



Дифференцированное применение минеральных удобрений при возделывании суданской травы

© 2022. А. А. Артемьев✉, А. М. Гурьянов

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

Исследования по применению минеральных удобрений с учетом внутрипочвенной вариабельности агрохимических показателей в посевах суданской травы сорта Кинельская 100 проводили в 2011 и 2017 гг. в двух полях полевого севооборота, развернутого во времени (чистый пар – озимая пшеница – яровая пшеница – яровая пшеница – суданская трава – яровой ячмень) на черноземе выщелоченном тяжелосуглинстом (гумус в пахотном слое – 5,2-7,1 %, нитратный и аммонийный азот 6,5-16,9 мг/кг почвы, подвижные формы фосфора – 83-201 мг/кг почвы и обменного калия – 91-198 мг/кг почвы) в лесостепных районах Евро-Северо-Востока РФ (Республика Мордовия). Схема опыта включала 3 варианта (плановая урожайность зеленой массы суданской травы 20,0 т/га): контроль (без удобрений); усредненная доза удобрений ($N_{89}P_{33}K_{30}$ – в 2011 г., $N_{92}P_{35}K_{28}$ – в 2017 г.); дифференцированная доза ($N_{73-99}P_{21-31}K_{23-32}$ – в 2011 г. и $N_{70-103}P_{24-40}K_{20-21}$ – в 2017 г.). Опыт заложен по принципу расщепленной делянки, где делянки 1-го порядка отведены под варианты с удобрениями, а делянки 2-го (по 5 делянок в каждом повторении) – для определения вариабельности внутрипочвенного плодородия и внесения удобрений. В среднем по двум полям севооборота наибольшая урожайность суданской травы (25,1 т/га) наблюдалась в варианте с дифференцированным применением удобрений, что достоверно выше контроля (на 49 %) и варианта с усредненными дозами (на 10 %). Внесение удобрений с учетом неоднородности плодородия почвы обеспечило наименьший размах варьирования урожайности (4,4 т/га) по делянкам полигона при незначительном уровне коэффициента вариации ($V = 6$ %). Применение удобрений положительно влияло на сбор с 1 га сухого вещества, кормовых единиц и переваримого протеина. По этим показателям достоверное преимущество наблюдалось в варианте с дифференцированными дозами, который обеспечил и наибольший уровень рентабельности производства (122,3 %).

Ключевые слова: урожайность, дифференцированные дозы, усредненные дозы, 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-2022-006, 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. 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>

Поступила: 05.04.2022

Принята к публикации: 23.05.2022

Опубликована онлайн: 23.06.2022

Differentiated application of mineral fertilizers in cultivation of Sudanese grass

© 2022. Andrey A. Artemjev✉, Alexander M. Guryanov

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

Research on the use of mineral fertilizers considering the intrasoil variability of agrochemical indicators in the sowings of Sudanese grass of Kinelskaya 100 variety was carried out in 2011 and 2017 in two fields of crop rotation deployed in time (pure fallow - winter wheat – spring wheat – spring wheat – Sudanese grass – spring barley) on leached heavy loamy chernozem (humus in the arable layer – 5.2-7.1 %, nitrate and ammonium nitrogen 6.5-16.9 mg/kg of soil, mobile forms of phosphorus – 83-201 mg/kg of soil and exchangeable potassium – 91-198 mg/kg of soil) in the forest-steppe regions of the Euro-North-East of the Russian Federation (The Republic of Mordovia). The scheme of the experiment included 3 variants with fertilizers (planned yield of green mass of Sudanese grass 20.0 t/ha): control (without fertilizers); average dose of fertilizers ($N_{89}P_{33}K_{30}$ – in 2011, $N_{92}P_{35}K_{28}$ – in 2017); differentiated doses ($N_{73-99}P_{21-31}K_{23-32}$ in 2011 and $N_{70-103}P_{24-40}K_{20-21}$ in 2017). 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 intrasoil fertility and fertilizer application. On average, among two crop rotation fields, the highest yield of Sudan grass (25.1 t/ha) was obtained in the variant with differentiated use of fertilizers, that was significantly higher than the control (49 %) and 10 % higher than in the variant with average doses. The application of fertilizers considering the heterogeneity of soil fertility ensured the smallest range of variation of the yield (4.4 t/ha) among the plots of the testing ground with an insignificant level of variation coefficient ($V = 6$ %). The use of fertilizers had a positive effect on the collection of dry matter, feed units and digestible protein per 1 ha. According to these indicators, a significant advantage was observed for the variant with differentiated doses, which also provided the highest level of production profitability (122.3 %).

