

Научная статья/Research Article

УДК 633.491:631.82

DOI: 10.36718/1819-4036-2026-2-78-89

Данил Глебович Шишков^{1✉}, Марина Тагирьяновна Васбиева²,
Венера Рафхатовна Ямалтдинова³, Диана Рафисовна Сафиуллина⁴

^{1,2,3,4}Пермский НИИ СХ – филиал Пермского ФИЦ УрО РАН, с. Лобаново, Пермский край, Россия

¹danil.schischkov@yandex.ru

²vasbieva@mail.ru

³yamaltdinova2303@gmail.com

⁴safiullinad551@gmail.com

УРОЖАЙНОСТЬ И ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА КАРТОФЕЛЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ И СООТНОШЕНИЙ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В СРЕДНЕМ ПРЕДУРАЛЬЕ

Цель исследований – установить влияние различных доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность и показатели качества картофеля в Среднем Предуралье. Исследования проведены в 2020 и 2022 гг. на опытном поле «Пермского НИИСХ» – филиала ПФИЦ УрО РАН, расположенного в с. Лобаново, в 20 км от г. Перми. Почва опытного участка – дерново-подзолистая тяжелосуглинистая. Опыт заложен по сокращенной схеме 1/9 полного факториального эксперимента (6 × 6 × 6). Исследования проводили на картофеле сорта Гала. Урожайность картофеля в среднем за два года исследования изменялась от 17,8 т/га в варианте без применения удобрений до 25,0 т/га при применении N₁₅₀P₆₀K₁₅₀. Увеличение урожайности происходило за счет применения азотных и калийных удобрений, действием которых может быть объяснено 58 % изменчивости показателя по опыту. В условиях засушливого вегетационного периода 2022 г. отмечено снижение содержания крахмала при применении минеральных удобрений с 17,4 % на контроле до 14,1 % при применении N₁₅₀P₁₅₀K₁₅₀. В благоприятных условиях периода вегетации 2020 г. данной закономерности не установлено. Содержание сухого вещества и нитратного азота в клубнях увеличивалось при применении азотных удобрений, фосфорные и калийные удобрения снижали величину показателей. Содержание азота в фазу цветения было ниже оптимального уровня и изменялось в диапазоне от 2,65 до 3,53 %. Содержание калия варьировало в широком диапазоне от низкого до избыточного уровня. Содержание фосфора было оптимальным и избыточным.

Ключевые слова: картофель, минеральные удобрения, факториальный опыт, урожайность картофеля, крахмал, сухое вещество, нитратный азот

Для цитирования: Шишков Д.Г., Васбиева М.Т., Ямалтдинова В.Р., и др. Урожайность и показатели качества картофеля при применении различных доз и соотношений минеральных удобрений в Среднем Предуралье // Вестник КрасГАУ. 2026. № 2. С. 78–89. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-2-78-89.

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № 122032200247-7.

Danil Glebovich Shishkov^{1✉}, Marina Tagiryaynovna Vasbieva², Venera Rafkhatovna Yamaltdinova³,
Diana Rafisovna Safiullina⁴

^{1,2,3,4}Perm Research Institute of Agriculture – branch of the Perm FRC UB RAS, Lobanovo village, Perm Region, Russia

¹danil.schischkov@yandex.ru

²vasbieva@mail.ru

³yamaltdinova2303@gmail.com

⁴safiullinad551@gmail.com

© Шишков Д.Г., Васбиева М.Т., Ямалтдинова В.Р., Сафиуллина Д.Р., 2026

Вестник КрасГАУ. 2026. № 2. С. 78–89.

Bulletin of KSAU. 2026;(2):78-89.

POTATO YIELDS AND QUALITY INDICATORS WHEN USING DIFFERENT DOSES AND RATIOS OF MINERAL FERTILIZERS IN THE MIDDLE PRE-URALS

The objective of the study is to determine the effect of different doses and ratios of mineral fertilizers on the yield and quality indicators of potatoes in the Middle Urals. The studies were conducted in 2020 and 2022 on the experimental field of the Perm Scientific Research Institute of Agriculture, a branch of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, located in the village of Lobanovo, 20 km from Perm. The experimental plot soil is sod-podzolic heavy loam. The experiment was set up according to an abbreviated design of 1/9 of the full factorial experiment (6 × 6 × 6). The study was conducted on the Gala potato variety. The average potato yield over the two years of the study varied from 17.8 t/ha in the variant without fertilizer application to 25.0 t/ha with N₁₅₀P₆₀K₁₅₀. The increase in yield was due to the use of nitrogen and potassium fertilizers, which can explain 58 % of the variability in the indicator in the experiment. Under the conditions of the dry growing season of 2022, a decrease in starch content was noted with the use of mineral fertilizers from 17.4 % in the control to 14.1 % with the use of N₁₅₀P₁₅₀K₁₅₀. Under favorable growing conditions in 2020, this pattern was not observed. Dry matter and nitrate nitrogen content in tubers increased with nitrogen fertilizers, while phosphorus and potassium fertilizers reduced these values. Nitrogen content during the flowering phase was below the optimal level, ranging from 2.65 to 3.53 %. Potassium content varied widely, from low to excessive. Phosphorus content was optimal and excessive.

Keywords: potato, mineral fertilizers, factorial experiment, potato yield, starch, dry matter, nitrate nitrogen

For citation: Shishkov DG, Vasbieva MT, Yamaltdiniva VR, et al. Potato yields and quality indicators when using different doses and ratios of mineral fertilizers in the Middle Pre-Urals. *Bulletin of KSAU*. 2026;(2):78-89. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2026-2-78-89.

Funding: the work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of state assignment № 122032200247-7.

Введение. Применение минеральных удобрений – один из самых эффективных способов повышения продуктивности агроценозов, особенно в условиях низкого естественного плодородия дерново-подзолистых почв [1, 2]. В условиях высокой стоимости минеральных удобрений, потребности в экологизации их использования и изменяющегося климата продолжает оставаться актуальной задача рационального использования питательных веществ удобрений [1, 3–5].

