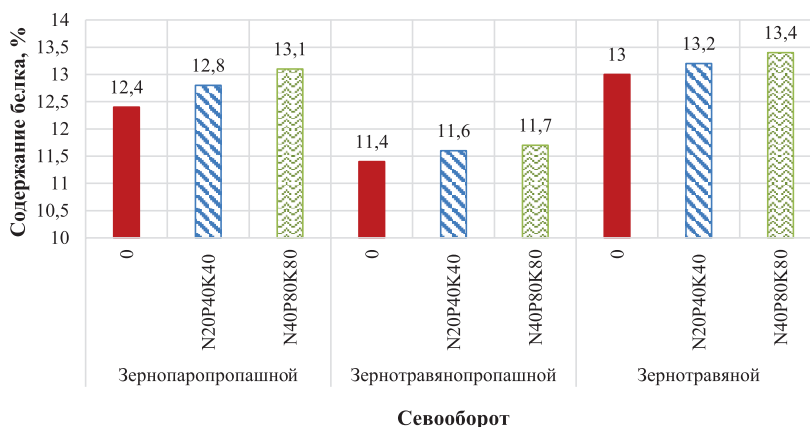
В зернопаропропашном севообороте урожайность зерна в варианте без удобрений составила 3,58 т/га, что было достоверно (при  $HCP_{05} = 0,04$  т/га) выше на 0,58 т/га по сравнению с зернотравянопропашным и на 0,75 т/га по сравнению с зернотравяным севооборотами. На фоне применения минеральных удобрений в дозе  $N_{20}P_{40}K_{40}$  в зернопаропропашном севообороте урожайность повысилась на 0,72 т/га, в дозе  $N_{40}P_{80}K_{80}$  – на 0,94 т/га по сравнению с вариантом без удобрений. В зернотравянопропашном севообороте урожайность зерна на фоне без применения удобрений составила 3,00 т/га. При внесении одинарной дозы удобрений  $N_{20}P_{40}K_{40}$  урожайность повысилась до 3,74 т/га, с внесением двойной дозы удобрений  $N_{40}P_{80}K_{80}$  – до 3,95 т/га. В зернотравяном севообороте урожайность озимой пшеницы была самой низкой – 2,83 т/га в вариан-

те без удобрений, 3,61 и 3,82 т/га при внесении  $N_{20}P_{40}K_{40}$  и  $N_{40}P_{80}K_{80}$  соответственно.

Согласно полученным результатам урожайность озимой пшеницы достоверно возросла с повышением дозы внесения минеральных удобрений. Самая высокая урожайность озимой пшеницы получена в зернопаропропашном севообороте при внесении дозы удобрений  $N_{40}P_{80}K_{80}$  – 4,52 т/га.

В результате исследований установлено, что содержание белка в зерне озимой пшеницы (рис. 2) определялось в основном влиянием севооборотов, доля влияния севооборотов составила 93,1 %, минеральных удобрений – 6,9 %. Наименьшие значения содержания белка получены в зернотравянопропашном севообороте – 11,4–11,7 %, наибольшие в зернотравяном – 13,0–13,4 %. В зернопаропропашном севообороте содержание белка было в среднем достоверно больше на 1,2 % по сравнению с зернотравянопропашным и на 0,4 % меньше по сравнению с зернотравяным севооборотом ( $HCP_{05} = 0,2$  %).

В зернопаропропашном севообороте без внесения минеральных удобрений содержание белка составило 12,4 % и было достоверно больше при внесении  $N_{20}P_{40}K_{40}$  на 0,4 %, при внесении  $N_{40}P_{80}K_{80}$  – на 0,7 %. В зернотравянопропашном и зернотравяном севооборотах значимая прибавка отмечена с дозой удобрений  $N_{40}P_{80}K_{80}$  – соответственно 0,3 и 0,4 %. Наибольшее содержание белка (13,4 %) получено при внесении  $N_{40}P_{80}K_{40}$  в зернотравяном севообороте.



