

Эффективность технологий применения минеральных удобрений при возделывании ярового ячменя в лесостепи Среднего Поволжья

© 2023. А. А. Артемьев✉, А. М. Гурьянов

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

В условиях лесостепи Среднего Поволжья (Республика Мордовия) выполнены исследования по изучению влияния разных технологий применения минеральных удобрений (с учетом и без учета внутрипочвенной вариативности показателей плодородия почвы) в посевах ярового ячменя сорта Зазерский 85. Эксперимент проводили в 2012 и 2018 гг. в двух полях зернопропашного севооборота на черноземе выщелоченном (гумус в слое 0–25 см – 5,3–6,9 %, нитратный и аммонийный азот 6,1–16,8 мг/кг почвы, подвижный фосфор – 83–182 мг/кг и обменный калий – 90–196 мг/кг почвы). Схема опыта: контроль (без удобрений); усредненная доза удобрений ($N_{70}P_{34}K_{26}$ – в 2012 г., $N_{72}P_{36}K_{25}$ – в 2018 г.); дифференцированная доза ($N_{53-80}P_{24-43}K_{17-34}$ – в 2012 г. и $N_{56-80}P_{25-42}K_{20-27}$ – в 2018 г.). Дозы удобрений рассчитаны на плановую урожайность ячменя 3,0 т/га. Эксперимент проводили по принципу расщепленной делянки, в котором делянки 1-го порядка служили вариантами для удобрений, а делянки 2-го порядка (по 5 в каждом повторении) – для выявления внутриполевой неоднородности плодородия почвы и внесения удобрений. В среднем по двум полям севооборота наибольшая урожайность ячменя (3,14 т/га) получена в варианте с дифференцированным применением удобрений, что достоверно на 72 % выше контроля и на 13 % варианта с усредненными дозами. Внесение удобрений с учетом неоднородности элементов питания в почве обеспечило наименьший размах варьирования урожайности (0,8 т/га) по делянкам полигона при незначительном уровне коэффициента вариации ($V = 9,8$ %). Использование удобрений при возделывании ячменя статистически значимо повлияло на увеличение массы 1000 зерен, высоту растений, коэффициент продуктивной кустистости и длину колоса. Дифференцированные дозы удобрений по сравнению с усредненными привели к заметному повышению значений продуктивной кустистости растений (на 8,3 %) и длины колоса (на 3,9 %). Технология применения минеральных удобрений с учетом внутрипочвенной вариативности показателей плодородия почвы отличалась наибольшим уровнем рентабельности производства зерна ярового ячменя (47,6 %) по сравнению с традиционной (26,2 %) и экономией удобрений (на 7,5–8,5 %).

Ключевые слова: урожайность, дифференцированные дозы, усредненные дозы, коэффициент вариации, эффективность.

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема FNWE-2022-0005, 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. Эффективность технологий применения минеральных удобрений при возделывании ярового ячменя в лесостепи Среднего Поволжья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24 (4):636–645. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.636-645>

Поступила: 28.03.2023

Принята к публикации: 28.07.2023

Опубликована онлайн: 30.08.2023

Efficiency of technologies for the use of mineral fertilizers when cultivating spring barley in the forest-steppe of the Middle Volga region

© 2023. Andrey A. Artemjev✉, Alexander M. Guryanov

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

In the conditions of the forest-steppe of the Middle Volga region (Republic of Mordovia) there was carried out the research on studying the effect of various technologies for the use of mineral fertilizers, with and without taking into account the intra-soil variability of soil fertility indicators in crops of spring barley of the Zazersky 85 variety. The experiment was carried out in 2012 and 2018 in two fields of grain-row crop rotation on leached chernozem (humus in the 0–25 cm layer – 5.3–6.9 %, nitrate and ammonium nitrogen 6.1–16.8 mg/kg of soil, mobile phosphorus 83–182 mg/kg of soil and exchangeable potassium 90–196 mg/kg of soil). The scheme of the experiment: control (without fertilizers); average dose of fertilizers ($N_{70}P_{34}K_{26}$ – in 2012, $N_{72}P_{36}K_{25}$ – in 2018); differentiated dose ($N_{53-80}P_{24-43}K_{17-34}$ in 2012 and $N_{56-80}P_{25-42}K_{20-27}$ in 2018). Fertilizer doses are calculated for the planned barley yield of 3.0 t/ha. The experiment was based on the principle of a split plot, where plots of the 1st order were reserved for variants with fertilizers, and plots of the 2nd order (5 plots in each repetition) were used to determine the variability of intra-soil fertility and fertilizer application. On average, for two fields of crop rotation, the highest barley yield (3.14 t/ha) was obtained in the variant with differentiated use of fertilizers, which was significantly 72 % higher than the control and 13 % higher than the variant with average doses. The application of fertilizers taking into account the heterogeneity of nutrients in the soil provided the smallest range of variation in yield (0.8 t/ha) across the plots of the polygon

with an insignificant level of variation coefficient ($V = 9.8\%$). The use of fertilizers in the cultivation of barley had a statistically significant effect on the increase in the weight of 1000 grains, plant height, productive tillering coefficient and ear length. Differentiated doses of fertilizers compared with the averaged doses led to a noticeable increase in the values of productive bushiness of plants (by 8.3 %) and spike length (by 3.9 %). The technology of applying mineral fertilizers, taking into account the intra-soil variability of soil fertility indicators, was distinguished by the highest level of profitability in the production of spring barley grain (47.6 %) compared to traditional (26.2 %) and fertilizer savings (by 7.5-8.5 %).

