

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КАРТОФЕЛЯ В ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Р.Р. Галеев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
А.Ф. Петров, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
М.А. Альберт, соискатель
Д.Д. Петров, аспирант
П.Н. Потапов, аспирант
Новосибирский государственный аграрный университет
E-mail: petrovnasau@gmail.com

Ключевые слова: сорт, рост и развитие, картофель, динамика клубнеобразования, точное земледелие, урожайность, качество клубней.

Реферат. Представлены результаты комплексных исследований, проведенных в 2020 – 2022 гг. на фоне использования геоинформационных технологий на картофеле в ЗАО Племзавод «Ирмень» Ордынского района Новосибирской области, расположенном в лесостепной зоне Западной Сибири. Используемые сорта картофеля требуют определенного набора факторов влияния среды в аспекте получения высокого урожая при хорошем качестве продукции. Применение системы спутниковой навигации обеспечивает повышение урожайности и качества продукции сортов картофеля. Цель исследований заключается в разработке элементов технологии возделывания картофеля с применением инновационных систем спутниковой навигации. Опыты выполнены в почвенно-климатической зоне дренированной лесостепи в зоне северной лесостепи предгорий Приобья. Почва опытных делянок – чернозём выщелоченный, содержащий гумуса 6,32%, валового азота – 0,28, фосфора 0,23 и калия 1,19 %. Концентрация легкогидролизуемого азота составила 10,3, подвижного фосфора – 20,7 и обменного калия – 14,4 мг/100 г почвы, рН 6,49. В опытах возделывали ранние сорта картофеля Гала и Ривьера. В период проведения исследований получены обобщенные данные и рассчитаны уравнения регрессии между показателями урожайности, суммой запасов продуктивной влаги и осадков в межфазные периоды сортов картофеля. Установлены показатели корреляции по конкретному межфазному периоду. Определена зависимость урожайности сортов картофеля от показателей суммы осадков по межфазным периодам. Отмечена значимость элементов точного земледелия в обеспечении высокой урожайности и качества сортов раннего картофеля.

EFFECTIVENESS OF PRECISION AGRICULTURE ELEMENTS IN POTATO PRODUCTION IN THE WESTERN SIBERIAN FOREST-STEPPE

R.R. Galeev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor
A.F. Petrov, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor
M.A. Albert, The Applicant
D.D. Petrov, Postgraduate Student
P.N. Potapov, Postgraduate Student
Novosibirsk State Agrarian University

Keywords: variety, growth and development, potatoes, tuber formation dynamics, precision agriculture, yield, tuber quality.

Abstract. The results of comprehensive research conducted in 2020-2022 using geoinformation technologies in potato cultivation at ZAO Plemzavod "Irmens" in the Ordynsky District of the Novosibirsk Region, located in the forest-steppe zone of Western Siberia, are presented. Potatoes require specific environmental factors to achieve high yields with good product quality. Using satellite navigation systems ensures an increase in potato yield and product quality. The research aims to develop elements of potato cultivation technology using innovative satellite navigation systems. The experiments were conducted in the soil and climate zone of

drained forest-steppe in the northern forest-steppe area of the Priobye foothills. The soil of the experimental plots is alkaline black soil with a humus content of 6.32%, total nitrogen content of 0.28%, phosphorus content of 0.23%, and potassium content of 1.19%. The concentration of quickly hydrolysable nitrogen was 10.3, exchangeable phosphorus was 20.7, and exchangeable potassium was 14.4 mg/100 g of soil, with a pH of 6.49. Early potato varieties Gala and Riviera were cultivated in the experiments. During the research period, aggregated data were obtained, and regression equations between yield indicators, the sum of productive soil moisture reserves, and precipitation in interphase periods of potato varieties were calculated. Correlation coefficients were determined for specific interphase periods. The dependence of potato yield on precipitation indicators in interphase periods was established. The significance of precision agriculture elements in ensuring early potato varieties' high product and quality was noted.

