

Отзывчивость культур полевого севооборота на внесение разных доз минеральных удобрений

© 2025. А. А. Артемьев✉, А. М. Гурьянов

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В 2017–2022 гг. в лесостепи Евро-Северо-Востока РФ (Республика Мордовия) в полевом севообороте (яровой ячмень с подсевом клевера – клевер 1-го г. п. – озимая пшеница – яровой ячмень – суданская трава) на черноземе выщелоченном проведены исследования по оптимизации доз удобрений и соотношения в них NPK. Во все годы исследований главным элементом, определившим урожайность культур в севообороте, являлся азот. Минимальное включение его в дозу удобрения (N_{45}) увеличивало в сравнении с контролем (9,89 т з. ед.) в среднем на 25,8 % общий сбор зерновых единиц за ротацию севооборота. Применение доз N_{90} и N_{135} повысило продуктивность относительно N_{45} на 19,65 и 56,9 % соответственно. Фосфор и калий не оказали существенного влияния на урожай. В среднем по двум закладкам севооборота клевер луговой и суданская трава были наиболее продуктивными (3,48–3,52 т з. ед./га). Из зерновых культур наибольшей продуктивности достигла озимая пшеница (в среднем 3,29 т з. ед./га). Изучение динамики агрохимических показателей почвы относительно начального определения показало, что применение фосфорных и калийных удобрений в дозе P_{30} и K_{30} сохраняло концентрацию P_2O_5 и K_2O на исходном уровне. Внесение P_{60} и K_{60} увеличивало их содержание на 3,5 и 4,0 % соответственно. В вариантах, где эти удобрения не вносили, концентрация P_2O_5 и K_2O снизилась на 7 и 8 % соответственно. По азоту только доза N_{135} , независимо от соотношения с фосфором и калием, увеличивала на 9 % его содержание в почве. Расчет эффективности внесения удобрений на прибавку продуктивности 1 га севооборотной площади показал, что высокие затраты на приобретение фосфорных и калийных удобрений существенно снижали эффективность их применения, особенно на фоне N_{45} , где был получен отрицательный уровень рентабельности (до -30 %). Наибольший экономический эффект (143 %) зафиксирован при внесении в чистом виде азота в дозе N_{90} . Среди вариантов с полным минеральным удобрением максимальный условный чистый доход (10750 руб/га) и уровень рентабельности (85,5 %) получили в варианте $N_{135}P_{30}K_{30}$.

Ключевые слова: чернозем выщелоченный, яровой ячмень, клевер луговой, озимая пшеница, суданская трава, продуктивность, соотношение NPK, эффективность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема FNWE-2025-0005, рег. № 1021060407720-0).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Артемьев А. А., Гурьянов А. М. Отзывчивость культур полевого севооборота на внесение разных доз минеральных удобрений. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):628–638.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.628-638>

Поступила: 03.04.2025

Принята к публикации: 27.05.2025

Опубликована онлайн: 30.06.2025

Responsiveness of agricultural crops in field crop rotation to the application of different doses of mineral fertilizers

© 2025. Andrey A. Artemjev✉, Alexander M. Guryanov

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky,
Kirov, Russian Federation

In 2017–2022 in the forest-steppe of the Euro-North-East part of the Russian Federation (the Republic of Mordovia) in a field crop rotation (spring barley with clover undersowing – first year clover – winter wheat – spring barley – sudan grass) on leached chernozem there was carried out the research to optimize the doses and ratio of NPK in fertilizers. In all years of research, nitrogen was the main element that determined the crop yield in the crop rotation. Its minimum inclusion in the fertilizer dose (N_{45}) increased the total grain harvest units for crop rotation by 25.8 % compared to the control (9.89 tons of grain units). The use of N_{90} and N_{135} increased productivity by 19.65 and 56.9 %, respectively, relative to the dose of N_{45} . Phosphorus and potassium in the fertilizer did not significantly affect the yield. On average, for two crop rotations, red clover and Sudan grass turned out to be the most productive (3.48–3.52 tons of crop units/ha). Of the grain crops, winter wheat achieved the highest productivity (on average 3.29 tons of crop units/ha). A study of the dynamics of agrochemical soil parameters relative to the initial determination showed that the use of phosphorus and potassium fertilizers in the dose of P_{30} and K_{30} maintained the concentration of P_2O_5 and K_2O at the initial level. The introduction of a dose of P_{60} and K_{60} increased the content of phosphorus and potassium by 3.5 and 4.0 %, respectively. In variants where phosphorus and potassium were not added, the concentration of P_2O_5 and K_2O decreased by 7 and 8 %, respectively. For nitrogen, only the N_{135} dose, regardless of the ratio

with phosphorus and potassium, increased its content in the soil by 9 %. Calculation of the efficiency of fertilizer application for yield increase of 1 ha of rotation area showed that high costs for the purchase of phosphorus and potassium fertilizers significantly reduced the efficiency of their use, especially against the background of N_{45} , where a negative level of profitability was obtained (up to minus 30 %). The greatest economic effect (143 %) was obtained by applying nitrogen at a dose of N_{90} . Among the options with complete mineral fertilizer, the maximum conditional net income (10750 rubles/ha) and the level of profitability (85.5 %) were obtained in the $N_{135}P_{30}K_{30}$ variant.