Keywords: yield, differentiated doses, average doses, the coefficient of variation, efficiency

Acknowledgments: the research was carried out under the 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 citations: Artemjev A. A., Guryanov A. M. Efficiency of technologies for the use of mineral fertilizers when cultivating spring barley in the forest-steppe of the Middle Volga region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):636-645. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.636-645>

Received: 28.03.2023

Accepted for publication: 28.07.2023

Published online: 30.08.2023

Оптимизация минерального питания растений в современном земледелии является обязательным приемом в повышении продуктивности агроценозов. Однако рационализация внесения удобрений не всегда приводит к ожидаемому росту урожайности возделываемых в севообороте культур. В большинстве случаев главная причина низкой эффективности агрохимикатов и их окупаемости кроется в «безадресном» их применении, не учитывающем пространственно-временные неоднородности агрохимических свойств почвы [1, 2]. И как следствие – растения имеют разные условия произрастания [3]. Одним из путей решения указанной проблемы выступает дифференцированное использование средств химизации в комплексе с географическими информационными системами [4, 5, 6]. Такой подход позволит со временем нивелировать пестроту почвенного плодородия [7], адаптировать к нему агротехнологии и повысить их экономическую эффективность [8, 9, 10]. Одновременно с этим требуется корректировка нормативной базы применения удобрений для оптимизации их доз [11, 12, 13]. Поэтому возникает необходимость в проведении научных экспериментов по оценке отзывчивости растений на их использование в условиях разной степени окультуренности почвы [14, 15, 16]. В связи с этим на опытном поле Мордовского НИИСХ проводятся исследования по разработке научных основ дифференцированного применения средств химизации в системе точного земледелия, обеспечивающих стабильную урожайность культур полевого севооборота, повышение эффективности удобрений и сохранение плодородия почвы [17, 18].

Цель исследования – определить эффективность разных технологий применения минеральных удобрений при возделывании ярового ячменя в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

Научная новизна исследований состояла в научном обосновании дифференцированных доз минеральных удобрений в посевах ярового ячменя, рассчитанных на основе внутривидовой неоднородности плодородия почвы в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

Материал и методы. Эффективность разных технологий применения минеральных удобрений в посевах ярового ячменя сорта Зазерский 85 изучали в 2012 и 2018 гг. в условиях лесостепи Среднего Поволжья на опытном поле Мордовского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Изыскания проводили в двух полях зернопарового севооборота (чистый пар – озимая пшеница – яровая пшеница – яровая пшеница – суданская трава – яровой ячмень), прошедшего две ротации во времени. Почва опытного участка (полигона) – чернозем выщелоченный среднелугосный среднемогучий тяжелосуглинистый.

Выполнение эксперимента с дифференцированным внесением удобрений обязательно требует учитывать варьирование элементов питания каждой делянки варианта. Данное условие в принципе отличает его от традиционного, которое пренебрегает неоднородностью плодородия почвы в пределах опытного участка, повторений, опытной делянки. Поэтому для проведения исследований был подобран земельный участок с генетически однородной почвой, но разным уровнем агрохимических показателей, что достигалось использованием части земельного массива с ранее завершенным длительным полевым опытом с удобрениями.

Диапазон значений агрохимических показателей почвы опытного участка в слое 0-25 см представлен в среднем по двум полям севооборота: гумус – 5,3-6,9 %, сумма нитратного и аммонийного азота 6,1-16,8 мг/кг почвы, подвижные формы фосфора – 83-182 мг/кг и обменного калия – 90-196 мг/кг почвы. Плоскость полигона ровная, без какого-либо уклона.

Опытный полигон состоял из 45 элементарных участков (делянок), площадью каждый – 220,7 м² (37,4 × 5,9). Их размер скорректирован с учетом ширины захвата сельскохозяйственных орудий. Общий размер опыта – 1 га. Повторность опыта трехкратная. Каждый из трех вариантов опыта включал по 15 делянок, они же были и повторениями. Эксперимент выполнен на основе принципа расщепленной делянки, где делянки 1-го порядка закладывали под один из трех вариантов опыта, а делянки 2-го (по пять делянок в каждом повторении) – для определения неоднородности плодородия почвы и применения минеральных удобрений. Схема опыта включала:

1. Контроль (без удобрений).

2. Применение минеральных удобрений по традиционной технологии (усредненные дозы азота, фосфора и калия, рассчитанные на плановую урожайность ячменя 3,0 т/га на основе средневзвешенных агрохимических показателей почвы 15 делянок всех трех повторений этого варианта).

3. Дифференцированное применение минеральных удобрений (дифференцированные дозы азота, фосфора и калия, рассчитанные на плановую урожайность ярового ячменя 3,0 т/га зерна с учетом агрохимических показателей почвы каждой делянки всех трех повторений этого варианта).

На рисунке 1 схематично представлено расположение вариантов на опытном полигоне и места взятия образцов почвы для определения агрохимических показателей по сеточному методу из центра ячейки, при котором размер контуров сетки совпадает с размером делянок¹.