**Рис. 2.** Содержание белка в зерне озимой пшеницы в зависимости от изучаемых факторов (средняя 2016, 2020 гг.)

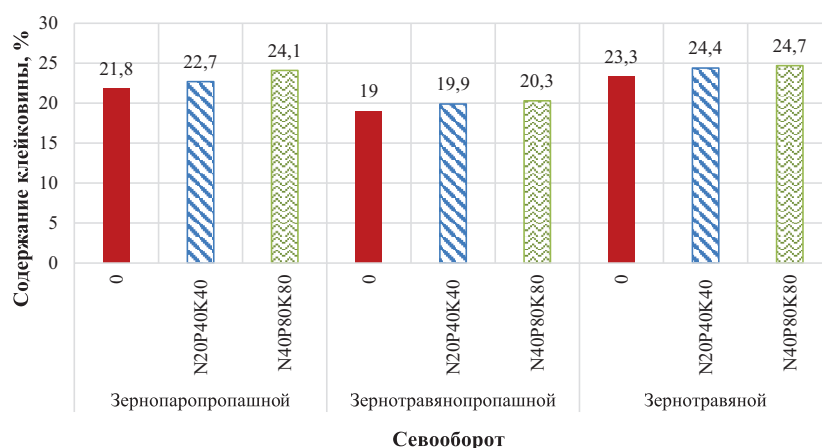
**Fig. 2.** Protein in winter wheat grain depending on the factors studied (mean in 2016, 2020)

Примечание.  $HCP_{05}$ , %: A = 0,2, B = 0,2, AB = 0,4; доля влияния факторов, %: A = 93,1, B = 6,9.

Содержание клейковины в зерне озимой пшеницы на 88 % определялось влиянием се-

вооборотов и на 12 % влиянием минеральных удобрений (рис. 3).





**Рис. 3.** Содержание клейковины в зерне озимой пшеницы в зависимости от изучаемых факторов (средняя 2016, 2020 гг.)

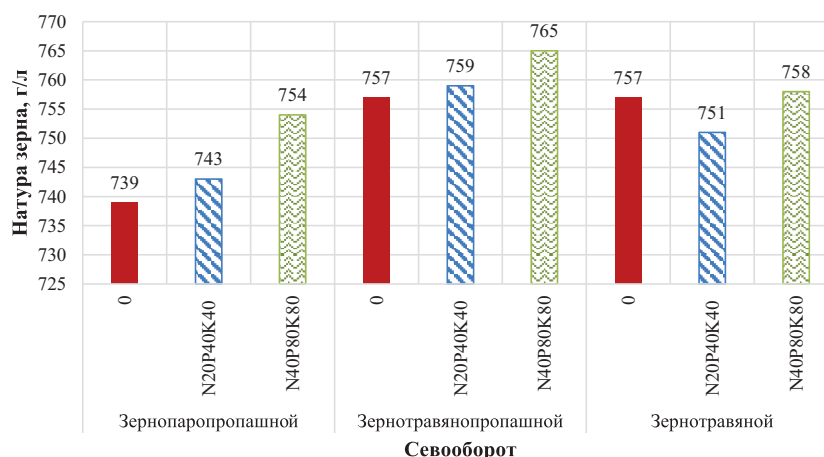
**Fig. 3.** Gluten in winter wheat grain depending on the factors studied (mean in 2016, 2020)

Примечание.  $HCP_{05}$ , %:  $A = 0,8$ ,  $B = 0,8$ ,  $AB = 1,3$ ; доля влияния факторов, %:  $A = 88,0$ ,  $B = 12,0$ .

Наименьшие значения содержания клейковины получены в зернотравянопропашном севообороте – 19,0–20,3 %, наибольшие в зернотравяном – 23,3–24,7 %. Среднее содержание клейковины в зернопаропропашном севообороте составило 22,9 %, в зернотравянопропашном – 19,7 %, в зернотравяном – 24,1 %. Внесение минеральных удобрений достоверно повышало содержание клейковины: в зернопаропропашном севообороте – на 0,9–2,3 %, в зернотравянопропашном – на 0,9–1,3 %, в зернотравяном – на 1,1–1,4 % ( $HCP_{05} = 0,8$  %). Наибольшее содержание клейковины (24,7 %)

получено при внесении  $N_{40}P_{80}K_{40}$  в зернотравяном севообороте.

Натура зерна озимой пшеницы (рис. 4) определялась преимущественно влиянием севооборотов – 73,2 %, доля влияния минеральных удобрений составила 26,8 %. В зернопаропропашном севообороте натура зерна в среднем составила 745 г/л, в зернотравянопропашном – 760 г/л, в зернотравяном – 755 г/л. Различия по натуре зерна между зернопаропропашным и другими изучаемыми севооборотами были достоверными на 5%-м уровне значимости ( $HCP_{05} = 8$  г/л).



