

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 635.21:631.5


DOI: 10.26897/2687-1149-2021-4-14-20

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ КАРТОФЕЛЯ – ПЕРЕДПОСЫЛКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРОНОВ**СТАРОВОЙТОВ ВИКТОР ИВАНОВИЧ**, *д-р техн. наук*¹

agronir1@mail.ru

СТАРОВОЙТОВА ОКСАНА АНАТОЛЬЕВНА, *д-р с.-х. наук*¹

agronir2@mail.ru

МАНОХИНА АЛЕКСАНДРА АНАТОЛЬЕВНА , *д-р с.-х. наук*²alexman80@list.ru **ШАБАНОВ НИЗАМ ЭМИРСУЛТАНОВИЧ**, *канд. с.-х. наук*¹

agronir2@mail.ru

ЧАЙКА ВАЛЕРИЯ АЛЕКСАНДРОВНА, *аспирант*¹

agronir2@mail.ru

¹ Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха; 140051, Российская Федерация Московская область, Люберецкий район, п. Красково, ул. Лорха, д. 23, литер В² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, Москва, Тимирязевская ул., 49

Аннотация. Применение микроэлементов в виде хелатного удобрения может повысить урожайность и лежкость клубней картофеля. При обработке посадок после смыкания ботвы тракторным агрегатом возможно сильное повреждение растений колесами трактора. В таком случае целесообразно использовать дроны. Целью исследований являлась сравнительная оценка влияния инновационных препаратов, содержащих серу и микроэлементы (Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, Co, B) в хелатной форме, и препарата Акварин-12 на урожайность и лежкость клубней картофеля сортов Удача и Колобок, а также предварительный расчёт ширины распыла (захвата) при опрыскивании посадок картофеля данными препаратами с помощью дрона. Исследования проводили в 2018-2019 гг. на дерново-подзолистой супесчаной почве. Опыт выполняли в соответствии с требованиями методики полевого опыта и методики исследований по культуре картофеля. Опыт был заложен согласно схеме, методом систематического размещения делянок в четырехкратной повторности с густотой посадки 44,4 тыс. кустов/га, шириной междурядий 75 см. Установлено, что применение испытуемых препаратов позволило повысить урожайность на 3,4...8,7 т/га (12...37%) и снизить общие потери при хранении на 1,6...2,3%. Рассчитано, что при высоте полёта дрона 9 м величина ширины распыла или ширины захвата опрыскивания составила 10,4 м. При проведении полевых испытаний на поле площадью 120×20 м с высотой растений до 1,0 м дрон справился с задачей за 15 мин (включая дозаправку). Существенная прибавка урожайности и снижение общих потерь при хранении подтверждают целесообразность использования при выращивании картофеля препаратов с микроэлементами в хелатной форме.

Ключевые слова: картофель, микроэлементы в хелатной форме, урожайность, потери при хранении, опрыскивание посадок с помощью дрона.

Формат цитирования: Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Манохина А.А., Шабанов Н.Э., Чайка В.А. Применение микроэлементов при выращивании картофеля – передпосылки использования дронов // Агроинженерия. 2021. № 4(104). С. 14-20. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-4-14-20.

© Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Манохина А.А., Шабанов Н.Э., Чайка В. А., 2021



ORIGINAL PAPER


APPLICATION OF TRACE ELEMENTS IN POTATO CULTIVATION – PREREQUISITES FOR THE USE OF DRONES**VIKTOR I. STAROVOITOV**, *DSc (Eng)*¹

agronir1@mail.ru

OXSANA A. STAROVOITOVA, *DSc (Ag)*¹

agronir2@mail.ru

ALEKSANDRA A. MANOKHINA , DSc (Ag)²

alexman80@list.ru 

NIZAM T. SHABANOV, PhD (Ag)¹

agronir2@mail.ru

VALERIYA A. CHAYKA, postgraduate student¹

agronir2@mail.ru

¹ Russian Centre for Potato Research (RCPR); 23, liter V, Lorkha str., Kraskovo, Lyubertsy district, Moscow region, 140051, Russian Federation