Keywords: leached chernozem, spring barley, red clover, winter wheat, Sudan grass, productivity, NPK ratio, efficiency

Acknowledgment: the research carried out under support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme FNWE-2022-0005, reg. No. 1021060407720-0).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Artemjev A. A., Guryanov A. M. Responsiveness of agricultural crops in field crop rotation to the application of different doses of mineral fertilizers. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):628–638. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.628-638>

Received: 03.04.2025

Accepted for publication: 27.05.2025

Published online: 30.06.2025

Современный вектор развития сельского хозяйства всецело сосредоточен на оптимизации использования ресурсов как ключевой стратегии действий в условиях растущей дороговизны энергоносителей и материалов. Для повышения эффективности отрасли растениеводства требуется принципиальное переосмысление подходов к организации научных исследований, которые должны быть направлены на увеличение объемов продукции заданного качества при минимальных затратах энергоресурсов и сохранение экологического баланса и плодородия почв [1, 2]. Одним из наиболее перспективных путей достижения указанной цели выступает прецизионное земледелие, предполагающее гибкое и дифференцированное применение как технологических и технических средств, так и природных ресурсов [3, 4]. Недооценка разнообразия почвенного плодородия и игнорирование факторов риска в агротехнологиях ведет к нарушению равновесия в сельскохозяйственных экосистемах, что негативно сказывается на реализации потенциала культурных растений [5]. В результате эффективность использования средств химизации снижается до 40–50 %, не достигая запланированного уровня [6, 7, 8].

Дифференцированное использование удобрений предполагает учет неоднородности почвенного плодородия [9], разработку персональных агроприемов для каждого участка [10, 11]. Исследования демонстрируют, что такой индивидуальный подход способствует оптимизации и перераспределению удобрений по полям, обеспечивая повышение продуктивности культур и стабилизацию их урожайности [12, 13]. Однако в контексте аграрной практики остается малоизученными зависимость плодородия почвы

и урожайности культур от различных доз и соотношения азота, фосфора и калия в удобрении, а также динамика агрохимических показателей почвы в зависимости от их исходного уровня [14, 15]. Этот момент очень важен для уточнения доз минеральных удобрений при их дифференцированном внесении, особенно для полей, сходных по уровню плодородия с экспериментальными участками. Представленная научно-исследовательская работа направлена на заполнение новыми знаниями этих пробелов. Её актуальность обусловлена необходимостью повышения агроэкологической устойчивости и экономической эффективности сельскохозяйственного производства.

Цель исследований – установить влияние доз минеральных удобрений и соотношения в них элементов питания на урожайность культур, продуктивность полевого севооборота и агрохимические свойства чернозема выщелоченного.

Научная новизна – состоит в оптимизации доз NPK под сельскохозяйственные культуры для дифференцированного их применения с учетом агрохимических показателей плодородия выщелоченного чернозема.

Материал и методы. В 2017–2022 г. на опытном поле Мордовского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в полевом севообороте в двух закладках проведены полевые исследования, направленные на выявление оптимальных доз и сочетаний NPK в зависимости от исходного плодородия почвы.

Севооборот на экспериментальном участке имел свойственный для региона набор культур: яровой ячмень с подсевом клевера – клевер луговой 1-го г. п. – озимая пшеница – яровой ячмень – суданская трава. Ротация каждой культуры севооборота проходила последова-

тельно в двух полях со смещением в один год (например, первая культура севооборота – яровой ячмень, высевалась на первом поле первой закладки в 2017 г., а во второй закладке – в 2018 г.). Это позволило каждую культуру исследовать в течение двух лет, охватить контрастность погодных условий и сделать объективное заключение.

Экспериментальный участок в период закладки опыта характеризовался вариабельностью агрохимических свойств чернозема выщелоченного в слое 0–20 см: реакция почвенной среды (ГОСТ 26483-85)¹ от среднекислой до слабокислой ($pH_{\text{сол}} = 4,9–5,1$); содержание гумуса (ГОСТ 26213-91)² на уровне 6,1–6,4 %; высокая обеспеченность подвижными соединениями фосфора (>151 мг/кг почвы) и калия (>171 мг/кг почвы) (ГОСТ 54650-2011)³. Содержание минеральных форм азота (нитратный (ГОСТ 26951-86)⁴ и аммонийный азот (ГОСТ 26489-85)⁵) находилось на очень низком уровне (< 15 мг/кг почвы). Анализ почвы осуществляли в аккредитованной лаборатории Центра агрохимического обслуживания «Мордовский».

Высокое содержание в почве P_2O_5 и K_2O и очень низкое N явились определяющим фактором в обосновании выбора доз минеральных удобрений и пропорций элементов питания в них. Изучаемые дозы удобрений и соотношение в них NPK включали 14 вариантов, расположенных в два блока: 1-й – 000 (контроль), 111, 112, 121, 122, 200, 211; 2-й – 220, 202, 222, 311, 312, 321, 333. Каждый блок имел 3-кратную повторность. Последовательность арабских цифр в вариантах имела следующую расшифровку: 1-я цифра – N, 2-я – P_2O_5 , 3-я – K_2O . Доза каждого подвижного элемента обозначала: 0 – без удобрений (контроль); 1, 2, 3 – одинарная, двойная и тройная дозы. Номинальное значение

доз устанавливали в соответствии с целью исследований и с условием, что максимальная доза несколько выше предполагаемой оптимальной. С учетом уровня почвенного плодородия по азоту одинарная доза соответствовала 45 кг д. в./га, двойная – 90, тройная – 135 кг д. в./га. По фосфору и калию дозы удобрений были несколько ниже, что обуславливалось высоким содержанием подвижных соединений этих элементов в почве: 1 – 30, 2 – 60, 3 – 90 кг д. в./га.