При возделывании ярового ячменя в 2012 и 2018 гг. (плановая урожайность 3 т/га зерна) усредненные дозы составили соответственно N₇₀P₃₄K₂₆ и N₇₂P₃₆K₂₅, дифференцированные – N₅₃₋₈₀P₂₄₋₄₃K₁₇₋₃₄ и N₅₆₋₈₀P₂₅₋₄₂K₂₀₋₂₇. Расчет доз удобрений под запланированную урожайность ячменя в каждом варианте осуществляли по методу нормативного баланса, основанного на возмещении выноса питательных веществ планируемым урожаем с учетом агрохимических показателей плодородия почвы².

Яровой ячмень в опыте высевали в первых числах мая с нормой посева 5 млн всх. семян на 1 га на глубину 5-6 см. Минеральные удобрения вносили вручную под предпосевную культивацию. В качестве азотных удобрений использовали аммиачную селитру, фосфорных – двойной суперфосфат, калийных – хлористый калий.

Основные агрохимические показатели почвы (рН, гумус, нитратный и аммонийный азот, подвижный фосфор P₂O₅ и обменный калий K₂O) с глубины пахотного слоя (0-25 см) определяли в сертифицированной лаборатории Центра агрохимического обслуживания «Мордовский». Сеточный метод отбора проб почвы способствовал исследованию каждой делянки полигона с формированием по ней среднего образца. Полученные результаты статистически обрабатывали методом дисперсионного анализа³ на основе вычислительных программ обработки данных. Построение контурных карт по распределению основных элементов питания и урожайности ярового ячменя по элементарным участкам опытного полигона осуществляли с использованием вычислительной программы Surfer 7.0^{4, 5}. Урожайность ячменя учитывали путем взвешивания зерна при стандартной влажности (14 %) со всей делянки. Фенологические наблюдения и определение элементов структуры урожая выполняли в соответствии с общепринятыми методиками⁶. Оценку экономической эффективности проводили по технологическим картам в ценах 2022 года в соответствии с рекомендациями⁷.

¹Сычев В. Г., Афанасьев Р. А., Личман Г. И., Марченко М. Н. Методика отбора почвенных проб по элементарным участкам поля в целях дифференцированного применения удобрений. М.: ВНИИА, 2007. 36 с.

²Сычев В.Г., Ладонин В.Ф. Державин Л.М. и др. Интегрированное применение удобрений в адаптивно-ландшафтном земледелии в нечерноземной зоне Европейской части России. М.: ВНИИА, 2005. 160 с.

³Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

⁴Golden Software Ins. Surfer 7.0 Help [Электронный ресурс]. URL: <http://www.goldensoftware.com/> (Дата обращения: 15.02.2023).

⁵Мальцев К. А. Основы работы в программе Surfer 7.0. Казань: Изд-во КГУ, 2008. 24 с.

⁶Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1989. Вып. II. 195 с.

⁷Полунин Г. А., Гарист А. В., Князева Р. И. Методические рекомендации по определению экономического эффекта от использования результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в агропромышленном комплексе. М.: АНО «НИЦПО», 2007. 32 с.