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

Abstract. The use of trace elements in the form of a chelated fertilizer can increase the yield and shelf life of potato tubers. When processing plantings with a tractor unit after closing the tops, severe damage to the plants by the tractor wheels is likely to be caused. In this case, it is advisable to use drones. The aim of the study was to make a comparative assessment of the effect of innovative preparations: sulfur-containing and containing trace elements in chelated form: Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, Co, B, and the Aquarin-12 preparation on the yield and shelf life parameters of potato tubers of the Udacha and Kolobok varieties, as well as to perform preliminary calculations of the spray (capture) width when spraying potato plantings with a drone. The studies were conducted in 2018-2019 on sod-podzolic sandy loam soil. The experiment was carried out according to the requirements of the field experiment and potato research methodology. The experiment was laid out according to the scheme, by the method of systematic placement of plots in four-fold repetition with a planting density of 44.4 thousand bushes/ha and the inter-row width of 75 cm. The use of the tested preparations allowed increasing the yield by 3.4...8.7 t/ha (12...37%) and reducing the total storage losses by 1.6...2.3%, especially in a good weather year. According to the calculations performed, it turned out that at the height of the drone flight of 9 m, the value of the spraying width or the sprayer's operating width was 10.4 m. When conducting field tests on potato plantings in a field of 120x20 meters with a plant height of up to 1.0 m, the drone performed that task in 15 minutes (including refueling). A significant increase in yield and a reduction in total losses during storage confirm the feasibility of using preparations with trace elements in a chelated form when growing potatoes.

Key words: potatoes, chelated trace elements, yield, storage losses, drone-based spraying of crops.

For citation: Starovoitov V.I., Starovoitova O.A., Manokhina A.A., Shabanov N.T., Chayka V.A. Application of trace elements in potato cultivation – prerequisites for the use of drones. *Agricultural Engineering*, 2021; 4 (104): 14-20. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-4-14-20.

Введение. Картофель относится к числу важнейших сельскохозяйственных культур. Современные технологии выращивания сельскохозяйственных культур имеют своей целью получение максимальных урожаев с хорошей лёжкостью. Для достижения поставленных задач необходимо использовать все резервы повышения продуктивности растений, что требует продолжить поиск новых элементов технологии выращивания¹.

Известно, что при длительном дефиците влаги и высокой температуре внесение удобрений может дать даже отрицательный эффект и стать причиной снижения урожая. Это нужно учитывать, решая вопрос о целесообразности подкормки картофеля².

Применение внекорневых подкормок микроэлементами в виде хелатного удобрения может дать значимую прибавку урожайности [1-4].

Применение серосодержащих удобрений позволяет увеличить урожайность сельскохозяйственных культур, особенно выращиваемых на почвах легкого гранулометрического состава с низким содержанием гумуса, а также сократить объемы применяемых пестицидов, содержащих

серу³. Содержащие серу удобрения способствуют более интенсивному поступлению азота, фосфора, калия, кальция, магния, серы и ряда микроэлементов в картофеле^{3,4}.

Обеспеченность марганцем определяет рост и морфогенез органов картофеля^{3,5}, в то же время высокие концентрации марганца в питательной среде подавляют поглощение других микроэлементов⁶.

Дефицит железа негативно влияет на метаболизм растений и вызывает экономические потери по причине снижения качества и количества урожая сельхозкультур^{3,7}.

Цинк входит в состав ферментов и витаминов, регулирует углеводный и белковый обмен в растениях картофеля и положительно влияет на образование хлорофилла^{3,8}. Внесение цинка в почву усиливает поступление в растения картофеля азота, калия, марганца, молибдена³.

³ Анспок П.И. Микроудобрения. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Агропромиздат, Ленингр. отделение, 1990. 272 с.

⁴ Новиков Н.Н. Биохимические основы формирования качества продукции растениеводства: Учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2014. 194 с.

⁵ Власюк П.А., Климовицкая З.М. Физиологическое значение марганца для роста и развития растений. М.: Колос, 1969. 160 с.

⁶ Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.

⁷ Битюцкий Н.П. Необходимые микроэлементы растений: Учебник. СПб.: ДЕАН, 2005. 256 с.

⁸ Шеуджен А.Х. Биогеохимия. Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2003. 1028 с.

¹ Старовойтова О.А., Старовойтов В.И., Мишунов Н.П. и др. Технологии внесения удобрений и применения средств защиты при возделывании картофеля: Аналитический обзор. М., 2020. 84 с.

² Коршунов А.В. Управление урожаем и качеством картофеля. М., 2001. 369 с.

Использование меди способно повышать устойчивость растений к полеганию и неблагоприятным условиям среды⁸. Для повышения устойчивости растений к фитофторозу, снижения поражаемости черной ножкой, паршой и железистой пятнистостью в питательный раствор добавляют медь, которая также ускоряет клубнеобразование³.