Закладку эксперимента и реализацию исследований осуществляли в соответствии с методиками полевого опыта⁶ и государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур⁷. Форма деланки соответствовала прямоугольнику размером 80 м² (4×20 м), присутствовали защитные полосы по 1-2 м с каждой стороны. Культуры в полевом севообороте выращивали по рекомендуемым для Республики Мордовия технологиям⁸. Сорты возделываемых в опыте культур входят в Реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории Российской Федерации по Средневолжскому региону: яровой ячмень Зазерский 85; озимая пшеница Московская 39; клевер луговой Носовский 4; суданская трава Кинельская 100.

Удобрения под возделываемые культуры севооборота вносили по-разному. В агротехнологии озимой пшеницы дозы фосфорных и калийных удобрений, а также 30 % азотных заделывали в почву под предпосевную культивацию, остальную часть азота применяли ранней весной в момент начала отрастания растений. Возделывание ярового ячменя сопровождалось внесением полных доз фосфорно-калийных удобрений под основную обработку почвы, азотных – под предпосевную культивацию.

¹ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 6 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/738/4294827946.pdf>

²ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. Определение органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. 6 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/f09/4294828267.pdf>

³ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/32d/4293788445.pdf>

⁴ГОСТ 26951-86. Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. 10 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/d20/4294827592.pdf>

⁵ГОСТ 26489-85. Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 5 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/09d/4294827940.pdf>

⁶Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

⁷Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1989. Вып. 2. 195 с.

⁸Печаткин В. Г., Маврин Е. В., Кочетков Н. С., Гурьянов А. М., Артемьев А. А., Ахметов Ш. И. и др. Адаптивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Республики Мордовия: методическое руководство. Саранск, 2003. 428 с.

Под суданскую траву удобрения вносили весной: фосфорные и калийные под первую культивацию; азотные – под предпосевную. Клевер возделывали без применения минеральных туков. Из удобрений использовали двойной суперфосфат, хлористый калий и аммиачную селитру. Все дозы НРК в опыте вносили вручную. Полученные результаты исследований обработаны методом дисперсионного анализа, описанного Б. А. Доспеховым⁹.

Результаты и их обсуждение. Погодные условия в годы исследований отличались контрастностью, что повлияло на уровень урожайности культур севооборота. Так, в период постановки первой закладки опыта (2017 г.) погода соответствовала нормальному увлажнению, ГТК за вегетацию составил 1,25. Это положительно отразилось на росте, развитии и продуктивности первой культуры севооборота – ярового ячменя. Постановка второй закладки эксперимента (2018 г.) проходила в очень засушливых условиях при ГТК = 0,37, что негативно сказалось на урожайности ячменя во второй закладке опыта и на клевере – в первой закладке. Слабой степенью засухи характеризовался вегетационный период 2019 г. (ГТК = 0,8). Стоит отметить, что в первой закладке эксперимента для озимой пшеницы крайне неблагоприятно сложились условия перезимовки в период 2018–2019 гг., когда количество растений на единице площади уменьшилось на 30–40 %. Заметнее это выглядело на делянках, где фосфорно-калийные удобрения не применяли или вносили в минимальных дозах. В 2020 г., когда в первой закладке культивировался ячмень, а во второй – озимая пшеница, вегетация культур проходила при оптимальных условиях увлажнения (ГТК = 1,3). В этот год урожайность указанных растений по закладкам опыта была максимальной. Условия 2021 г. по влагообеспеченности были схожи с 2019 г., и поэтому ячмень (2-е поле) в этот год уступал по сбору зерна с единицы площади предыдущей закладке. Нормальными условиями увлажнения отличался 2022 г. (ГТК = 1,01), однако для суданской травы по распределению осадков лучшие условия сложились в 2021 г., которые способствовали формированию повышенного урожая зелёной массы.

В целом погодная контрастность периодов роста и развития культур полевого севооборота по двум закладкам не повлияла существенно

на процесс появления всходов, но в отдельные засушливые годы сокращала период вегетации на 7–14 дней. Особенно это проявилось по ячменю (1-е поле севооборота) во второй закладке эксперимента и по клеверу – в первой закладке.

Урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность применения удобрений была напрямую связана как с количеством внесенных минеральных туков, так и с пропорциями питательных элементов в удобрениях. Исследования продемонстрировали, что изменение доз удобрений и соотношения в них питательных веществ существенно влияло на конечную урожайность культур севооборота и в целом на его продуктивность, выраженную в зерновых единицах (з. ед.) (табл. 1).

На протяжении всех лет исследований ключевым фактором, определяющим урожайность культур севооборота, стал азот, увеличение которого во вносимой дозе приводило к достоверному росту урожая. Даже минимальное включение азота в дозу удобрения давало значимый прирост продуктивности. В среднем по однократным дозам (111, 112, 121, 122) азота общий сбор зерновых единиц за ротацию севооборота составил 13,33 т, что на 25,8 % выше, чем в контроле (000), где сбор продукции получили наименьшим. Использование двукратных (200, 211, 220, 202, 222) и трехкратных (311, 312, 321, 333) доз этого элемента повышало сбор зерновых единиц относительно однократного внесения на 19,6 и 36,3 % соответственно.

Использование фосфора и калия в составе удобрения, даже в наибольших количествах, не способствовало повышению урожая, что объяснялось высоким естественным уровнем плодородия чернозема выщелоченного и значительным присутствием подвижных соединений этих элементов в почве. Стоит отметить, что комплексное применение фосфорно-калийных удобрений в сочетании с азотом усиливало действие последнего, обеспечивая большую продуктивность культур севооборота, хотя в большинстве случаев разница была недостоверной.