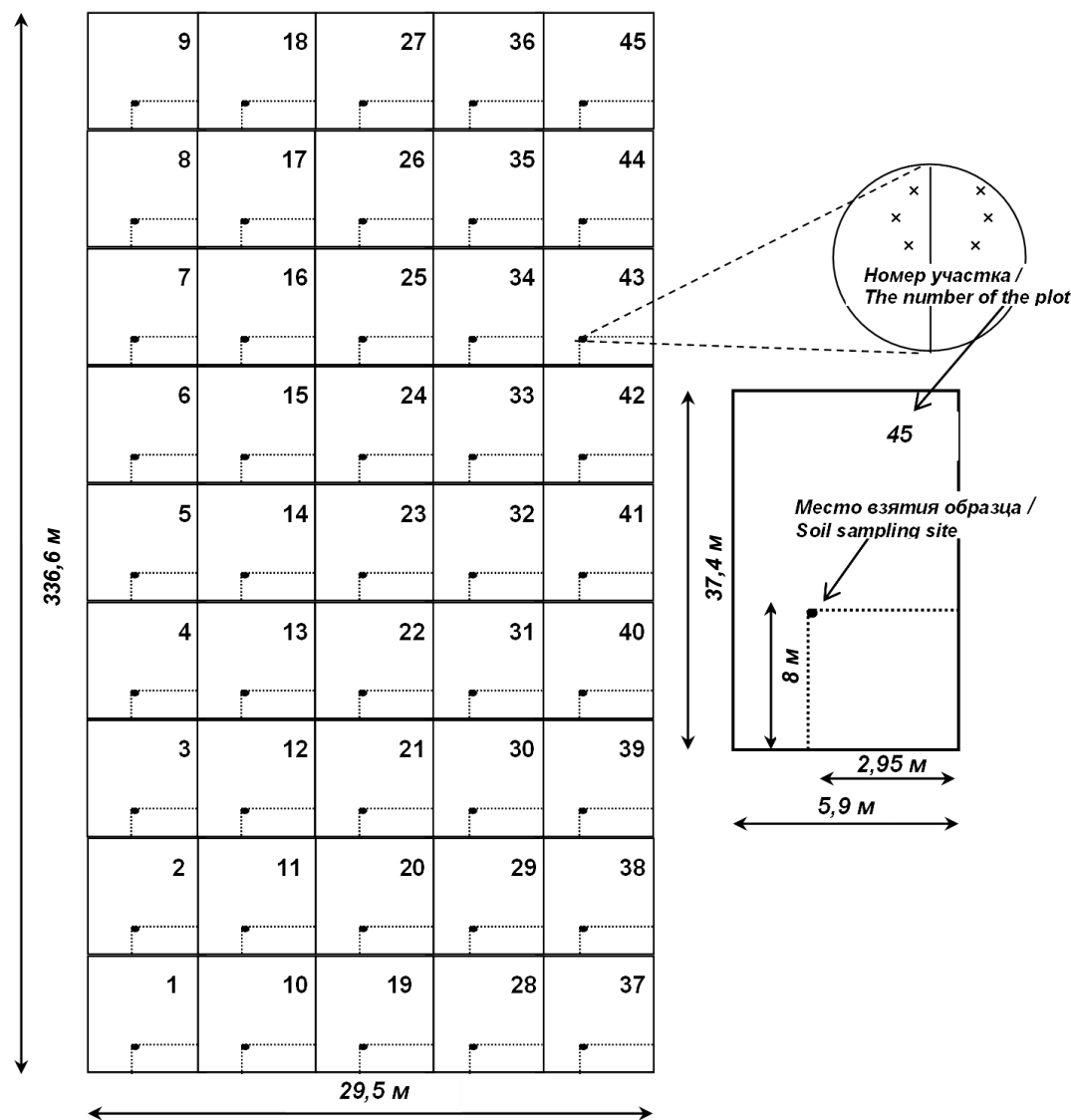


Рис. 1. Схематичный план опытного полигона и места взятия образцов почвы: усредненные дозы – I повторение – 1, 10, 19, 28, 37; II повторение – 4, 13, 22, 31, 40; III повторение – 7, 16, 25, 34, 43; контроль – I повторение – 2, 11, 20, 29, 38; II повторение – 5, 14, 23, 32, 41; III повторение – 8, 17, 26, 35, 44; дифференцированные дозы – I повторение – 3, 12, 21, 30, 39; II повторение – 6, 15, 24, 33, 42; III повторение – 9, 18, 27, 36, 45 /

Fig. 1. Schematic plan of the test field and soil sampling sites: the average doses – the 1-st repetition – 1, 10, 19, 28, 37; the 2-nd repetition – 4, 13, 22, 31, 40; the 3-rd repetition – 7, 16, 25, 34, 43; the control – the 1-st repetition – 2, 11, 20, 29, 38; the 2-nd repetition – 5, 14, 23, 32, 41; the 3-rd repetition – 8, 17, 26, 35, 44; the differentiated doses – the 1-st repetition – 3, 12, 21, 30, 39; the 2-nd repetition – 6, 15, 24, 33, 42; the 3-rd repetition – 9, 18, 27, 36, 45

Проведение исследований в лесостепи Среднего Поволжья не всегда сопровождалось благоприятными погодными условиями вегетации для роста и развития ярового ячменя. Так, в 2012 году гидротермический коэффициент (ГТК) за период вегетации составил 0,79, что по оценке условий увлажнения соответствовало слабой степени засухи, в 2018 г. ГТК составил 0,5, что относилось к засушливым условиям.

Результаты и их обсуждение. Для оценки эффективности на первом этапе проведения исследований технология дифференцированного применения минеральных удобрений потребовала детального обследования опытного полигона на предмет изменения агрохимических показателей и получения данных о содержании основных питательных элементов растений каждой делянки с жесткой привязкой к месту взятия проб почвы. На этой основе

были составлены карты обследования с учетом уровня показателей плодородия почвы, которые наглядно представлены на рисунке 2. Они показаны в среднем по двум годам в зернопаровом севообороте с распределением суммы нитрат-

ного и аммонийного азота, подвижного фосфора, обменного калия по делянкам опытного полигона перед посевом ярового ячменя. Карты необходимы были для расчета доз внесения удобрений по участкам полигона.