Картофель клубеносный является одной из важнейших продовольственных культур в России и мире. Он хорошо отзывается на применение как минеральных, так и органических удобрений [1, 6–9]. Одним из главных негативных погодных явлений для картофеля является засуха, так как картофель требователен к обеспеченности водой, особенно в критические фазы [5]. В зависимости от влагообеспеченности меняется также эффективность применения минеральных удобрений [3, 7]. Ряд исследователей показывают, что с возрастанием доз минеральных удобрений снижается эффективность их применения даже в благоприятные годы, в условиях же засухи высокие дозы NPK могут при-

водить к снижению урожайности или к их низкой окупаемости [6, 8, 9].

При оценке картофеля как продовольственного товара и как сырья для промышленной переработки большое внимание уделяется биохимическому составу клубней, который может изменяться в зависимости от условий питания, сорта и погодных условий [5, 6, 8, 10, 11]. В научной литературе есть сведения о том, что показатели качества при применении удобрений могут как улучшаться [11], так и ухудшаться [5, 12, 13]. Другие исследования указывают, что качество картофеля при применении среднерекомендуемых доз изменяется незначительно или зависит от соотношения азотных и фосфорных удобрений [1]. В то же время при высоких дозах азотного удобрения, особенно в засушливых условиях вегетации, в клубнях картофеля может накапливаться избыточное содержание нитратного азота [1]. Поэтому большое значение приобретает выбор доз и соотношений минеральных удобрений, обеспечивающих сбалансированный подход между получением наибольшей урожайности и лучших показателей качества.

Цель исследования – установить влияние различных доз и соотношений минеральных

удобрений на урожайность и показатели качества картофеля в Среднем Предуралье.

Объекты и методы. Исследования проводили в длительном стационарном опыте «Изучение влияния доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность полевых культур», заложенном в 1978 и 1980 гг. на базе Пермского НИИСХ – филиала ПФИЦ УрО РАН.

Опыт заложен по сокращенной схеме 1/9 полного факториального эксперимента (6 × 6 × 6). Схема опыта предусматривает изучение 6 градаций доз азотных (N), фосфорных (P) и калийных (K) удобрений – от 0 до 5 в условных обозначениях количества единичных доз (30 кг/га д.в.). Повторность вариантов в опыте двукратная, расположение делянок блоками, общая площадь делянки составляет 120 м², учетная площадь – 72 м².

Почва опытного участка – дерново-подзолистая тяжелосуглинистая, слабогумусированная. На момент проведения исследований содержание подвижного фосфора в почве по делянкам опыта изменялось от высокого до очень высокого, содержание подвижного калия – от повышенного до очень высокого.

Исследования проведены в шестой ротации севооборота на картофеле сорта Гала в 2020 и 2022 гг. Все минеральные удобрения вносили перед посадкой картофеля под предпосадочную обработку. Агротехника в опыте – общепринятая для Центральной зоны Предуралья. Схема посадки – 75 × 50. Посадка была проведена 01.06.2020 и 01.06.2022, учет урожайности кос-

венным методом по 20 растениям с делянки проводили 16.09.2020 и 30.08.2022. Надземную массу растений для определения обеспеченности основными элементами питания отбирали в фазу цветения.

Основной метод математической обработки в опыте – корреляционно-регрессионный анализ, основанный на теории метода наименьших квадратов [14]. Достоверное влияние изучаемых видов и соотношений минеральных удобрений устанавливается по включению их в регрессионное уравнение после проверки соответствующих коэффициентов регрессии на достоверность. Величина коэффициента детерминации характеризует долю изменчивости зависимой переменной, которую возможно объяснить изменчивостью независимых переменных. Математическую обработку результатов проводили с помощью программы STATISTICA 10.

Показатели качества клубней картофеля и содержание NPK определяли по общепринятым методикам. Показатели структуры урожайности – в соответствии с методическими указаниями [15]. К товарной фракции относили клубни массой от 40 г и больше, к семенной – от 20 до 80 г.

Погодные условия в годы проведения исследований были различны (рис. 1). Средний ГТК за 2020 г. составил 1,5, на протяжении периода вегетации картофеля наблюдались как засушливые периоды, так и периоды с нормальным и избыточным увлажнением. За 2022 г. средний ГТК за период вегетации картофеля составил 0,62, что характеризует год как острозасушливый.