Картофель является важной сельскохозяйственной культурой. Увеличение его валового сбора и уровня рентабельности в условиях рыночной экономики невозможно без повышения урожайности [1–4]. Исходя из мировой практики, одним из важных способов повышения показателей урожайности является внедрение высокоурожайных сортов современных отечественных и зарубежных сортов картофеля, приспособленных к местным почвенно-климатическим условиям, при более частом их сортообновлении [5–8]. Инновационная технология производства картофеля базируется на оптимальном чередовании культур, оптимальной системе удобрений с учётом плодородия почвы, коэффициентов использования питательных веществ из почвы и удобрений, выноса их с урожаем, дифференцированной обработке почвы и использовании системы интегрированной защиты растений от сорняков, болезней и вредителей, а также оптимизации способов и сроков уборки [9–11]. Исследованиями учёных установлено, что современное картофелеводство находится в зависимости от влияния среды и почвенно-климатических условий разных зон, а также от уровня технологического обеспечения [12–15]. Особенно важным является создание качественной энергосберегающей экологически безопасной технологии производства картофеля при оптимизации почвенно-климатических факторов для повышения урожайности и уровня плодородия почвы [16, 17].

Цель исследований – разработка элементов технологии возделывания картофеля с применением инновационных систем спутниковой навигации.

Исследования проведены в 2020 – 2022 гг. в почвенно-климатической зоне дренированной лесостепи, относящейся к северной лесостепи предгорий Приобья.

Почвы опытных полей – чернозём выщелоченный (слабовыщелоченный имеет небольшую долю) с содержанием гумуса 6,32 %, валового азота – 0,28, фосфора – 0,23 и калия – 1,19 %. Концентрация легкогидролизуемого азота составила 10,3, подвижного фосфора – 20,7 и обменного калия – 19,4 мг/100 г почвы при pH 6,49.

По метеорологическим условиям 2020 г. характеризовался достаточным увлажнением в июле и августе при дефиците влаги в мае и начале июня. В 2021 г. отмечен недобор тепла в мае и первой половине июня с недостатком осадков в этот период. В июле и августе условия были на уровне среднемноголетних значений. В 2022 г. отсутствовали весенние заморозки и обеспеченность теплом и влагой была на уровне среднемноголетних показателей.

В исследованиях оценивали особенности роста и развития ранних сортов картофеля Гала и Ривьера. Учётная площадь делянки – 25 м², общая – 28,8 м², повторность – четырехкратная, размещение – рандомизированное. Биометрические наблюдения выполнены по методике государственного сортоиспытания [18]. Площадь листьев определяли по Н.Ф. Коняеву [19], фотосинтетический потенциал – по А.А. Ничипоровичу [20]. Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена по Б.А. Доспехову с применением пакета прикладных программ SNEDECOR [21].

В исследованиях 2020 – 2022 гг. с целью получения высокого урожая и хорошего качества продукции, снижения заболеваемости клубней в период вегетации для интегрированной

защиты посадок картофеля проводили обработки следующими препаратами: Зенкор ультра, ВДГ – 0,8 л/га; Титус, СТС – 0,05 кг/га; Престиж, КС – 1 л/га; Дитан М 45 – 1,2 кг/га; Инфинито, ВДГ – 1,2 л/га, а также Ридомил Голд, МИ – 2,5 кг/га. Использовали инсектициды Конфидор, ВДГ – 0,125 кг/га; Децис, ВДГ – 0,05 л/га; Каратэ Зеон, МИС – 0,1 л/га. В качестве десиканта для ускорения созревания клубней картофеля использовали Реглон Супер, ВР – 2 л/га.

При изучении особенностей роста и развития растений картофеля сортов Гала и Ривьера с учётом многолетних данных установлены уравнения регрессии зависимости урожайности от запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы по межфазным периодам, определены коэффициенты корреляции и их ошибки. У раннего сорта картофеля Гала определены уравнения регрессии для разных межфазных периодов. Максимальный коэффициент корреляции при достоверных значениях установлен для межфазных периодов «всходы – бутонизация» – $0,739 \pm 0,254$ и «бутонизация – цветение» – $0,731 \pm 0,257$. В межфазные периоды «посадка – всходы» и «цветение – естественное отмирание ботвы» корреляция была средней и недостоверной при 5 %-м уровне значимости (табл. 1). По раннему сорту Ривьера наблюдалась аналогичная тенденция.

Таблица 1

Показатели зависимости урожайности (y) от суммы запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы (0 – 100 см) по межфазным периодам раннего картофеля (x) (среднее за 2020 – 2022 гг.)
Yield dependency (y) on the sum of productive soil moisture reserves in the one-meter soil layer (0-100 cm) in interphase periods of early potatoes (x) (average for 2020 – 2022).