**Рис. 4.** Натура зерна озимой пшеницы в зависимости от изучаемых факторов (средняя 2016, 2020 гг.)

**Fig. 4.** Winter wheat grain nature weight depending on the factors studied (mean in 2016, 2020)

Примечание.  $HCP_{05}$ , г/л:  $A = 8$ ,  $B = 8$ ,  $AB = 15$ ; доля влияния факторов, %:  $A = 73,2$ ,  $B = 26,8$ .

Достоверное влияние минеральных удобрений на натуру зерна было отмечено в зернопаропропашном и зернотравянопропашном севооборотах при внесении  $N_{40}P_{80}K_{40}$  ( $HCP_{05} = 8$  г/л).

Наиболее важными показателями экономической эффективности являются прибыль и рентабельность. Чем выше прибыль и ниже себестоимость произведенной продукции, тем

выше уровень рентабельности и эффективнее производство той или иной культуры. Расчет экономической эффективности показал, что затраты на выращивание озимой пшеницы в зернопаропропашном севообороте были выше на 10,1–10,8 % по сравнению с ее возделыванием в зернотравянопропашном и зернотравяном севооборотах (табл. 2).

**Таблица 2. Экономическая эффективность возделывания озимой пшеницы в зависимости от севооборотов и доз минеральных удобрений (средняя 2016, 2020 гг.)**  
**Table 2. Economic efficiency of winter wheat cultivation depending on crop rotation and doses of mineral fertilizers (mean in 2016, 2020)**

| Экономические показатели          | Минеральные удобрения |                                                 |                                                 |
|-----------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                                   | 0                     | N <sub>20</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> | N <sub>40</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub> |
| Зернопаропропашной севооборот     |                       |                                                 |                                                 |
| Урожайность зерна, т/га           | 3,58                  | 4,30                                            | 4,52                                            |
| Стоимость продукции, тыс. руб./га | 35,8                  | 43,0                                            | 45,2                                            |
| Прямые затраты, тыс. руб./га      | 17,54                 | 20,12                                           | 22,80                                           |
| Себестоимость зерна, тыс. руб./т  | 4,90                  | 4,68                                            | 5,04                                            |
| Прибыль, тыс. руб./га             | 18,26                 | 22,88                                           | 22,40                                           |
| Рентабельность, %                 | 104,1                 | 113,7                                           | 98,2                                            |
| Зернотравянопропашной севооборот  |                       |                                                 |                                                 |
| Урожайность зерна, т/га           | 3,00                  | 3,74                                            | 3,95                                            |
| Стоимость продукции, тыс. руб./га | 30,0                  | 37,4                                            | 39,5                                            |
| Прямые затраты, тыс. руб./га      | 15,76                 | 17,94                                           | 20,44                                           |
| Себестоимость зерна, тыс. руб./т  | 5,26                  | 4,80                                            | 5,17                                            |
| Прибыль, тыс. руб./га             | 14,23                 | 19,46                                           | 19,06                                           |
| Рентабельность, %                 | 90,3                  | 108,4                                           | 93,3                                            |
| Зернотравяной                     |                       |                                                 |                                                 |
| Урожайность зерна, т/га           | 2,83                  | 3,61                                            | 3,82                                            |
| Стоимость продукции, тыс. руб./га | 28,3                  | 36,1                                            | 38,2                                            |
| Прямые затраты, тыс. руб./га      | 15,75                 | 17,93                                           | 20,43                                           |
| Себестоимость зерна, тыс. руб./т  | 5,57                  | 4,97                                            | 5,35                                            |
| Прибыль, тыс. руб./га             | 12,53                 | 18,16                                           | 17,76                                           |
| Рентабельность, %                 | 79,5                  | 101,2                                           | 86,9                                            |

При внесении минеральных удобрений в дозе N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> прямые затраты возрастали на 13,8–14,7 %, при дозе N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> – на 29,7–30,0 % по сравнению с вариантом без удобрений.

Себестоимость зерна озимой пшеницы была ниже в зернопаропропашном севообороте (4,68–5,04 тыс. руб./т) за счет более высокой урожайности по сравнению с другими изучаемыми севооборотами. При дозе N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> получена самая низкая себестоимость зерна – 4,68, 4,80 и 4,97 тыс. руб./т соответственно по севооборотам.