Keywords: yield, differentiated doses, average doses, 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-2022-006, 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. 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>

Received: 05.04.2022

Accepted for publication: 23.05.2022

Published online: 23.06.2022

В настоящее время эффективность использования минеральных удобрений в посевах сельскохозяйственных культур в условиях нашей страны остается невысокой. Данное явление обусловлено, в первую очередь, их применением без учета внутрипольной изменчивости параметров плодородия почвы [1, 2]. Из-за этого часто наблюдается низкая урожайность возделываемых культур, и как следствие – незначительная окупаемость удобрений [3, 4, 5, 6]. На смену традиционно сложившейся парадигме, усредненного применения агрохимических средств без учета состояния поля и посевов, сегодня приходит качественно новая прецизионная система. В ее основе лежит дифференцированный подход в вопросе адаптации агротехнологий к пространственной неоднородности почвенного плодородия [7, 8, 9]. Качественным дополнением для нее также служат новейшие географические информационные системы (ГИС) со спутниковой навигацией, способные повысить информативность и достоверность показателей плодородия и выполнение технологических процессов [10, 11, 12, 13, 14, 15]. Вместе с тем, для реализации точных технологий в конкретных условиях региона требуется проведение научных исследований по оценке эффективности дифференцированного применения минеральных удобрений и корректировки нормативной базы их внесения [16, 17, 18, 19]. Данное направление является актуальным и имеет определенный практический результат.

Цель исследования – изучить влияние дифференцированного применения минеральных удобрений на урожайность, качество зеленой массы и эффективность возделывания суданской травы в полевом севообороте.

Научная новизна исследований состоит в обосновании дифференцированного применения минеральных удобрений в посевах суданской травы с учетом пространственной вариативности почвенных элементов питания и природно-климатических условий региона.

Материал и методы. Оценку эффективности применения минеральных удобрений по разным технологиям в посевах суданской

травы сорта Кинельская 100 проводили в 2011 и 2017 гг. в лесостепных районах Северо-Востока РФ на опытном участке Мордовского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в двух полях полевого севооборота (чистый пар – озимая пшеница – яровая пшеница – яровая пшеница – суданская трава – яровой ячмень), развернутого во времени. Стационарный полигон был заложен в 2004 году на черноземе выщелоченном среднемощном среднегумусном тяжелосуглинистом. По содержанию в почве элементов питания наблюдалось значительное варьирование. Это в свою очередь позволило репрезентативно оценить разнообразие данных о полигоне и сделать реальное заключение об отзывчивости растений суданской травы на дифференцированное внесение удобрений. Почва опытного участка характеризовалась следующими агрохимическими показателями: гумус в пахотном слое – 5,2-7,1 %, нитратный и аммонийный азот 6,5-16,9 мг/кг почвы, подвижные формы фосфора – 83-201 мг/кг почвы и обменного калия – 91-198 мг/кг почвы, рН_{сол} – 4,4-4,8. Рельеф участка ровный.

Стационарный полигон имеет площадь 1 га и разделен на 45 секторов (делянки, элементарные участки). Размер каждого сектора скорректирован с учетом ширины захвата сельскохозяйственной техники и орудий. Площадь сектора составляет 220,7 м² (37,4 × 5,9). Повторность трехкратная. Каждый вариант включает в себя 15 секторов. Эксперимент заложен по принципу расщепленной делянки, в котором делянки 1-го порядка отведены под один из 3 вариантов с удобрениями, а делянки 2-го (по пять делянок в каждом повторении) – для определения неоднородности плодородия почвы и применения минеральных удобрений. Схема опыта включала следующие варианты:

1. Контроль (без удобрений).
2. Применение минеральных удобрений по традиционной технологии (усредненная доза азота, фосфора и калия, рассчитанная на плановую урожайность суданской травы

20 т/га зеленой массы с учетом средневзвешенных агрохимических показателей почвы 15 делянок всех трех повторений этого варианта).

3. Дифференцированное применение минеральных удобрений (дифференцированная доза азота, фосфора и калия, рассчитанная на плановую урожайность суданской травы 20 т/га

зеленой массы с учетом агрохимических показателей почвы каждой делянки всех трех повторений этого варианта).

Для наглядного представления расположения вариантов на рисунке 1 отражена схема опыта и точек взятия образцов почвы на полигоне.