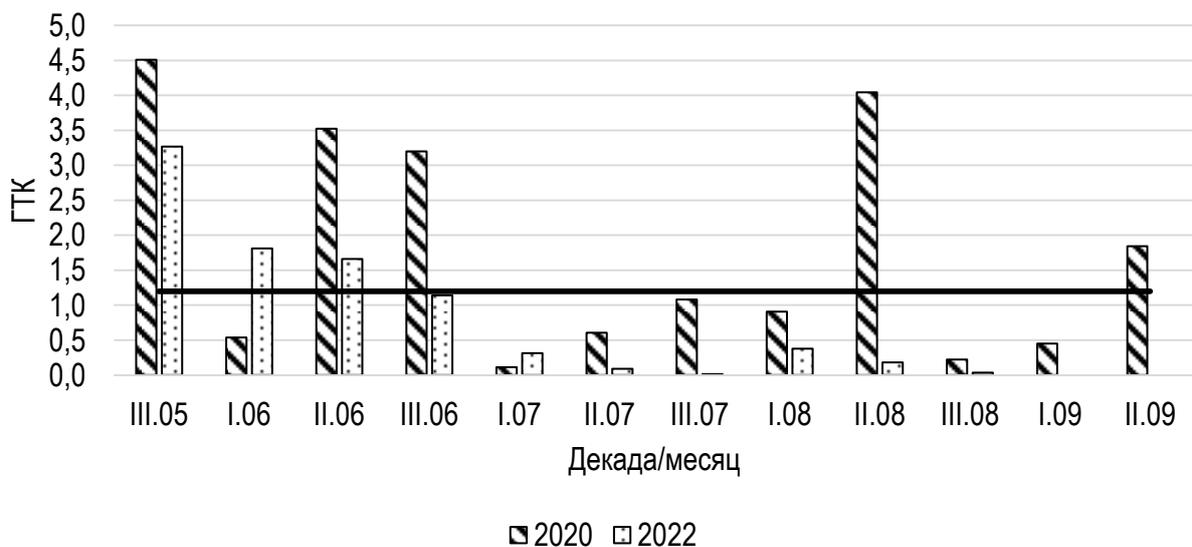


Рис. 1. ГТК вегетационных периодов 2020 и 2022 гг.
HTC of the growing seasons 2020 and 2022

Результаты и их обсуждение. В условиях 2020 г. был сформирован более высокий, по сравнению с 2022 г., уровень урожайности картофеля (табл. 1). В 2020 г. урожайность клубней картофеля изменялась от 20,0 т/га при дозе N90 до 28,5 т/га при дозе N30P120K30, в 2022 г. от 14,4 т/га на контроле до 24,2 т/га при дозе N150P60K150. Данная закономерность связана прежде всего с более засушливыми погодными условиями во второй год исследований. В сред-

нем за два года наименьшая урожайность получена в контрольном варианте – 17,8 т/га, наибольшая в варианте N150P60K150 – 25,0 т/га. В среднем по опыту при применении минеральных удобрений урожайность составила 21,9 т/га. Наибольшая окупаемость 1 кг д.в. прибавкой урожая получена при внесении одних азотных удобрений в дозе 90 кг/га д.в. (45,6 кг/кг), наименьшая при внесении полного минерального удобрения в дозе 30 кг/га д.в. (7,8 кг/кг).

Таблица 1

Урожайность картофеля и окупаемость минеральных удобрений основной продукцией, 2020 и 2022 гг.

Potato yield and payback of mineral fertilizers by main products, 2020 and 2022

Вариант	Урожайность, т/га				Окупаемость, кг/кг
	2020	2022	Среднее		
			т/га	к контролю	
Без удобрений	21,1	14,4	17,8		–
K90	22,8	14,5	18,6	0,8	8,9
P90	23,1	14,6	18,8	1,0	11,1
P90K90	21,8	18,6	20,2	2,4	13,3
N90	20,0	23,8	21,9	4,1	45,6
N90K90	22,7	21,4	22,0	4,2	23,3
N90P90	26,8	16,6	21,7	3,9	21,7
N90P90K90	23,5	18,9	21,2	3,4	12,6
N30P30K30	20,4	16,7	18,5	0,7	7,8
N30P30K120	25,4	19,5	22,5	4,7	26,1
N30P120K30	28,5	17,7	23,1	5,3	29,4
N30P120K120	20,8	22,4	21,6	3,8	14,1
N120P30K30	21,5	20,5	21,0	3,2	17,8
N120P30K120	27,6	16,1	21,9	4,1	15,2
N120P120K30	27,0	17,9	22,4	4,6	17,0
N120P120K120	28,1	21,4	24,7	6,9	19,2
N60P60K60	27,1	20,2	23,7	5,9	32,8
N60P60K150	25,4	20,6	23,0	5,2	19,3
N60P150K60	23,7	20,1	21,9	4,1	15,2
N60P150K150	25,3	21,3	23,3	5,5	15,3
N150P60K60	24,3	19,0	21,6	3,8	14,1
N150P60K150	25,8	24,2	25,0	7,2	20,0
N150P150K60	26,9	19,1	23,0	5,2	14,4
N150P150K150	26,9	18,5	22,7	4,9	10,9

По результатам корреляционно-регрессионного анализа получены регрессионные уравнения, описывающие действие изучаемых доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность картофеля (формулы (1)–(3)). В условиях 2020 г. основная роль в увеличении урожайности принадлежала фосфорным удобре-

ниям и в меньшей степени – калийным. С повышением доз эффективность удобрений снижалась. В условиях 2022 г. основная роль в увеличении урожайности принадлежала азотным удобрениям, эффективность которых также снижалась при возрастании доз. В среднем за два года проявилось действие азотных и калий-

ных удобрений, которое не было взаимосвязано (рис. 2). Необходимо отметить, что полученные коэффициенты детерминации находились на относительно низком уровне: действием мине-

ральных удобрений может быть объяснено только 58 % изменчивости урожайности в среднем за два года и 52–59 % изменчивости по годам

$$Y_{20} = 20,56 + 1,3299 \cdot P + 0,2880 \cdot K^2 + 0,1919 \cdot NP - 0,4942 \cdot PK; (R^2 = 0,52). \quad (1)$$

$$Y_{22} = 14,85 + 3,7723 \cdot N^{0,5} - 1,8536 \times NP^{0,5} + 1,3573 \cdot PK^{0,5}; (R^2 = 0,59). \quad (2)$$

$$Y_{20,22} = 18,67 + 1,5178 \cdot N^{0,5} + 0,3856 \cdot K; (R^2 = 0,58), \quad (3)$$

где Y_{20} , Y_{22} , $Y_{20,22}$ – урожайность картофеля в 2020, 2022 гг. и в среднем за 2020 и 2022 гг. т/га; N, P, K – дозы азотных, фосфорных и калийных удобрений в кодированном виде – количество

единичных доз; 20,56; 14,85; 18,67 – теоретическая урожайность в варианте без применения удобрений; 1,3299–0,3856 – коэффициенты регрессии, характеризующие действие удобрений.