Большой доход был отмечен в зернопаропропашном севообороте, который увеличивался с используемыми дозами удобрений от 18,26 до 22,88 тыс. руб./т, при этом более эффективна была доза N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub>. В зернотравянопропашном севообороте прибыль изменялась от 14,23 до 19,46 тыс. руб./га, в зернотравяном – от 12,53 до 18,16 тыс. руб./га по исследуемому уровню минерального питания.

Без внесения минеральных удобрений в севооборотах получены минимальные значения рентабельности (79,5–104,1 %), с дозой N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> – максимальные (101,2–113,7 %). С дозой N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> рентабельность повышалась от 86,9 до 98,2 %, в данном случае недостаточная прибавка урожая озимой пшеницы не обеспечивала в севооборотах повышение рентабельности производства. Весьма эффективно было возделывание озимой пшеницы в зернопаропропашном севообороте с дозой удобрений N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub>, при котором уровень рентабельности составил 113,7 %.

В дополнение к оценке экономической эффективности нами была определена энерге-

тическая эффективность, которая позволила провести анализ по общей энергоёмкости изучаемых агротехнологий. Модель расчета предполагает выбор наименее энергозатратных агроприемов, в которых энергосодержание продукции будет превышать затраты на ее производство. Различия по совокупным энергетическим затратам в севооборотах определялись в основном действием минеральных удобрений и изменялись от 7,7 до 15,7 ГДж/га. В зернопаропропашном севообороте использование N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> увеличивало затраты до 11,9 ГДж/га, в зернотравянопропашном и зернотравяном – до 11,6, 11,5 ГДж/га соответственно. Увеличение дозы удобрений в 2 раза привело к повышению энергетических затрат в среднем на 32,6 % по сравнению с N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> (табл. 3).

Энергоёмкость производства зерна для всех севооборотов возрастала на всем диапазоне увеличения дозы удобрения, причем максимальное ее значение (1,59–3,17 ГДж/т) присуще зернотравяному севообороту. В зернопаропропашном севообороте энергоёмкость изменялась от 1,35 до 2,77 ГДж/т и отличалась самыми минимальными значениями, что свидетельствует о тенденции снижения энергоёмкости производства зерна озимой пшеницы с учетом более высокой урожайности зерна. Коэффициент энергетической эффективности находился в обратной зависимости от энергоёмкости: в вариантах без минеральных удобрений по севооборотам он составил 8,5, 7,5 и 7,2 эн. экв. соответственно, с N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> происходило снижение от 5,7 до 5,0, с дозой N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> – от 4,1 до 3,6 эн. экв.

**Таблица 3. Энергетическая эффективность возделывания озимой пшеницы в зависимости от севооборотов и доз минеральных удобрений (средняя 2016, 2020 гг.)**  
**Table 3. Energy efficiency of winter wheat cultivation depending on crop rotation and doses of mineral fertilizers (mean in 2016, 2020)**

| Севооборот                          | Урожайность, т/га | Совокупные энергетические затраты, ГДж/га | Энергоемкость, ГДж/т | Коэффициент энергетической эффективности, эн.экв. |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------|
| Без удобрений                       |                   |                                           |                      |                                                   |
| Зернопаропропашной                  | 3,58              | 8,0                                       | 1,35                 | 8,5                                               |
| Зернотравянопро-пашной              | 3,00              | 7,8                                       | 1,53                 | 7,5                                               |
| Зернотравяной                       | 2,83              | 7,7                                       | 1,59                 | 7,2                                               |
| Доза удобрений $N_{20}P_{40}K_{40}$ |                   |                                           |                      |                                                   |
| Зернопаропропашной                  | 4,30              | 11,9                                      | 2,03                 | 5,7                                               |
| Зернотравянопро-пашной              | 3,74              | 11,6                                      | 2,25                 | 5,1                                               |
| Зернотравяной                       | 3,61              | 11,5                                      | 2,31                 | 5,0                                               |
| Доза удобрений $N_{40}P_{80}K_{80}$ |                   |                                           |                      |                                                   |
| Зернопаропропашной                  | 4,52              | 15,7                                      | 2,77                 | 4,1                                               |
| Зернотравянопро-пашной              | 3,95              | 15,4                                      | 3,09                 | 3,7                                               |
| Зернотравяной                       | 3,82              | 15,3                                      | 3,17                 | 3,6                                               |