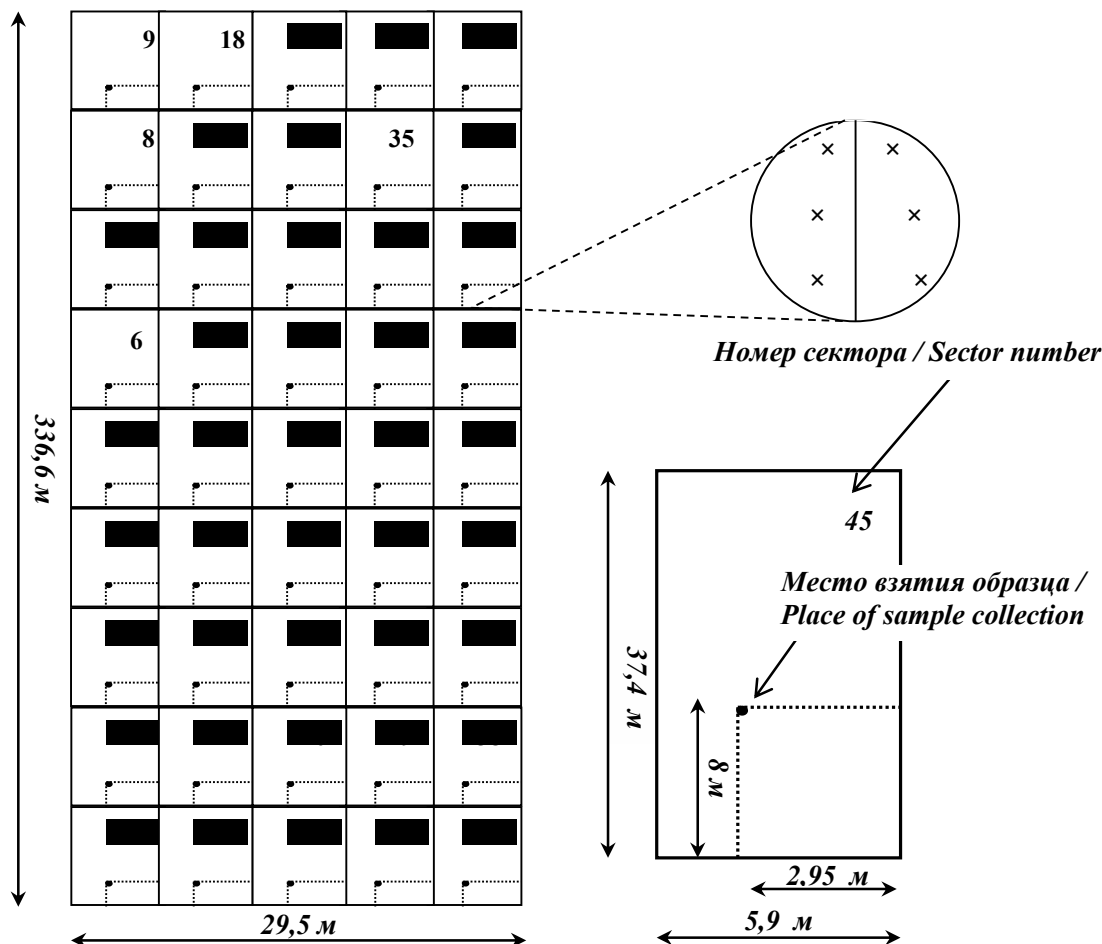


Рис. 1. Схематичный план опытного полигона и точек взятия образцов почвы: усредненные дозы: I повторение – 1, 10, 19, 28, 37, II повторение – 4, 13, 22, 31, 40, III повторение – 7, 16, 25, 34, 43; контроль: I повторение – 2, 11, 20, 29, 38, II повторение – 5, 14, 23, 32, 41, III повторение – 8, 17, 26, 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. 2. Schematic plan of the testing ground and soil sampling points: the average doses: the 1-st repetition – 1, 10, 19, 28, 37, the 2-nd repetition – 4, 13, 22, 31, 40, the 3-d 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-d 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-d repetition – 9, 18, 27, 36, 45

Проведение полевого эксперимента с дифференцированным внесением удобрений отличалось от принятого. Традиционное выполнение исследований исключает вариабельность плодородия почвы в пределах опытного участка, повторений, опытной делянки. При дифференцированном внесении удобрений, наоборот, учитывалось внутри-

почвенное варьирование элементов питания каждой делянки варианта. Поэтому для проведения опыта выбирался полевой участок с генетически однородной почвой, но разным содержанием агрохимических показателей. Это достигалось путем использования участка с ранее завершенным длительным полевым экспериментом с удобрениями.