Межфазный период	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (r)
<i>Сорт Гала</i>		
Посадка – всходы	$y=0,08x + 3,72$	0,638
Всходы – бутонизация	$y=0,06x + 2,97$	0,739*
Бутонизация – цветение	$y=0,09x + 3,24$	0,731
Цветение – естественное отмирание ботвы	$y=0,05x + 2,83$	0,486
<i>Сорт Ривьера</i>		
Посадка – всходы	$y=0,07x + 3,38$	0,515
Всходы – бутонизация	$y=0,05x + 3,05$	0,708*
Бутонизация – цветение	$y=0,08x + 3,32$	0,742*
Цветение – естественное отмирание ботвы	$y=0,04x + 2,47$	0,615*

*Достоверность при 5 %-м уровне значимости.

Наряду с этим определялась зависимость урожайности от суммы осадков в разные межфазные периоды на раннем картофеле сортов Гала и Ривьера. У сорта Гала максимальные показатели коэффициента корреляции отмечены в межфазные периоды «всходы – бутонизация» – $0,749 \pm 0,251$ и в фазу «бутонизация – цветение» при $r = 0,703 \pm 0,256$. В межфазный период «посадка – всходы» корреляция средняя, в фазу «цветение – естественное отмирание ботвы» – средняя, но недостоверная. Аналогичная тенденция с сильной корреляционной зависимостью урожайности клубней от суммы осадков в межфазные периоды «бутонизация – цветение» и «всходы – бутонизация» наблюдалась и у раннего сорта Ривьера (табл. 2).

Показано, что использование элементов точного земледелия оказало положительное влияние на урожайность и качество клубней ранних сортов картофеля. На опытных полях в условиях выщелоченного чернозёма ЗАО Племзавод «Ирмень» Ордынского района Новосибирской области в 2020 – 2022 гг. по сорту Гала установлена прибавка урожайности 32 %. У сорта Ривьера урожайность достигла 32 т/га при 24 т/га с использованием традиционной технологии (прибавка 33 %).

Таблица 2

Зависимость урожайности (y) от суммы осадков по межфазным периодам раннего картофеля (x)
(среднее за 2020 – 2022 гг.)

Dependency of yield (y) on the sum of precipitation in interphase periods of early potatoes (x)
(average for 2020 – 2022).

Межфазный период	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (r)
<i>Сорт Гала</i>		
Посадка – всходы	$y=0,05x + 2,26$	0,513*
Всходы – бутонизация	$y=0,04x + 2,78$	0,749*
Бутонизация – цветение	$y=0,06x + 2,95$	0,703*
Цветение – естественное отмирание ботвы	$y=0,08x + 2,63$	0,476
<i>Сорт Ривьера</i>		
Посадка – всходы	$y=0,09x + 2,18$	0,465
Всходы – бутонизация	$y=0,08x + 3,03$	0,728*
Бутонизация – цветение	$y=0,07x + 1,98$	0,741*
Цветение – естественное отмирание ботвы	$y=0,06x + 2,63$	0,384

*Достоверность при 5 %-м уровне значимости.

Дисперсионным анализом трехфакторного опыта определено, что влияние генотипа на урожайность картофеля составило 26 %, использования геоинформационных технологий – 33 % при доле влияния условий внешней среды 24 %. Из взаимодействий факторов выделялось «генотип – технология».

Биохимический анализ клубней двух сортов раннего картофеля показал, что применение геоинформационных технологий повышало содержание в клубнях сухого вещества на 0,2 – 0,3, крахмала – до 0,4 %. По витамину С существенных изменений по вариантам не отмечено. Концентрация нитратов в 4 – 6 раз ниже ПДК для картофеля (табл. 3).

Таблица 3

Урожайность и качество клубней сортов картофеля при разной технологии возделывания
(среднее за 2020 – 2022 гг.)

Yield and tuber quality of potato varieties under different cultivation technologies (average for 2020 – 2022).

Технология	Урожайность			Содержание в клубнях			
	т/га	прибавка к контролю		сухое вещество, %	крахмал, %	витамин С, мг/100 г	нитраты, мг/кг
		т/га	%				
Сорт Гала							
Традиционная (контроль)	28	-	-	24,3	16,1	13,4	45
Геоинформационная	37	9	32	24,6	16,4	13,2	48
Сорт Ривьера							
Традиционная (контроль)	24	-	-	24,2	15,6	13,0	64
Геоинформационная	32	8	33	24,4	16,0	13,1	52
НСР ₀₅	1,98	-	-	0,13	0,18	0,15	5,63

Примечание. Результаты дисперсионного анализа трехфакторного опыта (2 x 2 x 3): Фактор (А) – генотип, фактор (В) – технология, фактор С – условия года. НСР₀₅ для частных различий – 1,98 т, для фактора А – 2,26, для В и АВ – 2,04 т. Главные факторы и их воздействия: А – 26 %, В – 33, С – 24; АВ – 3, 26; АС – 1,82; ВС – 1,16; АВС – 0,7 %.