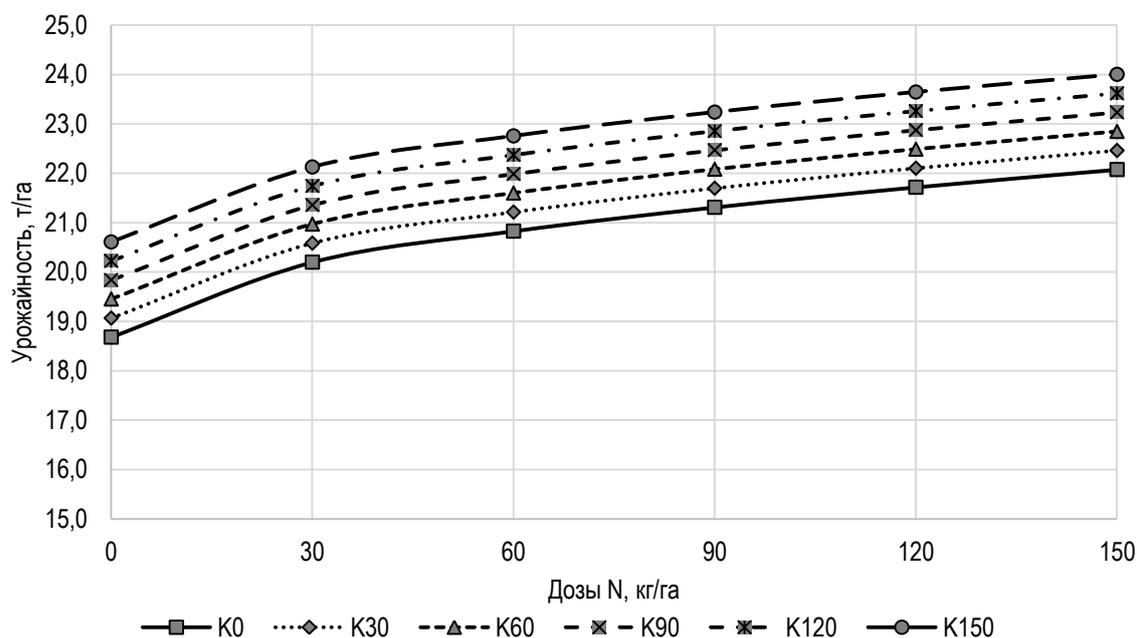


Рис. 2. Влияние возрастающих доз N и K на урожайность картофеля (2020 и 2022 гг.) (расчетные данные)

The effect of increasing doses of N and K on potato yields (2020 and 2022) (estimated data)

Урожайность клубней картофеля определялась массой клубней с куста ($r = 0,74$), которая изменялась в среднем за два года исследований от 544,8 г на контроле до 794,0 г в варианте N150P60K150 (табл. 2). Наименьшее количество клубней в кусте было получено в варианте N60P60K150, в среднем при применении удобрений количество клубней составило 18 шт/куст. Средняя масса клубня изменялась в широком диапазоне от 29,8 до 50,9 г, максимальное значение получено в варианте N150P60K150, где количество клубней было минимальным среди всех вариантов опыта. Содержание в урожае товарной фракции, к которой относили клубни массой от 40 г и выше, изменялось по вариантам опыта от 48,5 до 79,3 %, семенной, к кото-

рой относили клубни массой от 20 до 80 г, от 47,8 до 75,5 %. Средняя масса клубня, содержание товарной фракции и семенной фракции в среднем по всем вариантам с применением минеральных удобрений установились на уровне контроля: 38,0 г, 65,3 и 65,5 % соответственно.

Регрессионные уравнения, описывающие влияние изучаемых минеральных удобрений на показатели структуры картофеля, в среднем за два года представлены в формулах (4)–(8). Для таких показателей, как масса и количество клубней, а также процент семенной фракции в урожае, были получены статистически доказуемые уравнения регрессии. Коэффициент детерминации в этих уравнениях находился при этом на относительно низком уровне – действием изу-

чаемых минеральных удобрений можно объяснить только 25–37 % изменчивости данных показателей. Основной вклад в эту изменчивость оказывали азотные и фосфорные удобрения.

Для средней массы клубня и содержания товарной фракции в урожае картофеля статистически значимых уравнений получено не было.

Таблица 2

Структура урожайности картофеля (2020 и 2022 гг.), т/га
Potato yield structure (2020 and 2022), t/ha

Вариант	Масса клубней, г/куст	Количество клубней, шт/куст	Средняя масса клубня, г	Содержание в урожае картофеля, %	
				товарной фракции	семенной фракции
Без удобрений	544,8	13,5	39,1	65,0	64,4
K90	582,5	15,5	35,1	60,1	75,5
P90	624,2	17,0	36,3	65,3	70,6
P90K90	624,3	19,0	32,6	57,5	69,1
N90	683,8	18,5	36,6	65,6	70,1
N90K90	688,9	17,0	41,7	71,7	70,8
N90P90	649,2	18,5	34,9	66,1	65,4
N90P90K90	634,0	18,5	34,6	60,3	68,0
N30P30K30	570,9	17,0	33,9	58,0	66,3
N30P30K120	635,0	16,5	37,3	69,3	71,5
N30P120K30	673,3	17,0	39,4	67,5	53,5
N30P120K120	683,9	18,0	42,7	73,5	61,4
N120P30K30	696,8	18,0	39,8	65,3	70,0
N120P30K120	577,2	18,0	29,8	48,5	69,9
N120P120K30	751,1	20,0	37,0	62,4	67,2
N120P120K120	718,2	18,0	39,6	67,5	61,3
N60P60K60	752,5	19,0	39,6	67,7	68,5
N60P60K150	693,5	13,0	50,9	79,3	47,8
N60P150K60	657,9	16,0	40,8	69,6	66,6
N60P150K150	609,0	14,5	42,2	69,6	56,9
N150P60K60	698,5	21,0	33,6	57,3	68,0
N150P60K150	794,0	19,5	42,3	73,9	61,1
N150P150K60	691,6	16,0	40,9	69,6	64,9
N150P150K150	639,5	19,5	32,9	56,4	63,3

$$\text{Масса клубней} = 595,34 + 47,3138 \cdot N^{0,5} \quad (R^2 = 0,31); \quad (4)$$

$$\text{Количество клубней} = 15,29 + 0,1161 \cdot N^2 + 1,6273 \cdot P - 0,3256 \cdot P^2 \quad (R^2 = 0,37); \quad (5)$$

$$\text{Средняя масса клубня} = \text{const}; \quad (6)$$

$$\text{Товарная фракция} = \text{const}; \quad (7)$$

$$\text{Семенная фракция} = 69,82 - 2,0456 \cdot PK^{0,5} \quad (R^2 = 0,25), \quad (8)$$