В среднем по двум полям полевого севооборота при возделывании суданской травы в 2011 и 2017 гг. (плановая урожайность 20 т/га зеленой массы) усредненные дозы составили соответственно $N_{89}P_{33}K_{30}$ и $N_{92}P_{35}K_{28}$, дифференцированные – $N_{73-99}P_{21-31}K_{23-32}$ и $N_{70-103}P_{24-40}K_{20-21}$. Суданскую траву в опыте высевали в конце первой декады мая рядовым способом с междурядьями 15 см и нормой высева 15 кг (1,1 млн всх. семян на 1 га). Глубина заделки семян составила 3-4 см. Удобрения вносили вручную под предпосевную культивацию.

При отборе почвы для определения агрохимических показателей (рН, гумус, нитратный и аммонийный азот, подвижный фосфор P_2O_5 и обменный калий K_2O) использовался сеточный метод из центра ячейки, где размеры сетки соответствовали размеру делянок¹. Отбор проб осуществляли с глубины пахотного слоя (0-25 см). Агрохимический анализ выполняли в сертифицированной лаборатории Центра агрохимического обслуживания «Мордовский». Изучали каждый сектор полигона, результаты обрабатывали статистическим методом дисперсионного анализа² с использованием компьютерных программ обработки данных. Контурные карты с распределением основных элементов питания и урожайности суданской травы по секторам полигона выстраивали с помощью программы Surfer 7.0^{3,4}. Экономическую эффективность рассчитывали по технологическим картам с использованием типовых норм в ценах 2021 года с учетом качества зеленой массы и в соответствии с рекомендациями по определению экономического эффекта от использования результатов НИР и ОКР в агропромышленном комплексе⁵.

Условия вегетации по погоде соответствовали зоне лесостепных районов Евро-Северо-Востока РФ, однако не всегда были благоприятными для роста и развития растений суданской травы. Так, 2011 г. по условиям

увлажнения характеризовался проявлением слабой степени засухи, ГТК за вегетацию составил 0,85. В 2017 г. наблюдали нормальные условия увлажнения (ГТК = 1,25).

Результаты и их обсуждение. Дифференцированное применение удобрений в системе точного земледелия является одной из главных составляющих технологии. Поэтому при изучении variability агрохимических показателей почвы и поля в целом важно получить данные о содержании питательных веществ с каждого элементарного участка, в нашем случае делянки опытного полигона с жесткой привязкой к месту отбора проб почвы. На основе этого формируется контурная карта с распределением элементов питания по полю. Демонстративно это выражено на рисунке 2, показывающем распределение по делянкам опытного полигона минерального азота, подвижного фосфора и обменного калия в среднем по двум полям полевого севооборота перед посевом суданской травы.

Данные контурных карт показывают, что по содержанию указанных минеральных веществ опытные делянки полигона относились к разным систематическим категориям. Так, по уровню нитратного и аммонийного азота почва отличалась низким и средним содержанием, по фосфору и калию характеризовалась средней и высокой обеспеченностью. Такая неравномерность по элементам питания дала возможность репрезентативно оценить разные технологии внесения минеральных удобрений и определить их влияние на продуктивность суданской травы. Исходя из имеющегося варьирования агрохимических показателей почвы, в варианте с дифференцированными дозами наибольшее количество минеральных туков вносилось на делянки с меньшим содержанием элементов питания, а наименьшее – на делянки с высокой обеспеченностью показателей плодородия.

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

²Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

³Golden Software Ins. Surfer 7.0 Help [Электронный ресурс].

URL: <http://www.goldensoftware.com/> (дата обращения: 17.03.2022).

⁴Мальцев К. А. Основы работы в программе Surfer 7.0. Казань: Изд-во КГУ, 2008. 24 с.

⁵Полунин 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.