Борное голодание растений отрицательно влияет на углеводный и белковый обмен в растениях, сахар и крахмал накапливаются в листьях, отток их в корнеплоды и другие места отложения задерживается. Симптомы борного голодания у картофеля – это повышенная заболеваемость клубней паршой^{7, 8} [5].

Молибден активизирует процессы связывания атмосферного азота клубеньковыми бактериями, живущими на корнях бобовых растений, оказывает положительное влияние на жизнедеятельность свободно живущих азотфиксирующих микроорганизмов, способствует синтезу и обмену белковых веществ в растениях, восстановлению нитратного азота⁹.

Кобальт оказывает влияние на растяжимость тканей клеток в первоначальные фазы развития. Недостаток кобальта в растениях проявляется в замедлении роста растений, пожелтении и хлорозе листьев, укороченном цикле развития культур^{6, 8}.

Для повышения урожайности клубней картофеля актуальными являются исследования по разработке технологии возделывания с использованием микроэлементов в хелатной форме.

В фазу бутонизации картофеля у многих сортов при современных технологиях возделывания происходит смыкание ботвы. При листовой обработке посадок тракторным агрегатом возможно сильное повреждение растений колесами трактора. При больших площадях полей целесообразно использовать современные мини-вертолеты (дроны) [6].

В настоящее время используются современные дроны с навигацией, видеокамерой и устройством, которое может распылять на поля растворы микроудобрений, росторегуляторов и защитных препаратов по команде оператора. Такая техника может использоваться не только для распыления защитных препаратов, но и для контроля за посадкой и своевременным определением срока обработки конкретных участков [7, 8].

Цель исследований: провести сравнительную оценку влияния инновационных препаратов, содержащих серу и микроэлементы в хелатной форме (Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, Co, B) [9] и препарата Акварин-12, на параметры урожайности и лежкости клубней картофеля раннего сорта Удача и среднеспелого сорта Колобок; выполнить предварительные расчёты ширины распыла или ширины захвата при опрыскивании посадок картофеля с помощью дрона.

Методы исследований. Опыт выполняли в соответствии с требованиями методики полевого опыта¹⁰ и методики исследований по культуре картофеля¹¹.

⁹ Катышев М.В. Микроэлементы и микроудобрения. М.: Химия, 1965. 332 с.

¹⁰ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

¹¹ Методика исследований по культуре картофеля. М.: НИИКХ, 1967. 263 с.

Исследования проводили на дерново-подзолистой средне окультуренной по гранулометрическому составу супесчаной почве экспериментальной базы Коренево (Красково) Московской области в 2018-2019 гг.

Почва опытного участка характеризовалась как дерново-подзолистая супесчаная. Перед закладкой опыта почва участка обладала высокой обменной и гидролитической кислотностью ($pH_{KCl} = 4,71$; $Hg = 3,27$ мг-экв/100 г почвы); низкой суммой поглощенных оснований и степенью насыщенности ими ($S = 3,11$ мг-экв/100 г почвы; $V = 48,7\%$); высоким содержанием подвижного фосфора (315 мг/кг почвы) и низким содержанием обменного калия (97 мг/кг почвы); удовлетворительной гумусированностью (1,91% гумуса).

Средняя температура воздуха за вегетационный период составила в 2018 г 18,7°C; в 2019 г. – 17,4°C при норме 16,5°C. Всего осадков за вегетационный период выпало: в 2018 г. – 205,9 мм; в 2019 г. – 292,3 мм при норме 260,5 мм. ГТК 2018 г. составил 0,89 (засушливо) [10]; 2019 г. – 2,1 (влажно) при климатической норме 1,3...1,4.

Осенью выполнили зяблевую вспашку на глубину 18...22 см агрегатом с оборотным плугом. Весной для предпосадочной подготовки почвы выполнили рыхление на глубину 12...15 см машинно-тракторным агрегатом с дисковой тяжёлой бороной. При нарезке гребней перед посадкой и при уходе за посадками дробно-локально внесено минеральное удобрение (16%:16%:16%) в дозе с добавлением калимагнезии $N_{40}P_{40}K_{40}$ (перед посадкой) и $N_{40}P_{40}K_{70}$ (при уходе за посадками) машинно-тракторным агрегатом с пропашным культиватором (фон). Посадку опытных вариантов элитным материалом – непророшенными клубнями средней семенной фракции (размер клубней по наибольшему поперечному сечению – 30...53 мм) раннего сорта картофеля Удача и среднеспелого сорта Колобок – проводили в нарезанные гребни агрегатом с картофелесажалкой с ручной подачей семенных клубней.