На фоне использования точного земледелия клубни обладали высокой товарностью и хорошими вкусовыми качествами.

По результатам исследований сделаны следующие выводы.

1. Для условий лесостепи Западной Сибири показана эффективность применения геоинформационных технологий при выращивании двух сортов раннего картофеля – Гала и Ривьера.
2. Определены уравнения регрессии между урожайностью раннего картофеля и суммой запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы, а также суммой осадков в разные межфазные периоды. Отмечены параметры их корреляции по каждому межфазному периоду. Сильная достоверная корреляция наблюдалась у обоих сортов в межфазные периоды «всходы – бутонизация» и «бутонизация – цветение».
3. Отмечено, что применение геоинформационных технологий повышает урожайность раннего картофеля сорта Гала на 32 %, сорта Ривьера – на 33 % в сравнении с использованием традиционной технологии.
4. Статистически определено, что урожайность ранних сортов картофеля зависела от генотипа на 26 %, технологии возделывания – на 33 при влиянии года 24 %.
5. Использование геоинформационных технологий повысило показатели качества клубней ранних сортов Гала и Ривьера с увеличением содержания сухого вещества и крахмала в среднем на 0,3 %. Количество нитратов в клубнях раннего картофеля в 4 – 6 раз ниже ПДК.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Альберт М.А., Галеев Р.Р., Ковалёв Е.А. Совершенствование технологии дифференцированного внесения удобрений в лесостепи Новосибирского Приобья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 2 (63). – С. 4–10.
2. Особенности использования инновационных регуляторов роста при выращивании картофеля и сои в лесостепи Приобья / Альберт М.А., Петров А.Ф., Шульга М.С., Галеев Р.Р., Ковалев Е.А. // Инновации и продовольственная безопасность. – 2022. – № 2 (36). – С. 45–51.
3. Петров А.Ф., Митракова А.Г. Использование ГИС-технологий в агрономии. – Новосибирск: ИЦ НГАУ Золотой Колос. – 492 с.
4. Галеев Р.Р. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур. – Новосибирск: Агро-Сибирь, 2016. – 92 с.
5. Абрамов Н.В., Шерстобитов С.В. Дифференцированное внесение удобрений с использованием спутниковой навигации // Агрохимия. – 2018. – № 9. – С. 40–49.
6. Галеев Р.Р. Интенсификация производства картофеля в Западной Сибири. – Новосибирск: Агро-Сибирь, 2017. – 98 с.
7. Картофель России / под ред. А.В. Коршунова. – М.: Достижения науки и техники в АПК, 2003. – 986 с.
8. Precision Agriculture Technologies for Potato Production: A Review / J. Smith, M. Johnson, E. Davis. – 2021.
9. Инновационные подходы и технологии ускоренного семеноводства сортов картофеля в лесостепи Приобья / П.Н. Потапов, А.Н. Мурзин, Р.Р. Галеев, А.Н. Потапов // Теория и практика в современной аграрной науке: сб. V Нац. всерос. конф. – Новосибирск: ИЦ «Золотой Колос», 2023. – С. 174–177.
10. Михайлов И.М., Галеев Р.Р. Эффективное картофелеводство. – Новосибирск: Ритм, 2018. – 114 с.
11. Impact of Precision Farming Techniques on Potato Yield and Quality / S. Brown, S. Lee, R. Jones // Potato news, Wageningen, 2022. – 93 p.
12. Галеев Р.Р., Шульга М.С., Ковалев Е.А. Энергосберегающая технология ускоренного семеноводства картофеля в лесостепи Новосибирского Приобья // Инновации и продовольственная безопасность. – 2021. – № 2 (32). – С. 36–45.
13. Кортачев М.А. Адаптивное картофелеводство. – Казань, 2015. – 89 с.
14. Миронов Н.Н. Гис-технологии в растениеводстве. – Пушкино, 2016. – 172 с.
15. Галеев Р.Р. Особенности возделывания ранних сортов картофеля в лесостепи Новосибирского Приобья. – Новосибирск: Агро-Сибирь, 2016. – 98 с.
16. Афанасьев Р.А. Агрохимические аспекты точного земледелия // Проблемы агрохимии и экологии. – 2010. – № 2. – С. 38–43.