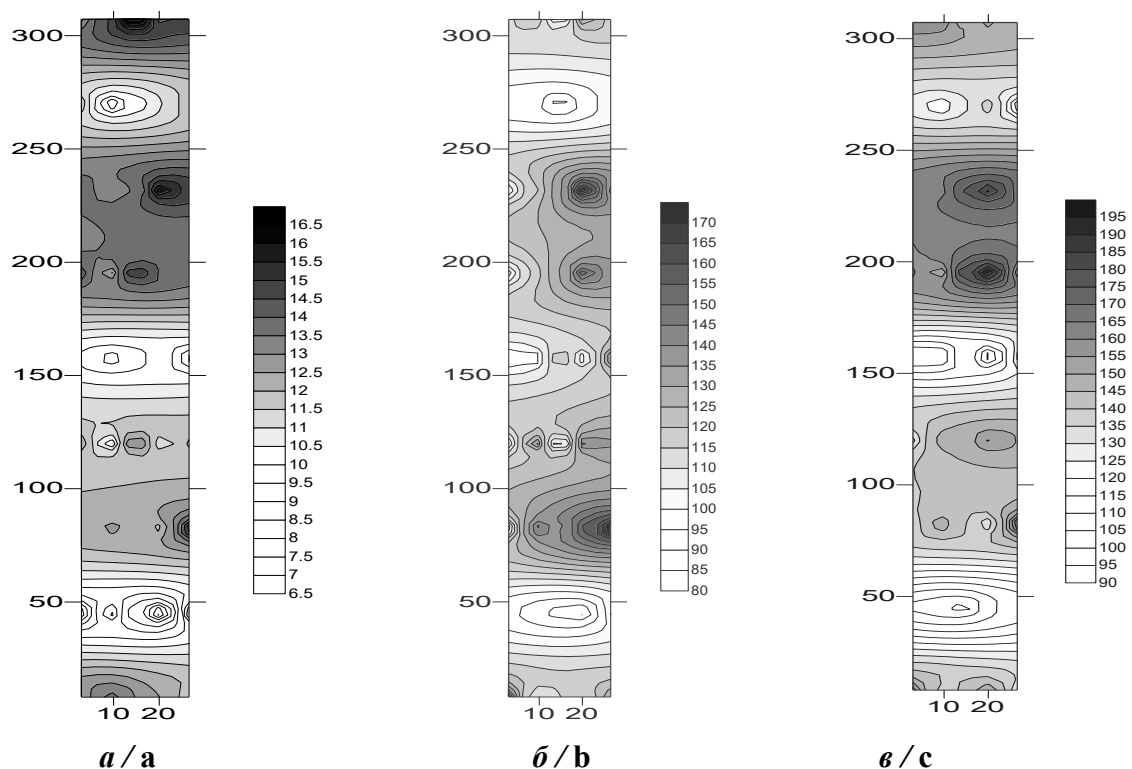


Рис. 2. Распределение основных элементов питания на опытном полигоне, мг/кг почвы (среднее по двум полям севооборота): а) нитратного + аммонийного азота ($\text{NH}_4\text{-NO}_3$); б) подвижного фосфора (P_2O_5); в) обменного калия (K_2O) /

Fig. 2. Distribution of basic nutrients at the testing ground, mg/kg of soil (average for two crop rotation fields): a) nitrate + ammonium nitrogen ($\text{NH}_4\text{-NO}_3$); b) mobile phosphorus (P_2O_5); c) exchangeable potassium (K_2O)

Различные технологии применения минеральных удобрений оказали влияние на продуктивность суданской травы (табл. 1). В среднем по двум полям полевого севооборота наибольшая урожайность зеленой массы (25,1 т/га) получена в варианте с дифференцированным внесением минеральных туков. Применение усредненной дозы достоверно снижало на

10 % данный показатель. В контроле урожайность была на 49 % меньше, чем в варианте с дифференцированными дозами и на 43 %, чем при традиционном внесении удобрений.

Неравномерное распределение элементов питания по делянкам опытного полигона также оказало влияние на урожайность суданской травы (рис. 3, 4).

Таблица 1 – Продуктивность суданской травы сорта Кинельская 100 в зависимости от варианта применения минеральных удобрений (в среднем по двум полям севооборота) /

Table 1 – The productivity of Sudanese grass of Kinelskaya 100 variety depending on the variant with application of mineral fertilizers (average for two fields of crop rotation)

Показатель / Indicator	Вариант / Variant			HCP ₀₅ / LSD ₀₅
	контроль (без удобрений) / control (without fertilizers)	усредненная доза / average dose	дифференцированная доза / differentiated dose	
Урожайность зеленой массы, т/га / Green mass yield, t/ha	12,8	22,8	25,1	1,8
Сухое вещество, т/га / Dry matter, t/ha	4,5	7,9	8,9	0,8
Кормовые единицы с 1 га / Feed units per 1 ha	2430	4330	4770	339
Переваримый протеин, т/га / Digestible protein, t/ha	0,29	0,52	0,58	0,04