**Выводы.** В ходе сравнительной оценки изучаемых факторов урожайность зерна озимой пшеницы определялась на 63,9 % влиянием минеральных удобрений и на 36,1 % – севооборотов. Наиболее высокая урожайность озимой пшеницы получена при внесении удобрений в дозе  $N_{40}P_{80}K_{80}$  – 4,52 т/га в зернопаропропашном севообороте, что говорит о преимуществе паровых предшественников. В зернотравянопропашном и зернотравяном севооборотах урожайность снижалась на 13,8 и 17,2 % соответственно по сравнению с зернопаропропашным.

Изучаемые факторы в опыте оказывали достоверное влияние на изменение показателей качества зерна озимой пшеницы, но наибольшее влияние отмечено по севооборотам. Более высокое содержание белка получено в зернотравяном севообороте – 13,0–13,4 % по дозам удобрений соответственно. Использование дозы минеральных удобрений  $N_{40}P_{80}K_{40}$  оказало значительное влияние на повышение клейковины до 24,7 % (в зернотравя-

ном севообороте). Различия по натуре зерна между зернопаропропашным и другими изучаемыми севооборотами были достоверными на 5%-м уровне значимости ( $HC_{05} = 8$  г/л), она увеличивалась с применением минеральных удобрений и была выше в зернотравянопропашном севообороте (760 г/л).

Минеральные удобрения обеспечивали повышение доходности от зернотравяного к зернопаропропашному севообороту, при этом эффективнее была доза  $N_{20}P_{40}K_{40}$ . Высокая прибавка урожая озимой пшеницы в зернопаропропашном севообороте позволила получить рентабельность производства – 113,7 % на фоне минеральных удобрений  $N_{20}P_{40}K_{40}$ . Коэффициент энергетической эффективности производства зерна озимой пшеницы снижался с увеличением энергозатрат от 8,5 до 3,6 и был выше в зернопаропропашном севообороте.

**Финансирование.** Работа выполнена по теме государственного задания № FGZU-2022-0005.

#### Библиографические ссылки

- Алиев А. М., Цимбалист Н. И., Старостина Е. Н., Ивашенков Г. А. Урожайность озимой пшеницы и окупаемость удобрений при длительном применении средств химизации в полевом севообороте // Плодородие. 2019. № 1(106). С. 17–19. DOI: 10.25680/S19948603.2019.106.05
- Великанова Л. О., Курносова Н. С., Трубилин Е. И., Бойко Е. С. Экономическая и биоэнергетическая оценка альтернативных технологий возделывания озимой пшеницы в условиях Центральной зоны Краснодарского края // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2018. № 138. С. 60–77. DOI: 10.21515/1990-4665-138-012
- Дзанагов С. Х., Лазаров Т. К., Калоев Б. С., Кубатиева З. А., Калагова Р. В. Влияние длительного применения удобрений на показатели роста, урожайность и качество зерна озимой пшеницы // Агрохимия. 2019. № 4. С. 31–38. DOI: 10.1134/S0002188119020066
- Дзюин А. Г. Влияние минеральных удобрений и погодных условий на урожайность яровой пшеницы и окупаемость удобрений в длительном стационарном опыте // Агрохимия. 2021. № 7. С. 36–46. DOI: 10.31857/S0002188121070048
- Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
- Кислов А. В., Глинушкин А. П., Кашеев А. В. Агроэкономические основы повышения устойчивости земледелия в степной зоне // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, № 7. С. 9–13. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10702
- Мелихова Н. П., Зинченко Е. В., Зибаров А. А., Тегесов Д. А. Совершенствование структуры посевных площадей и агротехнологий сельскохозяйственных культур в системе специализирован-

ных севооборотов – надежная гарантия стабилизации сельскохозяйственного производства и плодородия почвы // Нива Поволжья. 2020. № 2(55). С. 16–21. DOI: 10.36461/NP.2020.2.55.003

8. Петрова Л.И., Митрофанов Ю.И., Гуляев М.В., Первушина Н.К. Влияние удобрений на агрохимические показатели плодородия почвы и продуктивность севооборота // Плодородие. 2021. № 5(122). С. 8–11. DOI: 10.25680/S19948603.2021.122.02