где масса..., количество..., средняя..., товарная..., семенная... – показатели структуры урожайности картофеля в среднем за 2020 и 2022 гг.; N, P, K – дозы азотных, фосфорных и калийных удобрений в кодированном виде – количество единичных доз; 595,34; 15,29; 69,82 – теоретические значения показателей в варианте без применения удобрений; const –

постоянное значение; 47,3138–2,0456 – коэффициенты регрессии, характеризующие действие удобрений.

Содержание крахмала в клубнях картофеля в среднем за два года исследований составило 14,6 % на контроле и при применении удобрений снижалось: в среднем по всем вариантам с внесением минеральных удобрений оно соста-

вило 13,7 % и достигло минимума в варианте с максимальной дозой N150P150K150 (табл. 3). Данная закономерность была отмечена изначально в засушливом 2022 г., когда среднее содержание крахмала по всем вариантам с применением удобрений составило 15,6 при 17,4 %

на контроле. В условиях 2020 г., когда в целом за период вегетации отмечено нормальное увлажнение (ГТК = 1,5) при содержании крахмала в контрольном варианте на уровне 11,7 %, содержание в среднем по всем вариантам с применением удобрений составило 11,9 %.

Таблица 3

Показатели качества картофеля сорта Гала (2020 и 2022 гг.)
Quality indicators of Gala potatoes (2020 and 2022)

Вариант	Крахмал, %			Сухое вещество, %			Нитраты, мг/кг		
	2020	2022	Среднее	2020	2022	Среднее	2020	2022	Среднее
Без удобрений	11,7	17,4	14,6	19,9	22,7	21,3	46	100	73
K90	11,9	16,5	14,2	18,8	23,4	21,1	61	81	71
P90	12,7	17,4	15,1	20,5	22,2	21,4	48	84	66
P90K90	13,5	15,9	14,7	18,9	21,4	20,2	46	110	78
N90	13,1	16,7	14,9	19,9	23,2	21,6	52	134	93
N90K90	11,1	15,3	13,2	18,5	20,8	19,7	53	172	113
N90P90	12,4	17,4	14,9	20,4	24,0	22,2	52	128	90
N90P90K90	14,0	14,1	14,1	18,0	20,4	19,2	51	146	98
N30P30K30	12,4	15,9	14,2	18,6	22,8	20,7	57	105	81
N30P30K120	12,1	15,0	13,6	19,4	21,7	20,6	62	126	94
N30P120K30	10,5	15,5	13,0	18,1	22,4	20,3	53	102	77
N30P120K120	11,0	14,4	12,7	18,3	20,7	19,5	49	90	70
N120P30K30	10,8	16,8	13,8	20,0	23,7	21,9	54	171	112
N120P30K120	11,3	16,4	13,9	17,9	21,7	19,8	71	148	109
N120P120K30	12,7	15,9	14,3	19,6	22,4	21,0	53	123	88
N120P120K120	12,3	14,3	13,3	19,1	20,9	20,0	58	139	98
N60P60K60	11,6	14,8	13,2	19,2	22,3	20,8	63	122	93
N60P60K150	10,9	15,4	13,2	18,4	19,8	19,1	69	95	82
N60P150K60	11,5	17,1	14,3	19,0	22,0	20,5	48	106	77
N60P150K150	11,3	14,2	12,8	17,6	20,6	19,1	42	122	82
N150P60K60	11,5	15,1	13,3	18,0	21,5	19,8	54	177	115
N150P60K150	12,5	14,6	13,6	16,9	19,7	18,3	66	144	105
N150P150K60	10,9	15,8	13,4	18,9	21,7	20,3	68	139	103
N150P150K150	11,2	14,1	12,7	15,7	19,6	17,7	57	146	101

Содержание сухого вещества изменялось в диапазоне от 15,7 до 20,5 % в 2020 г. и от 19,6 до 24,0 % в 2022 г. В оба года исследований минимальное значение показателя отмечено при применении максимальной в опыте дозе полного минерального удобрения N150P150K150.

Содержание нитратного азота в клубнях зависело от погодных условий периода вегетации: в более влажный 2020 г. оно варьировало в относительно узком диапазоне 42–71 мг/кг, в засушливом 2022 г. – в диапазоне 81–177 мг/кг. Наиболее высокие значения показателя отмечены в вариантах, где внесение азотных удобрений не

сопровождалось внесением фосфорных и калийных. Превышения предельно допустимой концентрации нитратов в картофеле не выявлено ни в один из годов проведения исследования.