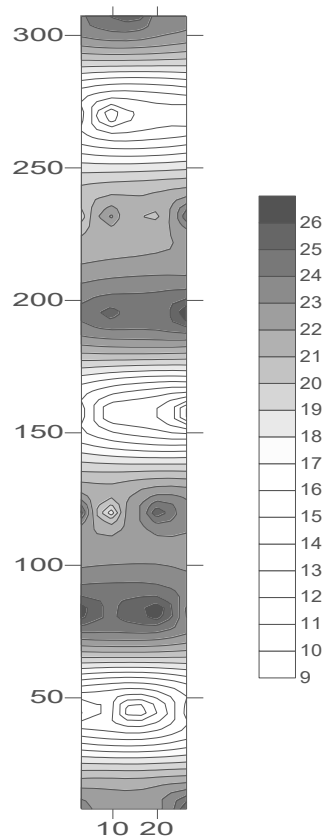


Рис. 3. Карта урожайности суданской травы сорта Кинельская 100 на опытном полигоне, т/га (среднее по двум полям севооборота) /
Fig. 3. Yield Map of Sudanese grass of Kinelskaya 100 variety on the testing ground, t/ha (average for two crop rotation fields)

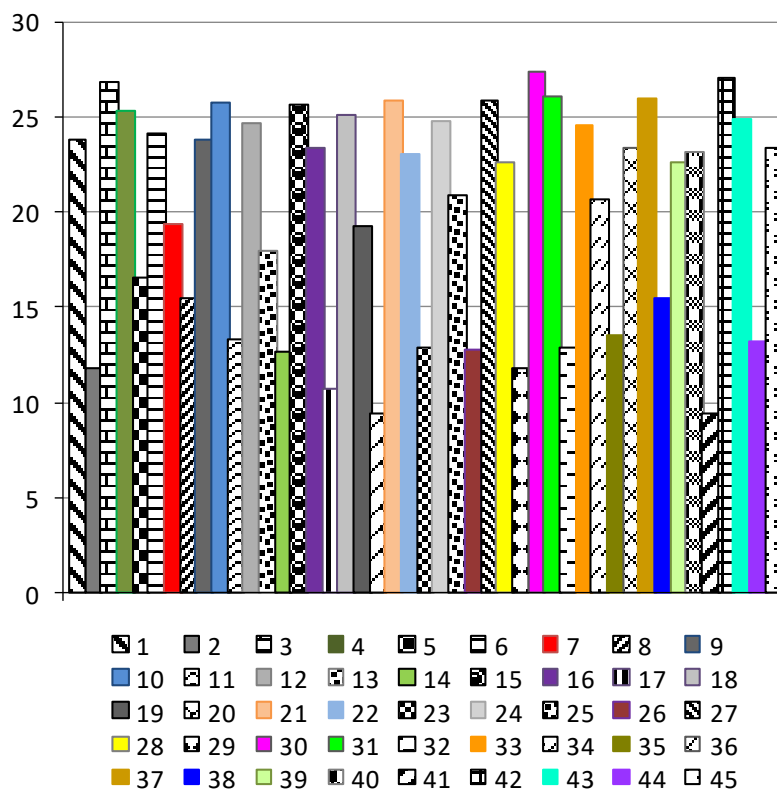


Рис. 4. Урожайность суданской травы сорта Кинельская 100 по участкам опытного полигона, т/га (среднее по двум полям севооборота) /
Fig. 4. The yield of Sudanese grass of Kinelskaya 100 variety by plots of the testing ground, t/ha (average for two crop rotation fields)

В целом по опыту полученные величины урожайности зеленой массы суданской травы по делянкам опытного полигона показывают, что размах варьирования по данному показателю составил 18,0 т/га при значительном уровне коэффициента вариации ($V = 27,7\%$). Рассматривая отдельно каждый вариант опыта, видно, что в варианте с усредненными дозами удобрений размах варьирования оказался 8,1 т/га при среднем значении коэффициента вариации ($V = 13\%$). В контроле разница между максимальным и минимальным значениями урожайности составила 7,2 т/га при наибольшем среди вариантов опыта коэффициенте вариации ($V = 21\%$). Незначительный уровень коэффициента вариации отмечен в варианте с дифференцированными дозами удобрений ($V = 6\%$) при размахе варьирования 4,4 т/га.

Применение удобрений положительно влияло на сбор с 1 га сухого вещества, кормовых единиц и переваримого протеина (табл. 1). По этим показателям достоверное преимущество наблюдалось в варианте с дифференцированным применением минеральных удоб-

рений. Наименьшие значения данных показателей отмечены в контроле.