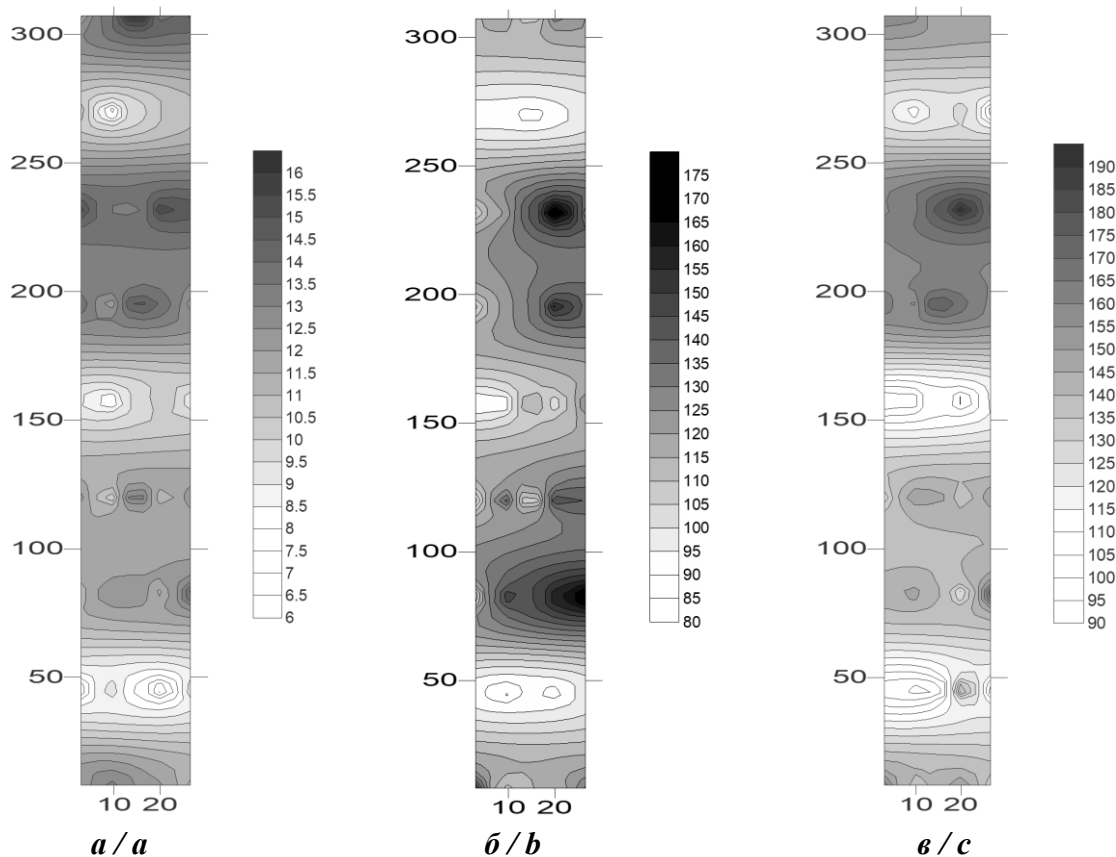


Рис. 2. Распределение основных элементов питания на опытном полигоне перед посевом ярового ячменя, мг/кг почвы (в среднем по 2012 и 2018 гг.): а) нитратного + аммонийного азота ($\text{NH}_4\text{-NO}_3$); б) подвижного фосфора (P_2O_5); в) обменного калия (K_2O) /

Fig. 2. Distribution of basic nutrients at the test site before sowing spring barley, mg/kg of soil (average for 2012 and 2018): а) of nitrate + ammonium nitrogen ($\text{NH}_4\text{-NO}_3$); б) of mobile phosphorus (P_2O_5); в) of exchangeable potassium (K_2O)

Представленные контурные карты наглядно демонстрируют состояние полигона по содержанию в почве элементов питания на отдельных участках. По подвижному фосфору и обменному калию видно, что присутствовали места со средней, повышенной и высокой обеспеченностью. По содержанию подвижных форм азота также наблюдалась подобная ситуация, когда почва характеризовалась от очень низких до средних значений обеспеченности делянок этим элементом. Такая раскладка показателей на делянках полигона обеспечила репрезентативное сравнение двух технологий применения удобрений и позволила выявить их действие на урожайность зерна ярового ячменя.

При дифференцированном применении удобрений наибольшее их количество вно-

сили на низкоплодородные участки опытного полигона. На делянках, которые были обеспечены элементами питания в большей степени, дозы удобрений, наоборот, уменьшали до минимальных.

Как показали исследования, в среднем по 2012 и 2018 гг. применение минеральных туков по вариантам опыта достоверно влияло на урожайность ярового ячменя (табл. 1). Было установлено, что наибольшее ее значение (3,14 т/га) отмечено при внесении дифференцированных доз удобрений. Традиционная технология применения минеральных удобрений снижала сбор зерна на 11,5 %. В контроле была получена урожайность меньше на 41,7 %, чем при дифференцированных дозах, и на 34,2 %, чем при усредненных дозах.

Таблица 1 – Влияние минеральных удобрений на урожайность, элементы структуры урожая и индивидуальные показатели развития растений ярового ячменя сорта Зазерский 85 (в среднем по 2012 и 2018 гг.)

Table 1 – The effect of mineral fertilizers on productivity, structure elements of the yield and individual indicators of development of the plants of Zazersky 85 spring barley variety (average for 2012 and 2018)

Показатель / Indicator	Вариант / Variant			HCP ₀₅ / LSD ₀₅
	контроль (без удобрений) / control (without fertilizers)	усредненная доза / average dose	дифференциро- ванная доза / differentiated dose	
Урожайность, т/га / Yield, t/ha	1,83	2,78	3,14	0,24
Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g	40,81	43,92	44,13	0,18
Коэффициент продуктивной кустистости / Productive tillering coefficient	1,38	1,46	1,58	0,12
Высота растений, см / Plant height, cm	47,8	52,5	52,9	1,1
Длина колоса, см / Spike length, cm	5,7	7,8	8,1	0,3

На рисунке 3 в двух проекциях отражена усредненная по двум годам исследований урожайность ярового ячменя, обусловленная как неоднородным содержанием питательных элементов по опытному полигону, так и раз-

личными дозами внесения удобрений при их дифференцированном внесении, а также переизбытком или дефицитом элементов питания при усредненном внесении туков.