Для борьбы с сорняками в фазу полных всходов картофеля применяли два гербицида избирательного действия: действующее вещество Римсульфурон (содержание ДВ – 250 г/кг) и действующее вещество Метрибузин (содержание ДВ – 700 г/кг).

Против вредителей (колорадский жук) провели однократное опрыскивание инсектицидом (действующее вещество Имидаклоприд, содержание ДВ – 700 г/кг).

Против основных болезней (фитофтороз и альтернариоз) выполнены две химические обработки фунгицидом – контактным пестицидом: первая – в период цветения, последующая – через две недели. Действующие вещества: Фамоксадон (250 г/л) и Цимоксанил (250 г/л). Все препараты внесены в рекомендуемой производителем дозе. Расход рабочего раствора составил 300 л/га.

Хранение клубней картофеля осуществляли в сетках, в хранилище при температуре +6...+8°C.

Поисковый опыт был заложен согласно схеме (табл. 1) методом систематического размещения делянок в четырехкратной повторности с густотой посадки 44,4 тыс. кустов/га. Ширина междурядий – 75 см. Площадь учетной делянки составляла в среднем 21 м². Исследования проводились на картофеле раннем сорта Удача и среднеспелом сорта Колобок.

Таблица 1

Схема опыта

Table 1

Experiment methodology

Препарат Preparation	Дозы препаратов / Doses of preparations			
	Перед посадкой before planting	При высоте растений 10...15 см At a plant height of 10...15 cm	Фаза «Бутонизация – начало цветения» «Budding – Early Flowering» phase	Фаза цветения Flowering phase
Контроль / Control	-	-	-	-
Вода / Water	10 л/т	300 л/га	300 л/га	-
Первый препарат / First preparation	10 л/т (30...60 мл препарата на 10 л воды) 10 l/t (30...60 ml of the preparation per 10 l of water)	300 л/га (15...30 мл препарата на 10 л воды) 300 l/ha (15...30 ml of the preparation per 10 l of water)		-
Второй препарат / Second preparation				-
Третий препарат / Third preparation				-
Акварин-12 / Aquarin-12	-	-	-	200...400 мг/га + + вода (300 л/га) 200...400 mg/ha + + water (300 l/ha)

В опыте применяли препараты с микроэлементами в хелатной форме на основе оксиэтилендифосфоновой кислоты (ОЭДФ). По своей структуре ОЭДФ является аналогом неорганического пиродифосфата, одного из важнейших метаболитов в клетке, участвующего как продукт или как субстрат более чем в 60 биохимических реакциях. Хелаты на ее основе можно использовать на почвах с диапазоном показателя pH от 4,5 до 11. Использование хелатных комплексов микроэлементов на основе ОЭДФ наиболее эффективно по сравнению с неорганическими солями микроэлементов³.

Первый препарат (НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА) содержит микроэлемент серу (S) в хелатной форме в количестве не менее 4,0 масс.%; pH 5,5...7,5; плотность 1,2...1,3 г/см³; препаративная форма – водный раствор.

Второй препарат (НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА) содержит микроэлементы в хелатной форме: железо, цинк, марганец, медь, молибден, кобальт, бор (Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, Co, B) в количестве не менее 3...4 масс.% (в пересчете на микроэлементы); pH 8,3...8,5; плотность 1,10...1,15 г/см³; препаративная форма – водный раствор, допускается выпадение небольшого количества осадка.

Третий препарат (НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА) содержит микроэлементы в хелатной форме (Fe, Zn, Cu, Co, B) в количестве не менее 3...4 масс.% (в пересчете на микроэлементы); pH 8,3...8,5; плотность 1,18...1,20 г/см³; препаративная форма – водный раствор, допускается выпадение небольшого количества осадка.

Четвертый препарат «Акварин-12» (эталон) (ОАО «Буйский химический завод») содержит N12P12K35, Mg1,0, S0,7 и микроэлементы: Fe (ДТПА) – 0,054%; Zn (ЭДТА) – 0,014%; Cu (ЭДТА) – 0,01%; Mn (ЭДТА) – 0,042%; Mo – 0,004%; B – 0,02%; pH 5,5...7,5; плотность 1,2...1,3 г/см³; препаративная форма – водный раствор.