В среднем по двум закладкам полевого севооборота суданская трава и клевер луговой были наиболее продуктивными (3,48–3,52 т з. ед./га). Из зерновых культур наивысшей продуктивности достигла озимая пшеница (в среднем по всем дозам 3,29 т з. ед./га).

⁹Доспехов Б. А. Указ. соч.

Таблица 1 – Зависимость продуктивности сельскохозяйственных культур и севооборота от доз и соотношения элементов питания в удобрении, т з. ед. (среднее по двум закладкам севооборота) /
 Table 1 – Dependence of agricultural crop productivity and crop rotation on doses and ratios of nutrients in fertilizers, tons of grain units (average for two crop rotation periods)

Доза и соотношение NPK* / Doses and ratios of nutrients in fertilizers*	Культура севооборота / Crop rotation culture					Всего за ротацию / Total for crop rotation	На 1 га севооборотной площади / Per 1 ha of crop rotation area
	яровой ячмень / spring barley	клевер / clover	озимая пшеница / winter wheat	яровой ячмень / spring barley	суданская трава / sudan grass		
000	1,63	2,49	1,68	1,82	2,27	9,89	1,98
111	2,26	2,91	2,48	2,51	2,95	13,11	2,62
112	2,34	2,95	2,54	2,52	2,95	13,30	2,66
121	2,32	2,91	2,56	2,52	3,03	13,34	2,67
122	2,31	3,03	2,56	2,61	3,16	13,67	2,71
200	2,40	3,47	3,34	3,37	3,38	15,96	3,19
211	2,77	3,56	3,44	3,45	3,56	16,78	3,36
220	2,49	3,50	3,38	3,38	3,53	16,28	3,26
202	2,84	3,56	3,33	3,38	3,51	16,62	3,32
222	2,99	3,65	3,60	3,37	3,69	17,30	3,46
311	3,73	4,26	4,20	4,17	4,14	20,50	4,10
312	3,88	4,22	4,24	4,29	4,12	20,75	4,15
321	3,92	4,30	4,27	4,17	4,17	20,83	4,17
333	4,06	4,44	4,42	4,32	4,30	21,54	4,31
Среднее / Average	2,85	3,52	3,29	3,27	3,48	16,41	3,29
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,41	0,35	0,56	0,46	0,52	-	-

* Доза и соотношение NPK: 000 – N₀P₀K₀ (контроль); 111 – N₄₅P₃₀K₃₀; 112 – N₄₅P₃₀K₆₀; 121 – N₄₅P₆₀K₃₀; 122 – N₄₅P₆₀K₆₀; 200 – N₉₀P₀K₀; 211 – N₉₀P₆₀K₃₀; 220 – N₉₀P₆₀K₀; 202 – N₉₀P₀K₆₀; 222 – N₉₀P₆₀K₆₀; 311 – N₁₃₅P₃₀K₃₀; 312 – N₁₃₅P₃₀K₆₀; 321 – N₁₃₅P₆₀K₃₀; 333 – N₁₃₅P₉₀K₉₀ /

* Dose and ratio of NPK: 000 – N₀P₀K₀ (control); 111 – N₄₅P₃₀K₃₀; 112 – N₄₅P₃₀K₆₀; 121 – N₄₅P₆₀K₃₀; 122 – N₄₅P₆₀K₆₀; 200 – N₉₀P₀K₀; 211 – N₉₀P₆₀K₃₀; 220 – N₉₀P₆₀K₀; 202 – N₉₀P₀K₆₀; 222 – N₉₀P₆₀K₆₀; 311 – N₁₃₅P₃₀K₃₀; 312 – N₁₃₅P₃₀K₆₀; 321 – N₁₃₅P₆₀K₃₀; 333 – N₁₃₅P₉₀K₉₀

Минимальный сбор зерновых единиц (2,85 т з. ед./га) получили по яровому ячменю в первом поле севооборота, что напрямую было связано с засушливыми условиями погоды в первый год закладки эксперимента, которые существенно повлияли на использование питательных веществ из удобрений.

Нагляднее зависимость продуктивности полевого севооборота от доз и соотношения элементов питания в удобрении демонстрирует рисунок, на котором виден общий тренд роста среднегодовой продуктивности севооборота от минимального количества внесенного азота до трехкратного его увеличения. Из данных рисунка можно проследить незначительный эффект от внесения однократной дозы азота совместно с фосфором и калием, даже при максимальном их использовании. При увеличении азота в два раза в полном минеральном удобрении (варианты 211 и 222) эффект значительно возрастал в сравнении вариантами, где фосфор

или калий не вносили. При трехкратном увеличении азота в удобрении эффект от использования полного минерального удобрения получили только в варианте с максимальным включением фосфора и калия. В контроле продуктивность 1 га севооборотной площади зафиксирована минимальной (1,98 т з. ед./га).

Внесение разных доз минеральных удобрений существенно отразилось на показателях качества продукции культур севооборота. На примере зерновых культур показано изменение массы 1000 зерен и содержания белка в зависимости от уровня использования NPK (табл. 2). Результаты демонстрировали общую прослеживаемость к повышению данных показателей с возрастанием дозы азота в удобрении. При этом его соотношение с фосфором и калием существенно не влияло на изменение массы 1000 зерен и содержание белка. Наибольшие их значения по всем трем культурам отмечены в вариантах с применением тройных

доз азота. Так, в среднем по четырем вариантам доз (311, 312, 321, 333) в первом поле масса 1000 зерен ячменя составила 45,7 г, содержание белка – 13,3 %, по озимой пшенице – 42,3 г и 14,4 % соответственно, по второму полю ячменя – 46,5 г и 13,0 % соответственно. Среди

вариантов с удобрениями наименьшая масса 1000 зерен и содержание белка по всем зерновым культурам севооборота наблюдалась в вариантах с применением азота в одинарной дозе. В абсолютном контроле качество культур было наихудшим.