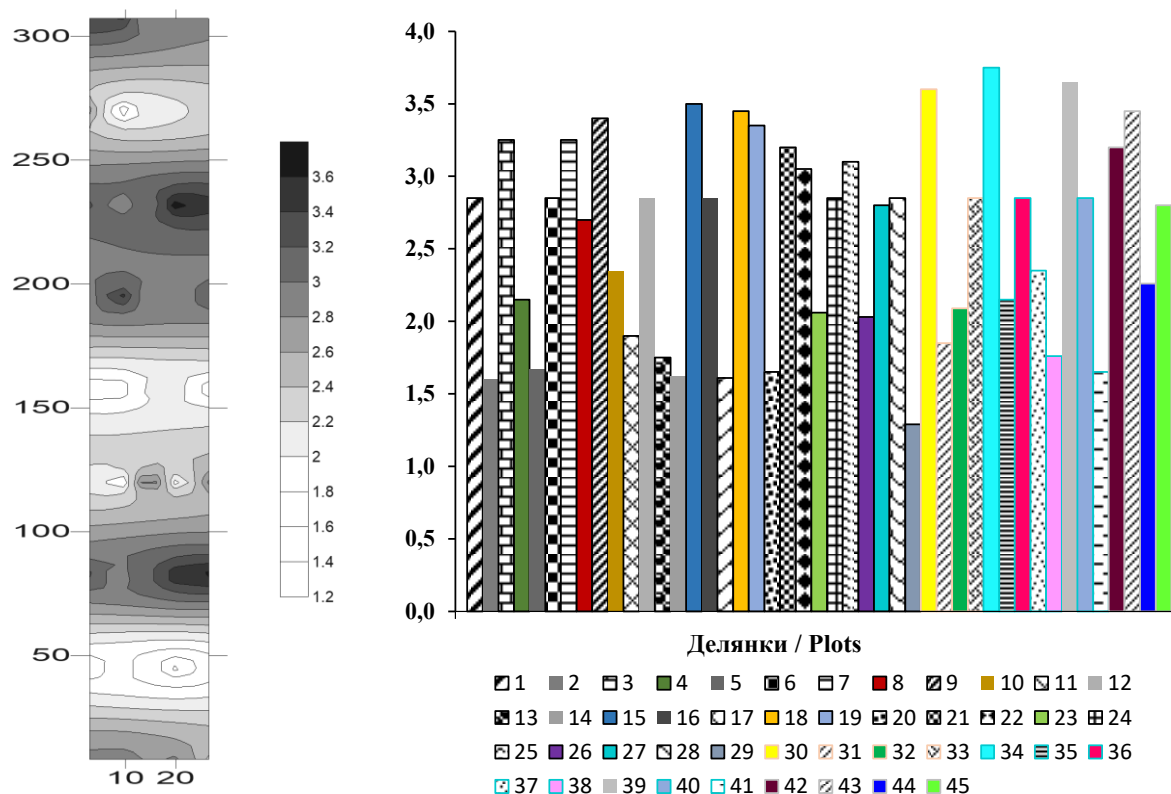


Рис. 3. Карта и диаграмма урожайности ярового ячменя сорта Зазерский 85 по делянкам опытного полигона, т/га (в среднем по 2012 и 2018 гг.) /

Fig. 3. Map and diagram of spring barley yield Zazersky 85 variety by plots of the test site, t/ha (average for 2012 and 2018)

В общем на опытном полигоне размах варьирования по урожайности зерна ярового ячменя составил 2,46 т/га, при значительном

коэффициенте вариации ($V = 25,9\%$). Усредненное внесение удобрений вызвало максимальный размах варьирования, который равнялся

2,0 т/га ($V = 21,2\%$). Технология дифференцированного применения удобрений обеспечила наименьшее изменение урожайности (размах варьирования 0,8 т/га) по участкам этого варианта ($V = 9,8\%$). В контрольном варианте разница между максимальным и минимальным значениями по сбору зерна составила 0,97 т/га при коэффициенте вариации $V = 15\%$. Кроме того, контрольный вариант наглядно продемонстрировал как изменялась урожайность ячменя при неодинаковых значениях агрохимических показателей почвы на разных делянках полигона без внесения удобрений.

Структура урожая ярового ячменя также изменялась под действием применяемых доз удобрений (табл. 1). Действие удобрений приводило к статистически значимому увеличению показателей «продуктивная кустистость», «высота растений», «длина колоса» и «масса 1000 зерен». Между собой варианты с удобрениями также различались. Преимущество по указанным показателям, прежде всего по значениям продуктивной кустистости и длине колоса, имел вариант дифференцированного применения удобрений.

Погодные условия в годы проведения исследований тоже влияли на продуктивность ярового ячменя, возделываемого при различных технологиях применения удобрений. Стоит отметить, что минеральные туки в оба года достоверно повышали сбор зерна с единицы площади, а преимущество имело дифференцированное их внесение. Наибольшее количество зерновой массы по всем вариантам опыта было получено в более влажный 2012 год. В 2018 году

урожайность в зависимости от варианта опыта была на 9-16 % ниже.

Содержательным является сопоставление размаха варьирования и коэффициентов вариации урожайности ярового ячменя в годы проведения исследований в зависимости от варианта опыта. Так, в контрольном варианте в 2012 году размах варьирования составлял 1,01 т/га при коэффициенте вариации 15,5 %, в 2018 году размах увеличился до 1,12 т/га, а коэффициент вариации до 17,0 %. Аналогичная закономерность наблюдалась в варианте с усредненными дозами удобрений, когда в 2012 году размах варьирования урожая составил 2 т/га при $V = 19,9\%$, а в 2018 году эти показатели увеличились соответственно до 2,1 т/га и 22,1 %. Дифференцированное внесение удобрений позволило, наоборот, несколько снизить разницу между минимальным и максимальным значениями урожайности с 1 т/га в 2012 году до 0,9 т/га в 2018 году, а коэффициент вариации с 10,5 до 9,5 %. Подобное проявление свидетельствовало о том, что дифференцированное внесение удобрений в течение двух ротаций севооборота с учетом внутриполевой неоднородности опытного полигона приводило к некоторому нивелированию сбора зерна на делянках этого варианта и получению в оба года исследований (даже в более засушливый год) практически одного уровня урожая.