Отмеченные выше закономерности нашли свое выражение в регрессионных уравнениях (формулы (9)–(11)). Содержание крахмала достоверно снижалось под действием азотных и калийных удобрений, их действием можно объяснить 45 % изменчивости показателя по вариантам опыта. Связано это с тем, что при увеличении дозы азотных удобрений, особенно при низких дозах фосфорных, нарушается поступление

углеводов из листьев в клубень. Стоит отметить, что в условиях достаточного увлажнения 2020 г. статистически значимого уравнения не было получено. В условиях засушливого 2022 г. статистически значимо было негативное влияние на содержание крахмала калийных удобрений ($R^2 = 0,57$), что нашло свое выражение в уравне-

нии по усредненным за два года данным. Общеизвестно, что ионы хлора, содержащиеся в большом количестве в хлористом калии, вызывают снижение содержания крахмала, тем не менее достоверно такой эффект получилось обнаружить только в условиях засухи.

$$\text{Крахмал} = 14,46 - 0,3161 \cdot \text{NK}^{0,5} \quad (R^2 = 0,45). \quad (9)$$

$$\text{Сухое вещество} = 20,89 + 0,2365 \cdot \text{N} - 0,1337 \cdot \text{NK} - 0,0444 \cdot \text{PK} \quad (R^2 = 0,80). \quad (10)$$

$$\text{Нитраты} = 73,40 + 7,7222 \cdot \text{N} - 3,2500 \cdot \text{P} + 6,6238 \cdot \text{K} - 1,1692 \cdot \text{K}^2 \quad (R^2 = 0,86). \quad (11)$$

где крахмал, сухое вещество, нитраты – содержание крахмала (%), сухого вещества (%) и нитратного азота (мг/кг) в клубнях картофеля в среднем за 2020 и 2022 гг.; N, P, K – дозы азотных, фосфорных и калийных удобрений в кодированном виде – количество единичных доз; 14,46; 20,89; 73,40 – теоретические значения показателей в варианте без применения удобрений; 0,3161; 0,1337; 1,1692 – коэффициенты регрессии, характеризующие действие удобрений.

Содержание сухого вещества и нитратного азота в клубнях картофеля повышалось при применении азотных удобрений и снижалось при применении фосфорных. Калийные удобрения в сочетании с другими снижали содержание сухого вещества и повышали содержание нитратного азота при применении их в низких дозах. Действием минеральных удобрений может быть объяснено 80 % изменчивости сухого вещества и 86 % изменчивости содержания нитратного азота по вариантам опыта. Отдельно по

годам исследований получены схожие закономерности изменения данных показателей под действием изучаемых минеральных удобрений.

Оптимальное содержание в верхней части растения картофеля (4–5-й лист сверху) в фазу цветения составляет для азота 4,5–5,5 %, фосфора 0,4–0,5, калия 4,2–5,1 [16]. В среднем за два года исследований содержание азота в фазу цветения картофеля изменялось в диапазоне от 2,65 до 3,53 % и было ниже оптимального уровня (табл. 4). Содержание фосфора и калия в данную фазу находилось в диапазонах 0,53–0,67 и 3,79–6,06 % соответственно. Для содержания фосфора было характерно нахождение концентраций в группах оптимального и избыточного (> 0,6 %) содержания. Содержание калия, в свою очередь, ввиду широкого диапазона значений по вариантам, можно было отнести в группы низкого (3,8–4,2 %), оптимального и избыточного (> 5,5 %) уровней.

Таблица 4

Содержание основных элементов питания в зеленой массе и клубнях картофеля, коэффициент использования элементов питания из удобрений (КИУ) (2020 и 2022 гг.), %
The content of basic nutrients in the green mass and tubers of potatoes, the coefficient of utilization of nutrients from fertilizers (CIU) (2020 and 2022), %

Вариант	Цветение			Клубни			КИУ		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Без удобрений	2,85	0,59	4,19	1,26	0,56	2,55	–	–	–
K90	2,65	0,57	4,49	1,17	0,55	2,86	–	–	17,3
P90	2,98	0,64	4,53	1,25	0,55	2,48	–	1,2	–
P90K90	3,28	0,58	5,32	1,30	0,55	3,07	–	1,3	31,5
N90	3,46	0,56	3,79	1,60	0,47	2,52	31,0	–	–
N90K90	3,08	0,54	5,04	1,42	0,41	2,94	15,5	–	33,9
N90P90	3,46	0,63	3,96	1,60	0,52	2,34	32,8	4,5	–
N90P90K90	3,43	0,58	6,06	1,61	0,52	3,14	19,9	–	34,6
N30P30K30	2,93	0,53	4,14	1,51	0,48	2,43	33,5	–	–
N30P30K120	2,99	0,54	5,21	1,26	0,47	2,90	35,3	2,5	31,3

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N30P120K30	3,23	0,62	4,05	1,38	0,55	2,77	56,3	3,8	110,7
N30P120K120	3,20	0,65	5,53	1,29	0,55	3,16	21,8	1,8	30,3
N120P30K30	3,39	0,57	4,77	1,69	0,46	2,66	24,9	0,4	84,7
N120P30K120	3,32	0,57	5,74	1,57	0,45	2,97	16,9	–	26,6
N120P120K30	3,46	0,66	4,13	1,57	0,54	2,56	21,7	3,6	78,4
N120P120K120	3,26	0,60	5,27	1,66	0,45	2,72	28,5	1,0	31,4
N60P60K60	3,32	0,56	5,02	1,50	0,50	3,04	43,5	5,6	88,6
N60P60K150	3,37	0,64	5,12	1,49	0,43	3,09	29,8	–	26,0
N60P150K60	3,33	0,67	4,82	1,53	0,59	2,79	35,2	3,6	47,6
N60P150K150	3,35	0,66	5,24	1,75	0,61	3,21	50,1	3,9	30,8
N150P60K60	3,47	0,60	5,10	1,55	0,50	2,97	12,3	0,2	50,2
N150P60K150	3,07	0,56	5,59	1,80	0,51	3,32	23,0	3,4	36,7
N150P150K60	3,53	0,67	4,95	1,57	0,55	2,78	17,0	2,9	55,2
N150P150K150	3,26	0,62	5,66	1,95	0,65	3,46	20,4	3,4	28,2

Содержание элементов питания в клубнях изменялось в следующих диапазонах: азота – от 1,17 до 1,95 %, фосфора – от 0,41 до 0,65, калия – от 2,34 до 3,46 %. Максимальное содержание всех трех элементов питания к уборке сформировалось в варианте с максимальной дозой полного минерального удобрения N150P150K150. Наибольший коэффициент использования азота из удобрений получен в вариантах с применением N30P120K30 (56,3 %), N60P150K150 (50,1 %) и N60P60K60 (43,5 %), по остальным вариантам КИУ изменялся в диапазоне от 12,3 до 35,3 %. Для фосфора КИУ изменялся в относительно низких диапазонах – от 0,2 до 5,6 %, для калия – от 17,3 (K90) до 110,7 % (N30P120K30).