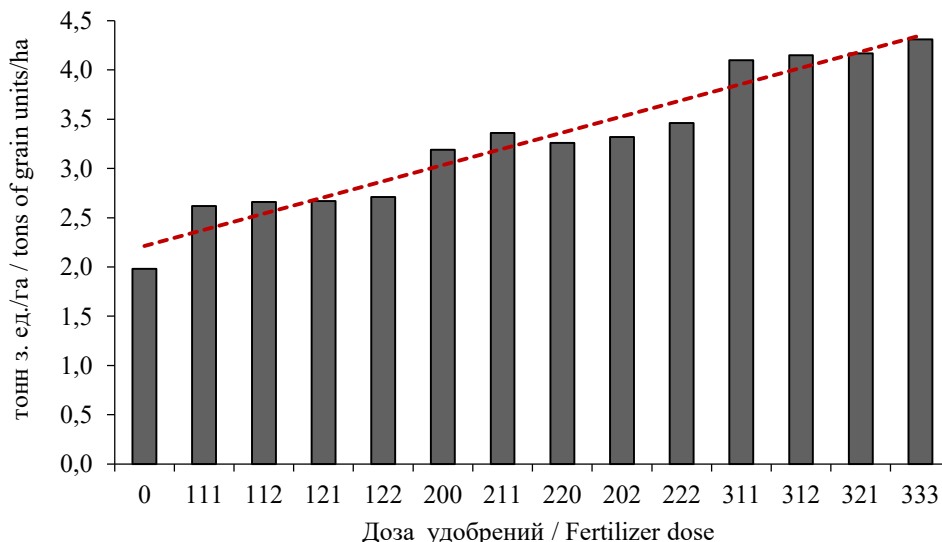


Рис. Влияние дозы минерального удобрения на продуктивность 1 га севооборотной площади, тонн з. ед. (среднее за ротацию севооборота по двум закладкам) /

Fig. Effect of mineral fertilizer dose on productivity of 1 ha of crop rotation area, tons of grain units (average for two crop rotation periods)

Таблица 2 – Изменение качества зерновых культур полевого севооборота от доз и соотношения элементов питания в удобрении (среднее по двум закладкам севооборота) /

Table 2 – Change in the quality of grain crops in field crop rotation from doses and ratios of nutrients in fertilizers (average for two crop rotation periods)

Доза и соотношение NPK* / Doses and ratios of nutrients in fertilizers	Яровой ячмень (первое поле) / Spring barley (first field)		Озимая пшеница / Winter wheat		Яровой ячмень (второе поле) / Spring barley (second field)	
	масса 1000 зерен, г / weight of 1000 grains, g	белок, % / protein, %	масса 1000 зерен, г / weight of 1000 grains, g	белок, % / protein, %	масса 1000 зерен, г / weight of 1000 grains, g	белок, % / protein, %
000	42,8	12,1	38,1	13,0	43,5	11,8
111	43,8	12,6	39,2	13,5	44,4	12,3
112	43,8	12,5	39,2	13,6	44,6	12,3
121	43,9	12,6	39,3	13,7	44,5	12,2
122	43,9	12,7	39,3	13,7	44,5	12,2
200	44,5	12,8	41,0	14,0	45,2	12,5
211	44,7	12,9	41,0	14,1	45,4	12,6
220	44,7	12,9	41,2	14,1	45,5	12,6
202	44,6	12,8	41,1	14,1	45,4	12,6
222	44,8	13,0	41,2	14,2	45,6	12,7
311	45,6	13,3	42,2	14,4	46,5	13,0
312	45,6	13,2	42,2	14,4	46,4	13,0
321	45,7	13,3	42,3	14,4	46,5	13,0
333	45,9	13,5	42,4	14,5	46,8	13,1
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,8	0,3	0,9	0,3	0,9	0,2

* Смотрите примечания к таблице 1 / * See the notes to table 1

Применение в опыте фосфорно-калийных удобрений существенно не влияло на изменение массы 1000 зерен и накопление белка в зерне зерновых культур.

Влияние погодных условий на изменение качества культур в севообороте показали два поля с яровым ячменем, когда в первом случае значения массы 1000 зерен были меньше, а содержание белка выше, и, наоборот, во втором случае масса 1000 зерен больше, а уровень белка ниже. Данное явление объясняется контрастностью условий вегетации, когда в первые

два года проведения эксперимента они были более засушливыми.

Для прослеживания динамики агрохимических характеристик чернозема выщелоченного под влиянием удобрений и соотношения в них элементов питания в зависимости от их исходного уровня, изучали образцы почвы, отобранные с глубины пахотного горизонта. Отбор проводили в два этапа – перед закладкой опыта и в конце ротации севооборота. Полученные результаты в среднем по двум закладкам отражены в таблице 3.