Оценка экономической эффективности различных технологий применения минеральных удобрений в посевах ярового ячменя представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние технологий применения удобрений на экономическую эффективность возделывания ярового ячменя сорта Зазерский 85 (в среднем по 2012 и 2018 гг.) /

Table 2 – Economic efficiency of cultivation of spring barley Zazersky 85 variety depending on the technologies of application of mineral fertilizers (average for 2012 and 2018)

Показатель / Indicator	Вариант / Variant		
	контроль (без удобрений) / control (without fertilizers)	усредненная доза / average dose	дифференцированная доза / differentiated dose
Урожайность, т/га / Productivity, t/ha	1,83	2,78	3,14
Стоимость валового сбора, руб/га / The cost of the gross collection, rub/ha	20130	30580	34540
Производственные затраты, руб/га / Production costs, rub/ha	16700	24223	23407
Условный чистый доход, руб/га / Net income, rub/ha	3430	6357	11133
Рентабельность производства, % / Profitability, %	20,5	26,2	47,6

Расчеты показали, что возделывание ярового ячменя с использованием технологии дифференцированного применения удобрений наиболее рентабельно (+27,1 % к контролю). Вырашивание данной культуры с применением усредненных доз удобрений повышало на 5,7 % эффективность в сравнении с контролем, но снижало на 21,4 % рентабельность относительно варианта с дифференцированными дозами.

Различной получилась оценка результативности от применения разных доз удобрений, связанная с дополнительными затратами на их покупку и внесение (табл. 3). Так, вариант с усредненными дозами приводил к росту издержек на 816 руб/га и уменьшал на 4776 руб/га прибыль от их использования.

Таблица 3 – Оценка эффективности затрат на покупку и использование минеральных удобрений при возделывании ячменя сорта Зазерский 85 (в среднем по 2012 и 2018 гг.) /

Table 3 – Evaluation of the effectiveness of costs for the purchase and use of mineral fertilizers in the cultivation of barley Zazersky 85 variety (average for 2012 and 2018)

Показатели / Indicator	Вариант / Variant		
	контроль (без удобрений) / control (without fertilizers)	усредненная доза / average dose	дифференцированная доза / differentiated dose
Прибавка урожая от внесения минеральных удобрений, т/га / Yield increase from the application of mineral fertilizers, t/ha	0	0,95	1,31
Выручка от реализации дополнительной продукции, руб/га / Revenue from the sale of additional grain, rub/ha	-	10450	14410
Затраты на покупку и использование минеральных удобрений, руб/га / Costs for the purchase and application of mineral fertilizers, rub/ha	-	7523	6707
Прибыль от использования минеральных удобрений, руб/га / Profit from the use of mineral fertilizers, rub/ha	-	2927	7703

В результате проведенных исследований было установлено, что применение дифференцированных доз удобрений позволило не только сократить издержки на их покупку и внесение, и повысить прибыль от их использования, но существенно уменьшить расход действующего вещества агрохимикатов в расчете на 1 га площади. В 2012 году экономия составила 8,5 %, а в 2018 году – 7,5 % (общая доза при дифференцированном внесении в 2012 г. – 119 кг д. в./га, в 2018 г. – 124 кг д. в./га, усредненная доза – 130 кг и 134 кг д.в./га соответственно).

Заключение. Урожайность ярового ячменя сорта Зазерский 85 зависела как от технологии применения удобрений, так и от внутриполевой неоднородности опытного полигона. По величине сформированной урожайности (в среднем за 2012 и 2018 гг.) внесение удобрений существенно превысило контрольный вариант (1,83 т/га): на 72 % при использовании дифференцированных доз, и на 44 % – усредненных. Наибольшая урожайность (3,14 т/га) ярового ячменя получена при использовании дифференцированных

доз внесения удобрений – на 13 % выше, чем в варианте с усредненными дозами. Технология дифференцированного применения удобрений обеспечила незначительный уровень варьирования урожайности на опытных участках полигона при коэффициенте вариации $V = 9,8 \%$ и размахе варьирования 0,8 т/га. При традиционном использовании туков коэффициент вариации возрастал до значительного размера ($V = 21,2 \%$), при наибольшей разнице (2 т/га) между максимальным и минимальным значениями среди вариантов. Положительное действие минеральных туков как при дифференцированном, так и при усредненном внесении проявилось в повышении показателей «масса 1000 зерен», «высота растений», «коэффициент продуктивной кустистости» и «длина колоса». Однако преимущество было отмечено у технологии дифференцированного применения удобрений, которая отличалась наибольшим уровнем рентабельности производства (47,6 %). Использование усредненных доз уменьшало прибыль от их использования с 1 га посевной площади.