9. Семашкина А.И., Заживнова О.А., Солнцева О.В. Биоэнергетическая и экономическая оценка эффективности применения микроэлементов цинка и марганца в технологии возделывания озимой пшеницы // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 3(47). С. 48–53. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-3-48-53

10. Gurin A., Ignatova G., Stepanova E., Tarakin A., Velkova N. Assimilation surface and photosynthetic activity evaluation of winter wheat planting according to forecrops and mineral fertilizers // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 254, Article number 05001. DOI: 10.1051/e3sconf/202125405001

11. Janusauskaite, D. Leaf senescence of winter wheat and spring wheat as influenced by tillage and fertilization management // Acta physiologiae plantarum. 2022. Vol. 44(7), Article number 74. DOI: 10.1007/s11738-022-03399-2

12. Merzlaya G., Afanasyev R.A., Mukhina M., Mozharova I., Bereznev A., Astarkhanova T., Zargar M. Comparative efficiency of organic, mineral and organo-mineral fertilizer on soil properties and crops // Research on crops. 2021. Vol. 22, № 4. P. 841–848. DOI: 10.31830/2348-7542.2021.139

13. Monreal C.M., Derosa M., Mallubhotla S.C., Bindraban P.S., Dimkpa C. Nanotechnologies for increasing the crop use efficiency of fertilizer-micronutrients // Biology and Fertility of Soils. 2016. Vol. 52, № 3. P. 423–437. DOI: 10.1007/s00374-015-1073-5

14. Mukhametov A., Bekhorashvili N., Avdeenko A., Mikhaylov A. The impact of growing legume plants under conditions of biologization and soil cultivation on chernozem fertility and productivity of rotation crops // Legume Research. 2021. Vol. 44, № 10. P. 1219–1225. DOI: 10.18805/LR-573

15. Pederieva V., Wolters I., Esaulko A., Vlasova O. Wolters Economic efficiency of winter wheat cultivation according to traditional and zero technology // The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences EpSBS. 2019. Vol. 76. P. 3330–3336. DOI: 10.15405/epsbs.2019.12.04.47

16. Soltanaeva A., Vassilina T., Suleimenov B., Saparov G., Vassilina T. Effect of sulfur-containing fertilizers on the chemical properties of soil and winter wheat yield // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2018. Vol. 24, № 4. P. 586–591.

## References

1. Aliev A.M., Tsimbalist N.I., Starostina E.N., Ivashenkov G.A. Urozhainost' ozimoi pshenitsy i okupaemost' udobrenii pri dlitel'nom primenении sredstv khimizatsii v polevom sevooborote [Winter wheat productivity and payback of fertilizers with long-term use of chemicals in field crop rotation] // Plodorodie. 2019. № 1(106). S. 17–19. DOI: 10.25680/S19948603.2019.106.05

2. Velikanova L. O., Kurnosova N. S., Trubilin E. I., Boiko E. S. Ekonomicheskaya i bioenergeticheskaya otsenka al'ternativnykh tekhnologii vozdel'vaniya ozimoi pshenitsy v usloviyakh Tsentral'noi zony Krasnodarskogo kraia [Economic and bioenergy estimation of alternative cultivation technologies of winter wheat in the conditions of the Central zone of the Krasnodar Territory] // Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. № 138. S. 60–77. DOI: 10.21515/1990-4665-138-012

3. Dzanagov S. Kh., Lazarov T.K., Kaloev B.S., Kubatieva Z.A., Kalagova R.V. Vliyanie dlitel'nogo primeneniya udobrenii na pokazateli rosta, urozhainost' i kachestvo zerna ozimoi pshenitsy [The influence of long-term use of fertilizers on growth rates, yield and grain quality of winter wheat] // Agrokhimiya. 2019. № 4. S. 31–38. DOI: 10.1134/S0002188119020066

4. Dzyuin, A. G. Vliyanie mineral'nykh udobrenii i pogodnykh uslovii na urozhainost' yarovoi pshenitsy i okupaemost' udobrenii v dlitel'nom statsionarnom opyte [The effect of mineral fertilizers and weather conditions on spring wheat productivity and the payback of fertilizers in a long-term stationary trial] // Agrokhimiya. 2021. № 7. S. 36–46. DOI: 10.31857/S0002188121070048

5. Dospekhov, B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 5-e izd., pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.