Все препараты относятся к 3 классу опасности (умеренно опасный препарат) и совместимы с пестицидами,

другими регуляторами роста растений, а также однокомпонентными и комплексными минеральными макро- и микроудобрениями.

Дрон подобран с модульной конструкцией устройства, обеспечивающей автоматизированное внесение жидких средств химизации с рабочей скоростью полета 10...21 км/ч, высотой обработки 9,0 м, нормой внесения 10...20 л/га.

Результаты исследований. Основным критерием оценки проведенных мероприятий при возделывании культуры является урожайность. В среднем за два года в вариантах с обработкой растений предлагаемыми препаратами отмечена существенная разница по сравнению с контрольными вариантами (табл. 2). При этом по раннему сорту Удача в среднем за 2018-2019 гг. наибольшая урожайность получена в вариантах с применением первого (S в хелатной форме) и второго (Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, Co, B в хелатной форме) препаратов 31,7...32,1 т/га (+8,3...8,7 т/га, или 35...37%), в то время как в вариантах с применением эталонного препарата Акварин-12 получена урожайность 28,8 т/га (+5,4 т/га, или 23%). Урожайность в контрольном варианте составила 23,4 т/га, НСР₀₅ 1,9 (2018 г.) и 5,4 т/га (2019 г.). При более благоприятных метеорологических условиях 2019 г. урожайность в вариантах с применением первого и второго препаратов превышала 40 т/га.

По среднеспелому сорту Колобок в среднем за 2018-2019 гг. наибольшая урожайность получена в вариантах с применением второго (Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, Co, B в хелатной форме) и третьего (Fe, Zn, Cu, Co, B в хелатной форме) препаратов 29,8...31,9 т/га (+3,4...5,5 т/га, или 12...20%). В вариантах с применением препарата Акварин-12 получена урожайность 28,4 т/га (+2,0 т/га, или 7%). Урожайность в контроле составила 26,5 т/га, НСР₀₅ 2,0 (2018 г.) и 3,6 т/га (2019 г.). При более благоприятных метеорологических условиях 2019 г. урожайность в вариантах с применением второго и третьего препаратов превышала 35 т/га.

Таблица 2

Урожайность картофеля в зависимости от испытываемого препарата, т/га

Table 2

Potato yield depending on the tested preparation, t/ha

Сорт Variety	Вариант Option	2018 г.	2019 г.	Среднее Average	± к контр. ± to the control	% к контр. % to the control
Удача Udacha	Контроль / Control	18,8	27,9	23,4	-	-
	Вода / Water	19,3	30,0	24,7	1,3	5
	Первый препарат / First preparation	23,2	40,9	32,1	8,7	37
	Второй препарат / Second preparation	22,8	40,5	31,7	8,3	35
	Третий препарат / Third preparation	22,5	33,0	27,8	4,4	19
	Акварин-12 / Aquarin-12	22,4	35,1	28,8	5,4	23
Среднее / Average		21,5	34,6	-	-	-
НСР ₀₅		1,9	5,4	-	-	-
Колобок Kolobok	Контроль / Control	19,8	33,1	26,5	-	-
	Вода / Water	21,9	30,6	26,3	-0,2	-0,9
	Первый препарат / First preparation	2,0	32,4	28,7	2,3	8
	Второй препарат / Second preparation	24,6	35,0	29,8	3,4	12
	Третий препарат / Third preparation	22,9	40,9	31,9	5,5	20
	Акварин-12 / Aquarin-12	24,0	32,8	28,4	2,0	7
Среднее / Average		23,0	34,1	-	-	-
НСР ₀₅		2,0	3,6	-	-	-
НСР ₀₅ сорт / HCP ₀₅ variety		1,1	0,3	-	-	-

Общие потери при хранении картофеля связаны не только с условиями хранения, но и с качеством заложённых клубней. Регулируя условия, оказывающие влияние на сохранность, можно свести потери к минимуму².

Авторы изучали влияние применения исследуемых препаратов на показатели сохранности клубней картофеля в течение двух осенне-зимних периодов: 2018-2019 гг. и 2019-2020 гг. (рис. 1). Общие потери при хранении включали в себя естественную убыль и потери на отходы (гниль).