Таблица 3 – Агрохимическая характеристика почвы в начале и конце ротации полевого севооборота, мг/кг почвы (среднее по двум закладкам севооборота) /

Table 3 – Agrochemical characteristics of the soil at the beginning and end of the field crop rotation, mg/kg of soil (average for two crop rotation periods)

Доза и соотно- шение NPK* / Doses and ratios of nutrients in fertilizers	$N-NO_3 + N-NH_4$		P_2O_5		K_2O	
	среднее / average					
	2017-2018 гг.	2021-2022 гг.	2017-2018 гг.	2021-2022 гг.	2017-2018 гг.	2021-2022 гг.
000	6,83	6,05	174	160	193	165
111	6,99	6,80	193	189	210	205
112	7,42	7,29	180	176	228	237
121	7,45	7,25	176	181	189	185
122	6,90	6,72	201	210	199	207
200	7,42	7,38	189	176	215	203
211	7,32	7,29	205	210	207	200
220	7,19	7,16	180	188	203	194
202	7,93	7,89	200	188	222	230
222	7,33	7,25	192	200	225	231
311	7,82	8,32	176	171	208	202
312	7,85	8,53	198	193	200	206
321	7,25	8,71	191	199	191	189
333	7,89	8,28	202	218	208	223
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	1,23	1,16	30	28	40	32

* Смотрите примечания к таблице 1 / * See the notes to table 1

Анализ данных таблицы показывает, что почва экспериментальных участков перед закладкой опыта характеризовалась в среднем по двум закладкам очень низким присутствием минеральных соединений азота (от 6,83 до 7,93 мг/кг почвы). Это свидетельствует, что азот являлся лимитирующим показателем почвы. Содержание подвижных соединений фосфора и калия было высоким (174–205 и 189–228 мг/кг почвы соответственно).

Исследование агрохимических параметров почвы с опытного участка, проведенное после

уборки последней культуры севооборота в среднем по двум закладкам, показало, что применение фосфорных и калийных удобрений в однократной дозе достоверно не уменьшало концентрацию P_2O_5 и K_2O в пахотном горизонте, наблюдалась лишь тенденция к их уменьшению. Вносимые в таком количестве элементы питания полностью потреблялись возделываемыми культурами севооборота. Внесение фосфора и калия в двойных дозах увеличивало относительно первоначальных определений их содержание в верхнем слое почвы

в среднем по двум закладкам на 3,5 % по P_2O_5 и на 4,0 % по K_2O . В варианте с трехкратными дозами применения указанных элементов уровень P_2O_5 в почве увеличился на 7,3 %, K_2O – на 6,7 %. В вариантах (200, 202, 220), где фосфорные или калийные удобрения не вносили (включая контроль – 000), концентрация P_2O_5 и K_2O снизилась на 7 и 8 % соответственно.

Содержание подвижных форм азота в почве непостоянно и сильно зависит как от сроков отбора образцов, так и от уровня влажности почвы, что делает его одним из наиболее неустойчивых показателей плодородия. Несмотря на сложности в его мониторинге, применение тройных доз азота в удобрении, независимо от пропорций с фосфором и калием, приводило в среднем по двум закладкам

к увеличению концентрации этого элемента в пахотном слое по сравнению с контролем, которое в среднем по вариантам (311, 312, 321, 333) опыта составило 9 %.

В современных условиях оценка применения минеральных удобрений в разных дозах с агрономической точки зрения не всегда является достаточной. Постоянный рост стоимости средств производства требует рационального обращения с ними и изучения их действия с экономической точки зрения, так как внесение, например, высоких доз удобрений не всегда является оправданным. Расчеты эффективности внесения минеральных удобрений на получение прибавки продуктивности с 1 га севооборотной площади представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Эффективность применения минеральных удобрений в получении прибавки продуктивности с 1 га севооборотной площади (среднее по двум закладкам севооборота) /

Table 4 – Efficiency of using mineral fertilizers in obtaining an increase in productivity from 1 ha of crop rotation area (average for two crop rotation periods)

Вариант опыта* / Variant of the experiment	Прибавка продуктивности, т з. ед./га / Yield increase from fertilizer application, tons of grain units/ha	Стоимость прибавки**, руб/га / Cost of yield increase, rub/ha	Затраты на приобретение удобрений, руб/га / Costs of purchasing fertilizers, rub/ha	Условный чистый доход, руб/га / Net income, rub/ha	Рентабельность, % / Profitability, %
000	-	-	-	-	-
111	0,64	7040	7110	-70	-1,0
112	0,68	7480	8435	-955	-11,3
121	0,69	7590	10165	-2575	-25,3
122	0,73	8030	11490	-3460	-30,1
200	1,21	13310	5460	7850	143,0
211	1,58	17380	9840	7540	76,6
220	1,28	14080	11570	2510	21,7
202	1,34	14740	8110	6630	81,8
222	1,48	16280	14220	2060	14,5
311	2,12	23320	12570	10750	85,5
312	2,17	23870	13895	9975	71,8
321	2,19	24090	15625	8465	54,2
333	2,33	25630	21330	4300	20,2

* Смотрите примечания к таблице 1; ** Стоимость 1 тонны з. ед. составила 11000 руб. /

* See the notes to table 1; ** The cost of 1 ton of grain unit was 11000 rub.

Несмотря на то, что внесение фосфора и калия в составе полного удобрения усиливало действие азота в получении большей прибавки урожая, их применение по вариантам опыта оказалось неоднозначным. Высокие затраты

на приобретение удобрений, особенно фосфорных, существенно снижали эффективность использования. Более всего это проявилось на фоне внесения N_{45} (варианты: 111, 112, 121, 122), где были получены отрицательные

значения по условному чистому доходу (от -70 до -3460 руб/га) и соответственно по уровню рентабельности (от -1,0 до -30,1 %). Применение в этих вариантах фосфорно-калийных удобрений оказалось неоправданным.

Наибольший экономический эффект получили при внесении в чистом виде азота в двойной дозе (вариант 200), рентабельность производства составила 143 %. Среди вариантов с полным минеральным удобрением максимальный условный чистый доход (10750 руб/га) и уровень рентабельности (85,5 %) демонстрировал вариант 311.