Список литературы

1. Федоренко В. Ф., Мишуров 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
2. Khitrov N. B., Rukhovich D. I., Koroleva P. V., Kalinina N. V., Trubnikov A. V., Petukhov D. A., Kulyanitsa A. L. A study of the responsiveness of crops to fertilizers by zones of stable intra-field heterogeneity based on big satellite data analysis. Archives of Agronomy and Soil Science. 2019;(12):1963-1975. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1703957>
3. Monzon J. P., Calviño P. A., Sadras V. O., Zubiaurre J. B., Andrade F. H. Precision agriculture based on crop physiological principles improves whole-farm yield and profit: A case study. European Journal of Agronomy. 2018;99:62-71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.06.011>
4. 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
5. Rabia A. H., Neupane J., Lin Z., Lewis K., Cao G., Guo W. Principles and applications of topography in precision agriculture. Advances in Agronomy. 2021;(171):143-189. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.08.005>
6. 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>
7. Дерепаскин А. И., Куваев А. Н., Токарев И. В. Полевые исследования культиватора-удобрителя с системой дифференцированного внесения минеральных удобрений. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021;15(2):46-52. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-2-46-52> EDN: NECEAD
8. 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/AGRPH.2020.01.06> EDN: BLTKHP
9. 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
10. Денисова О. К., Козлова М. В. Экономические аспекты применения технологии точного земледелия в Восточно-Казахстанской области. Проблемы агробизнеса. 2018;(1):163-170. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35313069> EDN: XUFIDR
11. Кадырова Г. Д., Лагутина А. И., Пономарев А. С., Решетникова Т. Ю., Якушева В. Н. Разработка стратегии дифференцированного внесения удобрений с использованием данных дистанционного зондирования земли. Управление рисками в АПК. 2021;(1(39)):46-59. DOI: <https://doi.org/10.53988/24136573-2021-01-04> EDN: GQIJWG
12. 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?id=48119069> EDN: ADPSFW
13. Астахов В. С. Возможный качественный прорыв при дифференцированном внесении гранулированных минеральных удобрений. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2019;(1):158-161. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37332615> EDN: LRRRRF
14. Чикишев Д. В., Абрамов Н. В., Ларина Н. С. Влияние дифференцированного внесения минеральных удобрений на продуктивность и качество яровой пшеницы. АгроЭкоИнфо. 2019;(2):3. Режим доступа: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2019/2/st_237.doc
15. 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
16. Шерстобитов С. В., Абрамов Н. В. Урожайность яровой пшеницы при дифференцированном внесении азотных удобрений в режиме offline. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019;(2(76)):51-55. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38195024> EDN: NFGIMD
17. Артемьев А. А., Гурьянов А. М. Эффективность возделывания озимой пшеницы при дифференцированном использовании минеральных удобрений. Достижения науки и техники АПК. 2020;34(4):26-31. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10405> EDN: NJGPWS
18. 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

References

1. 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>
2. Khitrov N. B., Rukhovich D. I., Koroleva P. V., Kalinina N. V., Trubnikov A. V., Petukhov D. A., Kulyanitsa A. L. A study of the responsiveness of crops to fertilizers by zones of stable intra-field heterogeneity based on big satellite data analysis. Archives of Agronomy and Soil Science. 2019;(12):1963-1975. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1703957>
3. Monzon J. P., Calviño P. A., Sadras V. O., Zubiaurre J. B., Andrade F. H. Precision agriculture based on crop physiological principles improves whole-farm yield and profit: A case study. European Journal of Agronomy. 2018;99:62-71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.06.011>

4. 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>
5. Rabia A. H., Neupane J., Lin Z., Lewis K., Cao G., Guo W. Principles and applications of topography in precision agriculture. *Advances in Agronomy*. 2021;(171):143-189. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.08.005>
6. 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>
7. Derepaskin A. I., Kuvaev A. N., Tokarev I. V. Cultivator-Fertilizer Field Tests Using a Differential Fertilization System. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2021;15(2):46-52. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-2-46-52>
8. 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>
9. 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>
10. Denisova O. K., Kozlova M. V. Economic aspects of application of precise farming technology in the East Kazakhstan region. *Problemy agrorynka* = Problems of AgriMarket. 2018;(1):163-170. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35313069>
11. Kadyrova G. D., Lagutina A. I., Ponomarev A. S., Reshetnikova T. Yu., Yakusheva V. N. Development of a differentiated fertilizer application strategy using remote earth sensing data. *Upravlenie riskami v APK*. 2021;(1(39)):46-59. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.53988/24136573-2021-01-04>
12. Astakhov V. S., Ivanchikov G. O. Problems of application of precision farming systems with differentiated application of solid mineral fertilizers and ways to solve them. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2022;(1):133-136. (In Belarus). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48119069>
13. Astakhov V. S. Possible qualitative breakthrough by differentiated application of granular mineral fertilizers. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2019;(1):158-161. (In Belarus). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37332615>
14. Chikishev D. V., Abramov N. V., Larina N. S. Effect of differentiated application of mineral fertilizers on the productivity and quality of spring wheat. *AgroEkoInfo*. 2019;(2):3. (In Russ.). URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2019/2/st_237.doc
15. 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>
16. Sherstobitov S. V., Abramov N. V. Effect of differentiated application of nitrogen fertilizers in the off-line mode on spring wheat yields. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2019;(2(76)):51-55. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38195024>
17. Artemjev A. A., Guryanov A. M. Efficiency of winter wheat cultivation with the differentiated application of mineral fertilizers. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2020;34(4):26-31. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10405>
18. 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.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.369-377>

Сведения об авторах

✉ **Артемьев Андрей Александрович**, доктор с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией координатного земледелия, зам. директора по научной работе, 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, 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/0000-0003-2642-1498>

Information about the authors

✉ **Andrey A. Artemjev**, DSc in Agricultural Science, associate professor, leading researcher, Head of the Laboratory of Coordinate Farming, Deputy Director for Science, 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, 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/0000-0003-2642-1498>

✉ – Для контактов / Corresponding author