Экономическая оценка возделывания суданской травы отражена в таблице 2. Анализ расчета показал, что возделывание суданской травы эффективнее при дифференцированном внесении минеральных удобрений. В контроле значение рентабельности понизилось на 61,8 %, а в варианте с усредненной дозой – на 22,8 %.

В целом по опыту анализ эффективности дополнительных затрат от внесения минеральных удобрений показал, что использование традиционной технологии с усредненными дозами приводило к уменьшению прибыли с 1 га посевной площади.

В расчете на 1 гектар посевов расход минеральных удобрений при дифференцированном их внесении составил в среднем по двум полям полевого севооборота 139 кг д. в., а при внесении усредненных доз – 154 кг д. в. Дифференцированное применение удобрений обеспечило снижение их расхода на 10 %.

Таблица 2 – Экономическая эффективность возделывания суданской травы сорта Кинельская 100 в зависимости от варианта применения минеральных удобрений (в среднем по двум полям севооборота) / Table 2 – Economic efficiency of cultivation of Sudanese grass of Kinelskaya 100 variety depending on the variant with mineral fertilizers use (average for two fields of crop rotation)

<i>Показатель / Indicator</i>	<i>Вариант / Variant</i>		
	<i>контроль (без удобрений) / control (without fertilizers)</i>	<i>усредненная доза / average dose</i>	<i>дифференцированная доза / differentiated dose</i>
Кормовые единицы с 1 га / Feed units per 1 ha	2430	4330	4770
Стоимость валового сбора, руб/га / The cost of the gross collection, rub/ha	21870	38970	42930
Производственные затраты, руб/га / Production costs, rub/ha	13620	19530	19310
Условно чистый доход, руб/га / Net operating profit, rub/ha	8250	19440	23620
Рентабельность производства, % / Production profitability, %	60,5	99,5	122,3

Заключение. Продуктивность суданской травы сорта Кинельская 100 изменялась как от дозы внесения минеральных удобрений, так и от неравномерности распределения элементов питания по делянкам опытного полигона. В среднем по двум полям полевого севооборота наибольшая урожайность зеленой массы (25,1 т/га) суданской травы отмечена в варианте с дифференцированным внесением удобрений, что на 49 % выше, чем в контроле и на 10 %, чем в варианте с усредненной дозой. Дифференцированные дозы обеспечили незна-

чительный уровень коэффициента вариации ($V = 6\%$) при размахе варьирования 4,4 т/га, тогда как традиционное применение туков приводило к увеличению коэффициента вариации до среднего значения ($V = 13\%$) с размахом варьирования 8,1 т/га. Применение удобрений положительно влияло на сбор с 1 га сухого вещества, кормовых единиц и переваримого протеина. По этим показателям достоверное преимущество наблюдалось в варианте с дифференцированными дозами, в котором был обеспечен и наибольший уровень рентабельности производства (122,3 %).

Список литературы

1. Ерёмин Д. И., Кибук Ю. П. Дифференцированное внесение удобрений как инновационный подход в системе точного земледелия. Вестник КрасГАУ. 2017;(8):17-26. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29875923>
2. Артемьев А. А., Гурьянов А. М. Изменение агрохимических показателей чернозема выщелоченного под влиянием дифференцированного применения минеральных удобрений. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(2):144-152. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.144-152>
3. Марченко Л. А., Личман Г. И., Смирнов И. Г., Мочкова Т. В., Колесникова В. А. Дифференцированное внесение удобрений и пестицидов с использованием беспилотных летательных аппаратов. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017;(3):17-23. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2017-3-17-23>
4. Артемьев А. А., Гурьянов А. М. Эффективность возделывания озимой пшеницы при дифференцированном использовании минеральных удобрений. Достижения науки и техники АПК. 2020;(4(34)):5-10. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10405>
5. Артемьев А. А., Гурьянов А. М. Возделывание яровой пшеницы при различных технологиях применения минеральных удобрений. Международный сельскохозяйственный журнал. 2021;(3(381)):78-81. DOI: <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-3-78-81>
6. 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>
7. Nordblom T. L., Hutchings T. R., Scheffe C. R. Precision variable rate nitrogen for dryland farming on waterlogging Riverine Plains of Southeast Australia? Agricultural Systems. 2021;(186):102962. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102962>
8. 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>