Был проведен анализ линейных корреляционных связей между изучаемыми показателя-

ми (табл. 5). Из заслуживающих внимание достоверных связей стоит выделить следующие.

1. Положительная связь средней силы урожайности картофеля с содержанием азота в фазу цветения и в клубнях ($r = 0,53$ и $0,59$ соответственно).

2. Обратная связь средней силы между содержанием крахмала и содержанием калия как в зеленой массе, так и в клубнях ($r = -0,51$ и $-0,68$ соответственно).

3. Обратная связь средней силы между содержанием крахмала и урожайностью картофеля ($r = -0,60$).

4. Обратная связь высокой силы между содержанием сухого вещества в клубнях и содержанием калия, как в фазу цветения, так и в клубнях ($r = -0,76$ и $-0,88$ соответственно).

Таблица 5

Матрица линейной корреляции между изучаемыми показателями
The matrix of linear correlation between the studied indicators

Показатель	Урожайность	Масса клубней с куста	Крахмал	Сухое вещество	Нитраты	Нцвет	Рцвет	Кцвет	Нклубни	Рклубни	Кклубни
Урожайность	1,00	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Масса клубней с куста	0,74*	1,00	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Крахмал	-0,60	-0,32	1,00	–	–	–	–	–	–	–	–
Сухое вещество	-0,48	-0,17	0,68	1,00	–	–	–	–	–	–	–
Нитраты	0,47	0,40	-0,30	-0,25	1,00	–	–	–	–	–	–
Нцвет	0,53	0,46	-0,14	-0,08	0,44	1,00	–	–	–	–	–
Рцвет	0,18	0,12	-0,13	-0,09	-0,34	0,42	1,00	–	–	–	–
Кцвет	0,38	0,11	-0,51	-0,76	0,37	0,13	-0,04	1,00	–	–	–
Нклубни	0,59	0,38	-0,31	-0,45	0,59	0,56	0,12	0,29	1,00	–	–
Рклубни	-0,13	-0,24	-0,04	-0,20	-0,44	-0,03	0,57	0,01	0,11	1,00	–
Кклубни	0,46	0,20	-0,68	-0,88	0,23	0,07	0,01	0,83	0,32	0,23	1,00

Примечание: – 0,74* – достоверно при $N = 24$ и $p < 0,05$.

Заключение. Урожайность картофеля сорта Гала зависела как от погодных условий периода вегетации, так и от применения минеральных удобрений. При удовлетворительной обеспеченности влагой в 2020 г. был сформирован более высокий уровень урожайности. В среднем за два года исследований достоверное влияние оказали азотные и калийные удобрения, действием которых можно объяснить 58 % изменчивости показателя по вариантам опыта. Урожайность картофеля определялась массой клубней с куста.

В условиях засушливого 2022 г. был получен более высокий уровень содержания крахмала в клубнях картофеля, чем в 2020 г. При этом в условиях засушливого вегетационного периода отмечено снижение величины показателя при

применении минеральных удобрений. В 2020 г. подобной закономерности не было установлено. Снижение содержания крахмала происходило при применении азотных и калийных удобрений, действием которых можно объяснить только 45 % изменчивости показателя по вариантам опыта. Содержание сухого вещества и нитратного азота увеличивалось в первую очередь при применении азотных удобрений.

Содержание азота в фазу цветения было ниже оптимального уровня и изменялось в диапазоне от 2,65 до 3,53 %. Содержание калия варьировало в широком диапазоне от низкого до избыточного уровня. Содержание фосфора было оптимальным и избыточным.

Список источников

1. Коршунов А.В., Федотова Л.С., Шильников И.А., и др. Экологические аспекты применения удобрений в картофелеводстве России // Достижения науки и техники АПК. 2007. № 7. С. 24–27.
2. Кирюшин В.И. Минеральные удобрения как ключевой фактор развития сельского хозяйства и оптимизации природопользования // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30, № 3. С. 19–25.
3. Иванов А.И., Конашенков А.А. Снижение зависимости земледелия северо-запада России от погодно-климатических аномалий: проблемы и решения // Мелиорация и водное хозяйство. 2018. № 5. С. 32–37.
4. Строков А.С., Макаров О.А., Марахова Н.А., и др. Влияние почвенно-климатических факторов на урожайность основных сельскохозяйственных культур в муниципальных районах Белгородской области // Земледелие. 2019. № 6. С. 21–24. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10605.
5. Минин В.Б., Захаров А.М., Мельников С.П., и др. Особенности продуктивности и качественного состава картофеля, возделываемого по биологизированной технологии в засушливых условиях 2021 года // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 2. С. 126–137.
6. Петрова Л.И., Митрофанов Ю.И., Гуляев М.В., и др. Влияние различных факторов на формирование урожая и качество продукции картофеля // Аграрный вестник Урала. 2021. № 4. С. 34–42.
7. Лекомцева Е.В., Иванова Т.Е., Иванов И.Л., и др. Удобрение картофеля // Картофель и овощи. 2015. № 4. С. 34–35.
8. Скрябин А.А. Влияние доз азотных удобрений и нормы посадки на засоренность, урожайность и качества раннеспелого картофеля сорта Розалинд в Предуралье // Таврический научный обозреватель. 2017. № 6. С. 132–137.
9. Сергеева А.Н., Скрябин А.А., Елисеев С.Л. Урожайность раннеспелых сортов картофеля в зависимости от дозы азотного удобрения и нормы посадки // Пермский аграрный вестник. 2019. № 1. С. 69–75.
10. Казак А.А., Логинов Ю.П., Гайзатулин А.С. Экологическая оценка сортов картофеля при выращивании по разным предшественникам в северной лесостепи Тюменской области // Вестник КрасГАУ. 2021. № 1. С. 85–93.
11. Демиденко Г.А. Качественная характеристика клубней картофеля в зависимости от применения минеральных удобрений // Вестник КрасГАУ. 2021. № 10. С. 209–215.
12. Владимиров В.П., Чекмарев П.А., Владимиров К.В. Продуктивность картофеля в зависимости от густоты посадки и фона питания на серых лесных почвах лесостепи Среднего Поволжья // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31, № 12. С. 40–43.