Заключение. Таким образом, изменение дозы удобрений и соотношения в них питательных веществ существенно влияло на продуктивность культур и севооборота в целом. Наибольшее воздействие на уровень урожая оказал азот. Минимальное включение его в дозу удобрения (N_{45}) увеличивало общий сбор зерновых единиц за ротацию севооборота в сравнении с контролем (9,89 т з. ед.) в среднем на 25,8 %. Применение N_{90} и N_{135} повышало на 19,65 и 56,9 % соответственно продуктивность относительно N_{45} . Подобная закономерность проявлялась и по сбору зерновых единиц с 1 га севооборотной площади. В среднем по двум закладкам полевого севооборота клевер луговой и суданская трава были наиболее продуктивными (3,48–3,52 т з. ед./ га). Из зерновых культур наивысшей продуктивности достигла озимая пшеница (в среднем по всем дозам 3,29 т з. ед./га).

Внесение разных доз минеральных удобрений существенно отразилось на показателях

качества продукции культур севооборота. На примере зерновых культур выявлена общая закономерность повышения массы 1000 зерен и содержания белка с возрастанием дозы азота в удобрении. Соотношение азота, фосфора и калия в составе удобрения не влияло на показатели качества.

Изучение динамики агрохимических показателей почвы относительно начального определения показало, что применение фосфорных и калийных удобрений в дозе P_{30} и K_{30} сохраняло концентрацию P_2O_5 и K_2O на исходном уровне. Внесение P_{60} и K_{60} увеличивало их содержание на 3,5 и 4,0 % соответственно. В вариантах, где эти удобрения не вносили, концентрация P_2O_5 и K_2O в почве снизилась на 7 и 8 % соответственно. Содержание подвижных форм азота в почве непостоянно, поэтому только при использовании дозы N_{135} , независимо от соотношения с фосфором и калием, проявлялась четкая закономерность увеличения их содержания в почве на 9 %.

Расчет экономической эффективности внесения удобрений на увеличение продуктивности 1 га севооборотной площади показал, что высокие затраты на приобретение фосфорных и калийных удобрений существенно снизили результативность их применения, особенно на фоне N_{45} , где получили отрицательный уровень рентабельности (от -1 до -30 %). Наибольший эффект (143 %) зафиксирован при внесении только азота в дозе N_{90} . Среди вариантов с полным минеральным удобрением максимальный уровень рентабельности (85,5 %) получили в варианте $N_{135}P_{30}K_{30}$.

Список литературы

1. Кененбаев С. Б. Ресурсосберегающие системы земледелия – основа воспроизводства плодородия почв и повышения продуктивности земель. Наука и образование. 2022;(1-2(66)):77–84. DOI: <https://doi.org/10.52578/2305-9397-2022-1-1-77-84> EDN: BVSIDY
2. Асланян К. А., Емелин А. В. Современные методы повышения плодородия почв при минимизации использования химических удобрений. Международный научный сельскохозяйственный журнал. 2024;(4):18–28. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80314167> EDN: VBNOMZ
3. Сайкинов В. Е., Золкин А. Л., Бостанова П. И., Беспалова В. В. Экономическое влияние точного земледелия на устойчивое развитие сельского хозяйства. Экономика и управление: проблемы, решения. 2024;5(9(150)):173–181. DOI: <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2024.09.05.018> EDN: HGHPGS
4. Capmourteres V., Adams J., Berg A., Fraser E., Swanton C., Anand M. Precision conservation meets precision agriculture: A case study from southern Ontario. Agricultural Systems. 2018;167:176–185. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.09.011>
5. Чикишев Д. В., Абрамов Н. В., Ларина Н. С. Влияние дифференцированного внесения минеральных удобрений на продуктивность и качество яровой пшеницы. АгроЭкоИнфо. 2019;(2(36)):3.
6. Белых С. А., Митрофанов С. В., Личман Г. И., Марченко А. Н. Экономически прибыльный прием расчета доз для дифференцированного внесения удобрений. Техника и оборудование для села. 2020;(7(277)):45–50. DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-7-45-48> EDN: GZIMWT

7. Шерстобитов С. В. Эффективность дифференцированного внесения азотных удобрений в режиме off-line в условиях Западной Сибири. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021;(5(91)):22–26. DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-91-5-22-26> EDN: MQWDBL
8. Чикишев Д. В. Экономическая эффективность применения минеральных удобрений с использованием систем спутниковой навигации. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020;(7):28–32. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44191666> EDN: ROALRG
9. Федоренко В. Ф., Мишуков Н. П., Петухов Д. А., Трубников А. В., Семизоров С. А. Технология точного земледелия: дифференцированное внесение удобрений с учётом внутриполевой неоднородности почвенноземельного покрова. Техника и оборудование для села. 2019;(2):2–9. DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-2-2-7> EDN: YZCLGP
10. Артемьев А. А., Гурьянов А. М. Дифференцированное применение минеральных удобрений при возделывании суданской травы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(3):369–377. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.369-377> EDN: ACRTUB
11. Наумкин В. Н., Наумкина Л. А., Крюков А. Н., Хлопяников А. М., Хлопяникова Г. В. К разработке эффективных дифференцированных технологий возделывания полевых культур. Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2019;(1(21)):127–132. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37378399> EDN: ZEJXV
12. Цыганова Н. А. Энергетическая и экономическая эффективность дифференцированного применения минеральных удобрений в полевом севообороте. Агрофизика. 2020;(1):37–44. DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRP.2020.01.06> EDN: BLTKHP
13. Nordblom T. L., Hutchings T. R., Godfrey S. S., Scheffe C. R. Precision variable rate nitrogen for dry-land farming on waterlogging Riverine Plains of Southeast Australia? Agricultural Systems. 2020;(186):102962. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102962>
14. Астахов В. С., Иванчиков Г. О. Проблемы применения систем точного земледелия при дифференцированном внесении твердых минеральных удобрений и пути их решения. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2022;(1):133–136. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=adpsfw> EDN: ADPSFW
15. Нукешев С. О., Есхожин Д. З., Романюк Н. Н., Ахметов Е. С., Тлеумбетов К. М., Косатбекова Д. Ш., Сактаганов Б. Ж. Технологические и технические решения проблемы внесения основной дозы минеральных удобрений в системе точного земледелия в условиях Северного Казахстана. Новости науки Казахстана. 2020;(1(143)):156–168. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43962595> EDN: CMXXPC