6. Kislov A.V., Glinushkin A.P., Kashcheev A.V. Agroekonomicheskie osnovy povysheniya ustoychivosti zemledeliya v stepnoi zone [Agro-economic foundations for increasing agricultural sustainability in the steppe zone] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2018. T. 32, № 7. S. 9–13. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10702

7. Melikhova N.P., Zinchenko E.V., Zibarov A.A., Tegesov D.A. Sovershenstvovanie struktury posevnykh ploshchadei i agrotekhnologii sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v sisteme spetsializirovannykh sevooborotov – nadezhnaya garantiya stabilizatsii sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva i plodorodiya pochvy [Improving the structure of sown areas and agricultural technologies of agricultural crops in a system of specialized crop rotations is a reliable guarantee of stabilization of agricultural production and soil fertility] // Niva Povolzh'ya. 2020. № 2(55). S. 16–21. DOI: 10.36461/NP.2020.2.55.003

8. Petrova L.I., Mitrofanov Yu. I., Gulyaev M.V., Pervushina N.K. Vliyanie udobrenii na agrokhimicheskie pokazateli plodorodiya pochvy i produktivnost' sevooborota [The effect of fertilizers on agrochemical indicators of soil fertility and crop rotation productivity] // Plodorodie. 2021. № 5(122). S. 8–11. DOI: 10.25680/S19948603.2021.122.02

9. Semashkina A.I., Zazhivnova O.A., Solntseva O.V. Bioenergeticheskaya i ekonomicheskaya otsenka effektivnosti primeneniya mikroelementov tsinka i margantsa v tekhnologii vozdel'vaniya ozimoi pshenitsy [Bioenergy and economic estimation of the efficiency of the use of microelements of zinc and manganese in the cultivation technology of winter wheat] // Vestnik Ul'yanskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyaistvennoj akademii. 2019. № 3(47). S. 48–53. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-3-48-53



10. Gurin A., Ignatova G., Stepanova E., Tarakin A., Velkova N. Assimilation surface and photosynthetic activity evaluation of winter wheat planting according to forecrops and mineral fertilizers // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 254, Article number 05001. DOI: 10.1051/e3sconf/202125405001
11. Janusauskaite, D. Leaf senescence of winter wheat and spring wheat as influenced by tillage and fertilization management // Acta physiologiae plantarum. 2022. Vol. 44(7), Article number 74. DOI: 10.1007/s11738-022-03399-2
12. Merzlaya G., Afanasyev R.A., Mukhina M., Mozharova I., Bereznov A., Astarkhanova T., Zargar M. Comparative efficiency of organic, mineral and organo-mineral fertilizer on soil properties and crops // Research on crops. 2021. Vol. 22, № 4. P. 841–848. DOI: 10.31830/2348-7542.2021.139
13. Monreal C.M., Derosa M., Mallubhotla S.C., Bindraban P.S., Dimkpa C. Nanotechnologies for increasing the crop use efficiency of fertilizer-micronutrients // Biology and Fertility of Soils. 2016. Vol. 52, № 3. P. 423–437. DOI: 10.1007/s00374-015-1073-5
14. Mukhametov A., Bekhorashvili N., Avdeenko A., Mikhaylov A. The impact of growing legume plants under conditions of biologization and soil cultivation on chernozem fertility and productivity of rotation crops // Legume Research. 2021. Vol. 44, № 10. P. 1219–1225. DOI: 10.18805/LR-573
15. Pederieva V., Wolters I., Esaulko A., Vlasova O. Wolters Economic efficiency of winter wheat cultivation according to traditional and zero technology // The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences EpSBS. 2019. Vol. 76. P. 3330–3336. DOI: 10.15405/epsbs.2019.12.04.447
16. Soltanaeva A., Vassilina T., Suleimenov B., Saparov G., Vassilina T. Effect of sulfur-containing fertilizers on the chemical properties of soil and winter wheat yield // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2018. Vol. 24, № 4. P. 586–591.

Поступила: 18.08.23; доработана после рецензирования: 02.10.23; принята к публикации: 04.10.23.

**Критерии авторства.** Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Авторский вклад.** Лукьянов В.А. – обоснование актуальности исследований, анализ данных, расчет энергетической эффективности, подготовка рукописи; Нитченко Л.Б. – подготовка и анализ данных, расчет экономической эффективности, подготовка рукописи.

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**