13. Шлык Д.П., Шаповалов В.Ф., Корнев В.Б., и др. Эффективность комплексного применения средств химизации при возделывании картофеля в условиях радиоактивного загрязнения // Плодородие. 2015. № 3. С. 37–40.
14. Перегудов В.Н. Проведение многофакторных опытов с удобрениями и математический анализ их результатов: методические указания. М.: ВИУА, 1976. 112 с.
15. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур: Вып. 4: Картофель, овощные и бахчевые культуры. Москва, 1975. 183 с.
16. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справочник. М.: Агропромиздат, 1990. 235 с.

References

1. Korshunov AV, Fedotova LS, Shil'nikov IA, et al. E`kologicheskie aspekty` primeneniya udobrenij v kartofelevodstve Rossii *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2007;7:24-27. (In Russ.).
2. Kiryushin VI. Mineral Fertilizers as the Key Factor of Agriculture Development and Optimization of Nature Management. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2016;30:19-25. (In Russ.).
3. Ivanov AI, Konashenkov AA. Reduce the dependency of the agriculture of the north-west of russia from weather and climate anomalies: problems and solutions. *Melioration and Water Management*. 2018;5:32-37. (In Russ.).
4. Stokov AS, Makarov OA, Marakhova NA, et al. Influence of soil and climatic factors on productivity of main agricultural crops in municipal districts of the Belgorod region. *Zemledelie*. 2019;6:21-24. (In Russ.). DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10605.
5. Minin VB, Zakharov AM, Melnikov SP, et al. Peculiarities of productivity and quality of potatoes cultivated by biology-based technology in arid conditions of 2021. *AgroEcoEngineering*. 2022;2:126-137. (In Russ.). DOI: 10.24412/2713-2641-2022-2111-126-136.
6. Petrova LI, Mitrofanov Yul, Gulyaev MV, et al. Influence of various factors on crop formation and potato quality. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021;4:34-42. (In Russ.). DOI: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-34-42.
7. Lekomtseva EV, Ivanova TE, Ivanov IL, et al. Fertilizing of potato. *Kartofel` i ovoshhi*. 2015;4:34-35. (In Russ.).
8. Skriabin AA. The effect of doses of nitrogen fertilizer and rate of planting on weed infestation, yield and quality of early maturing potato varieties Rosalind in Preduralie. *Tavrisheskij nauchnyj obozrevatel`*. 2017;6:132-137. (In Russ.).
9. Sergeeva AN, Skryabin AA, Eliseev SL. Yield of early ripe potato varieties depending on the dose of nitrogen fertilizer and norm of landing. *Perm Agrarian Journal*. 2019;1:69-75. (In Russ.).
10. Kazak AA, Loginov YuP, Gayzatulin AS. Environmental assessment potato varieties in growing according to various predecessors in the northern forest-steppe of the Tyumen Region. *Bulletin of KSAU*. 2021;1:85-93. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2021-1-85-93.
11. Demidenko GA. Potato tubers qualitative characteristics depending on the mineral fertilizers application. *Bulletin og KSAU*. 2021;10:209-215. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2021-10-209-215.
12. Vladimirov VP, Chekmarev PA, Vladimirov KV. Potato productivity depending on planting density and nutrition background on gray forest soils of the forest-steppe of the Middle Volga Region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2017;31:40-43. (In Russ.).
13. Shlyk DP, Shapovalov VF, Korenev BV, et al. Efficiency of the integrated application of chemicals at the growing of potato under radioactive contamination. *Plodorodie*. 2015;3:37-40. (In Russ.).
14. Peregudov VN. *Provedenie mnogofaktornykh opytov s udobreniyami i matematicheskij analiz ih rezultatov: metodicheskie ukazaniya*. Moscow: VIUA; 1976. 112 p. (In Russ.).
15. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. V. 4: Kartofel', ovoshhnye i bahchevye kultury*. Moscow; 1975. 183 p. (In Russ.).
16. Cerling VV. *Diagnostika pitaniya sel'skokhozyajstvennykh kultur: spravochnik*. Moscow: Agropromizdat; 1990. 235 p. (In Russ.).

Информация об авторах:

Данил Глебович Шишков, научный сотрудник лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве

Марина Тагирьяновна Васбиева, ведущий научный сотрудник лаборатории агротехнологий, доктор биологических наук

Венера Рафхатовна Ямалтдинова, старший научный сотрудник лаборатории агротехнологий, кандидат сельскохозяйственных наук

Диана Рафисовна Сафиуллина, младший научный сотрудник лаборатории агробиофотоники

Information about the authors:

Information about the authors:

Danil Glebovich Shishkov, Researcher, Laboratory of Precision Technologies in Agriculture

Marina Tagiryanovna Vasbieva, Leading Researcher, Laboratory of Agricultural Technologies, Doctor of Biological Sciences

Venera Rafkhatovna Yamaltdinova, Senior Researcher, Laboratory of Agricultural Technologies, Candidate of Agricultural Sciences

Diana Rafisovna Safiullina, Junior Researcher, Laboratory of Agrobiophotonics