References

1. Kenenbaev S. B. Resource-saving farming systems are the basis for soil fertility reproduction and land productivity increase. *Nauka i obrazovanie* = Science and Education. 2022;(1-2(66)):77–84. (In Kazakhstan). DOI: <https://doi.org/10.52578/2305-9397-2022-1-1-77-84>
2. Aslanyan K. A., Emelin A. V. Modern methods of increasing soil fertility while minimizing the use of chemical fertilizers. *Mezhdunarodnyy nauchnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*. 2024;(4):18–28. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80314167>
3. Saykinov V. E., Zolkin A. L., Bostanova P. I., Bepalova V. V. The economic impact of precision farming on sustainable agricultural development. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya* = Economics and Management: Problems, Solutions. 2024;5(9(150)):173–181. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2024.09.05.018>
4. Capmourteres V., Adams J., Berg A., Fraser E., Swanton C., Anand M. Precision conservation meets precision agriculture: A case study from southern Ontario. *Agricultural Systems*. 2018;167:176–185. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.09.011>
5. Chikishev D. V., Abramov N. V., Larina N. S. The influence of differentiated application of mineral fertilizers on the productivity and quality of spring wheat. *AgroEcoInfo* = AgroEcoInfo. 2019;(2(36)):3. (In Russ.).
6. Belykh S. A., Mitrofanov S. V., Lichman G. I., Marchenko A. N. Cost-effective rate calculation for differential fertilizer Application. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2020;(7(277)):45–50. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-7-45-48>
7. Sherstobitov S. V. Efficiency of differentiated application of nitrogen fertilizers in the off-line mode in the conditions of western Siberia. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021;(5(91)):22–26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-91-5-22-26>
8. Chikishev D. V. Economic efficiency of application of mineral fertilizers using satellite navigation. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2020;(7):28–32. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44191666>

9. Fedorenko V. F., Mishurov N. P., Petukhov D. A., Trubnikov A. V., Semizorov S. A. Precision farming technology: differential fertilization considering the in-tra-field heterogeneity of the soil-ground cover. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2019;(2):2–9. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-2-2-7>

10. Artemjev A. A., Guryanov A. M. Differentiated application of mineral fertilizers in cultivation of Sudanese grass. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):369–377. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.369-377>

11. Naumkin V. N., Naumkina L. A., Kryukov A. N., Khlopyanikov A. M., Khlopyanikova G. V. To development of effective differentsirovny technologies of cultivation of field cultures. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy* = Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives. 2019;(1(21)):127–132. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37378399>

12. Tsyganova N. A. Energy and economical efficiency of site-specific application of mineral fertilizers in field crop rotation. *Agrofizika* = Agrophysica. 2020;(1):37–44. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2020.01.06>

13. Nordblom T. L., Hutchings T. R., Godfrey S. S., Scheffe C. R. Precision variable rate nitrogen for dry-land farming on waterlogging Riverine Plains of Southeast Australia? *Agricultural Systems*. 2020;(186):102962. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102962>

14. Astakhov V. S., Ivanchikov G. O. Problems of application of precision farming systems with differentiated application of solid mineral fertilizers and ways of their solution. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2022;(1):133–136. (In Russ.).

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=adpsfw>

15. Nukeshev S. O., Eskhozhin D. Z., Romanyuk N. N., Akhmetov E. S., Tleumbetov K. M., Kosatbekova D. Sh., Saktaganov B. Zh. Technological and technical solutions to the problem of introducing the main dose of mineral fertilizers in the precision farming system in the conditions of Northern Kazakhstan. *Novosti nauki Kazakhstana* = Science News of Kazakhstan. 2020;(1(143)):156–168. (In Kazakhstan).

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43962595>

Сведения об авторах

✉ **Артемяев Андрей Александрович**, доктор с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории координатного земледелия, директор, Мордовский НИИ сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Мичурина, д. 5, р. п. Ялга, г.о. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8759-8070>, e-mail: artemjevaa@yandex.ru

Гурьянов Александр Михайлович, доктор с.-х. наук, профессор, главный специалист по коммуникациям и инновациям, Мордовский НИИ сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Мичурина, д. 5, р.п. Ялга, г.о. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2642-1498>

Information about the authors

✉ **Andrey A. Artemjev**, DSc in Agricultural Science, associate professor, leading researcher at the Laboratory of Precision Agriculture, director, Mordovia Research Agricultural Institute – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Michurin street, 5, r. p. Yalga, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8759-8070>, e-mail: artemjevaa@yandex.ru

Alexander M. Guryanov, DSc in Agricultural Science, professor, chief specialist in communications and innovations, Mordovia Research Agricultural Institute – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Michurin street, 5, r. p. Yalga, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2642-1498>

✉ – Для контактов / Corresponding author