9. 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>
10. Ивановская В. В., Голубева Е. И., Труфанов А. В. Применение ГИС-технологий для оптимизации сельскохозяйственного природопользования. Проблемы региональной экологии. 2020;(5):36-41. DOI: <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2020-5-36-41>
11. Шаповалов Д. А., Королева П. В., Калинина Н. В., Вильчевская Е. В., Куляница А. Л., Рухович Д. И. ASF-INDEX – карта устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почвенного покрова, построенная на основе больших спутниковых данных для задач точного земледелия. Международный сельскохозяйственный журнал. 2020;(1):9-15. DOI: <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-11002>
12. Rosell-Polo J. R., Cheein F. A., Escolà A. Advances in Structured Light Sensors Applications in Precision Agriculture and Livestock Farming. *Advances in Agronomy*. 2015;(133):71-112. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.05.002>
13. Rabia A. H., Neupane J., Lin Z., Lewis K., Cao G., Guo W. Principles and applications of topography in precision agriculture. *Advances in Agronomy*. 2022;(171):143-189. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.08.005>
14. Fabbri C., Mancini M., Marta A., Orlandini S., Napoli M. Integrating satellite data with a Nitrogen Nutrition Curve for precision top-dress fertilization of durum wheat. *European Journal of Agronomy*. 2020;(120):126148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126148>
15. 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>
16. 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>
17. 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>
18. 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>
19. Денисова О. К., Козлова М. В. Экономические аспекты применения технологии точного земледелия в Восточно-Казахстанской области. *Проблемы агрорынка*. 2018;(1):163-170. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35313069>

References

1. Eremin D. I., Kibuk Yu. P. Differentiated application of fertilizers as an innovative approach in the system of precision farming. *Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU*. 2017;(8):17-26. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29875923>
2. Artemjev A. A., Guryanov A. M. Changes in agrochemical parameters of leached chernozem under the influence of differentiated use of minerals. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2019;20(2):144-152. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.144-152>
3. Marchenko L. A., Lichman G. I., Smirnov I. G., Mochkova T. V., Kolesnikova V. A. Variable rate application of fertilizers and pesticides using unmanned aerial vehicles. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies*. 2017;(3):17-23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2017-3-17-23>
4. 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;(4(34)):5-10. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10405>
5. Artemjev A. A., Guryanov A. M. Cultivation of spring wheat with various technologies of application of mineral fertilizers. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal = International Agricultural Journal*. 2021;(3(381)):78-81. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-3-78-81>
6. 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>
7. Nordblom T. L., Hutchings T. R., Scheffe C. R. Precision variable rate nitrogen for dryland farming on waterlogging Riverine Plains of Southeast Australia? *Agricultural Systems*. 2021;(186):102962. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102962>
8. 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>

9. 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>
10. Ivanovskaya V. V., Golubeva E. I., Trufanov A. V. GIS-technologies application to agricultural goals solving. *Problemy regional'noy ekologii* = Regional Environmental Issues. 2020;(5):36-41. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2020-5-36-41>
11. Shapovalov D. A., Koroleva P. V., Kalinina N. V., Vilchevskaya E. V., Kulyanitsa A. L., Rukhovich D. I. ASF-INDEX – a map of stable intra-field heterogeneity of soil cover fertility, based on big satellite data for precision agriculture tasks. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2020;(1):9-15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-11002>
12. Rosell-Polo J. R., Cheein F. A., Escolà A. Advances in Structured Light Sensors Applications in Precision Agriculture and Livestock Farming. *Advances in Agronomy*. 2015;(133):71-112. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.05.002>
13. Rabia A. H., Neupane J., Lin Z., Lewis K., Cao G., Guo W. Principles and applications of topography in precision agriculture. *Advances in Agronomy*. 2022;(171):143-189. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.08.005>
14. Fabbri C., Mancini M., Marta A., Orlandini S., Napoli M. Integrating satellite data with a Nitrogen Nutrition Curve for precision top-dress fertilization of durum wheat. *European Journal of Agronomy*. 2020;(120):126148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126148>
15. 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>
16. Tsyganova N. A. Energy and economical efficiency of site-specific application of mineral fertilizers in field crop rotation. *Agrofizika* = Agrophysics. 2020;(1):37-44. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2020.01.06>
17. 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>
18. Chikishev D. V. Ekonomicheskaya effektivnost' primeneniya mineral'nykh udobreniy s ispol'zovaniem sistem sputnikovoy navigatsii. *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>
19. 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 Kazakhstan). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35313069>

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, Principal Director of Scientific Research, Mordovia Research Agricultural Institute – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Michurin street, 5, s. 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, s. 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