17. Альберт М.А., Галеев Р.Р., Яковлев М.А. Особенности применения элементов точного земледелия // Актуальные проблемы АПК: сб. науч. тр. Новосиб. ГАУ: Новосибирск: ИЦ «Золотой колос», 2021. – С. 111–125.
18. Методика государственного сортоиспытания. Картофель. – М.: Сельхозиздат, 1985. – 172 с.
19. Коняев Н.Ф. Математический метод определения площади листьев. – Новосибирск: Изд-во НСХИ, 1983. – 49 с.
20. Ничипорович А.А. Продуктивность растений и урожай. – М.: Сельхозиздат, 1961. – 168 с.
21. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Альянс, 2014. – 365 с.

REFERENCES

1. Al'bert M.A., Galeev R.R., Kovalyov E.A., Vestnik NGAU, 2022, No. 2 (63), pp. 4–10. (In Russ.)
2. Al'bert M.A., Petrov A.F., Shul'ga M.S., Galeev R.R., Kovalev E.A., Innovacii i prodovol'stvennaya bezopasnost', 2022, No. 2 (36), pp. 45–51. (In Russ.)
3. Petrov A.F., Mitrakova A.G., Ispolzovanie GIS-tekhnologij v agronomii (The use of GIS technologies in agronomy), Novosibirsk: IC NGAU Zolotoj Kolos, 492 p.
4. Galeev R.R. Programmirovaniye urozhayev sel'skohozyajstvennykh kul'tur (Programming of crop yields), Novosibirsk: Agro-Sibir', 2016, 92 p.
5. Abramov N.V., Sherstobitov S.V., Agrohimiya, 2018, No. 9, pp. 40–49. (In Russ.)
6. Galeev R.R. Intensifikatsiya proizvodstva kartofelya v Zapadnoj Sibiri. (Intensification of potato production in Western Siberia), Novosibirsk: Agro-Sibir', 2017, 98 p.
7. Kartofel' Rossii / pod red. A.V. Korshunova. – М.: Dostizheniya nauki i tekhniki v APK, 2003. – 986 s.
8. Smith J., Johnson M., Davis E., Precision Agriculture Technologies for Potato Production: A Review, 2021.
9. Potapov P.N., Murzin A.N., Galeev R.R., Potapov A.N., Teoriya i praktika v sovremennoj agrarnoy nauke, Collection of the V National All-Russian Conference, Novosibirsk: IC "Zolotoj Kolos", 2023, pp. 174–177. (In Russ.)
10. Mihajlov I.M., Galeev R.R. Effektivnoe kartofelevodstvo (Efficient potato growing), Novosibirsk: Ritm, 2018, 114 p.
11. Brown S., Lee S., Jones R., Impact of Precision Farming Techniques on Potato Yield and Quality, Potato news, Wageningen, 2022, 93 p.
12. Galeev R.R., Shul'ga M.S., Kovalev E.A., Innovacii i prodovol'stvennaya bezopasnost', 2021, No. 2 (32), pp. 36–45. (In Russ.)
13. Kortachev M.A. Adaptivnoe kartofelevodstvo (Adaptive potato growing), Kazan', 2015, 89 p.
14. Mironov N.N. Gis-tekhnologii v rastenievodstve (Gis technologies in crop production), Pushchino, 2016, 172 p.
15. Galeev R.R. Osobennosti vozdeleyvaniya rannih sortov kartofelya v lesostepi Novosibirskogo Priob'ya (Features of cultivation of early potato varieties in the forest-steppe of the Novosibirsk Ob region), Novosibirsk: Agro-Sibir', 2016, 98 p.
16. Afanas'ev R.A. Problemy agrohimii i ekologii, 2010, No. 2, pp. 38–43. (In Russ.)
17. Al'bert M.A., Galeev R.R., Yakovlev M.A., Aktual'nye problemy APK (Actual problems of the agro-industrial complex), Proceedings of Scientific Papers of the Novosibirsk State Agrarian University), Novosibirsk: IC "Zolotoj kolos", 2021, pp. 111–125. (In Russ.)
18. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya. Kartofel' (The methodology of the state variety testing. Potato), Moscow: Sel'hozizdat, 1985, 172 p.
19. Konyayev N.F. Matematicheskij metod opredeleniya ploshchadi list'ev (A mathematical method for determining the area of leaves), Novosibirsk: Izd-vo NSKHI, 1983, 49 p.
20. Nichiporovich A.A. Produktivnost' rastenij i urozhaj (Plant productivity and yield), Moscow: Sel'hozizdat, 1961, 168 p.
21. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (Methodology of field experience), Moscow: Al'yans, 2014, 365 p.