Испытуемые препараты положительно повлияли на лежкость клубней при хранении. В среднем за два периода хранения клубней картофеля раннего сорта Удача наименьшие общие потери оказались в вариантах с применением второго и первого препаратов – соответственно 5,44 и 5,85% (в контрольных вариантах – 7,27...7,71%). В среднем по сорту общие потери при хранении составили 6,47%, НСР₀₅ 1,0% (2018-2019 гг.) и 1,37 (2019-2020 гг.). В среднем потери на естественную убыль в контрольном варианте и варианте с обработкой водой без препаратов составили 4,8...6,2%; в вариантах с применением препаратов – 4,3...5,6%. Потери на технические отходы, в том числе ростки и клубни, пораженные фузариозом, в среднем составили в контрольном варианте и в варианте с обработкой водой без препаратов 1,0...2,8%; в вариантах с применением препаратов – 0,2...1,7%.

На среднеспелом сорте Колобок наибольшие общие потери при хранении в среднем оказались в контрольном варианте и в варианте с обработкой водой без препаратов – 6,5...7,0%. Наименьшие общие потери получены в вариантах с применением второго препарата – 4,9%, НСР₀₅ – 1,0 (2018-2019 гг.) и 0,7 (2019-2020 гг.).

На естественную убыль в среднем потери составили в контрольном варианте и варианте с обработкой водой без препаратов 3,2...4,0%, в вариантах с применением препаратов – 2,2...3,5%. Потери на технические отходы, в том числе ростки и клубни, пораженные фузариозом, в среднем составили в контрольном варианте и в варианте с обработкой водой без препаратов 3,0...3,2%, в вариантах с применением препаратов – 2,1...2,6%.

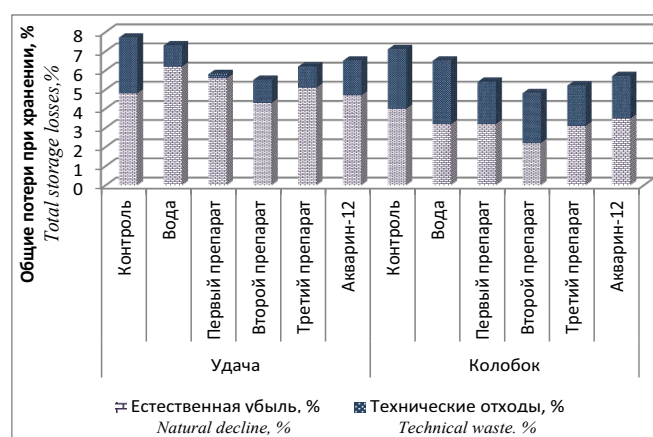


Рис. 1. Потери при хранении картофеля в зависимости от испытываемого препарата (среднее за два периода хранения: 2018-2019 гг. и 2019-2020 гг.), %

Fig. 1. Losses during storage of potatoes depending on the tested preparation (average over two storage periods: 2018-2019 and 2019-2020), %

После получения положительных результатов применения препаратов с микроэлементами в хелатной форме автотракторами был рассмотрен вариант замены машинно-тракторного агрегата беспилотным летательным аппаратом (рис. 2) с прикрепленным к нему баком, содержащим раствор для выполнения внекорневых опрыскиваний посадок. Для этого были проведены предварительные расчеты ширины захвата дрона в зависимости от высоты его полёта и угла распыла форсунки (рис. 3). Распыление из форсунки происходит в виде конуса. Ширина зоны опрыскивания растений зависит от трёх составляющих: угла распыла форсунки, высоты полёта дрона, размера и массы капли.



Рис. 2. На поле одновременно работают и тракторные агрегаты и беспилотные дроны

Fig. 2. Both tractor units and unmanned drones operating the field at the same time

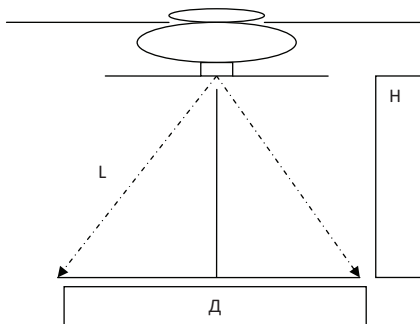


Рис. 3. Схематичное изображение работы опрыскивающего дрона для выполнения расчетов

Fig. 3. Schematic representation of the operation of a spray drone for making an analysis

Поскольку начальная скорость капли, вылетающей из опрыскивателя, является большой, а высота полёта в данном случае небольшая, то для предварительных расчетов достаточно учитывать высоту полёта и угол распыла форсунки:

$$H^2 + (D/2)^2 = L^2, \quad (1)$$

где H – высота полета дрона, м; D – ширина распыла, м; L – длина гипотенузы треугольника, м (рис. 3).

Библиографический список

1. Жевора С.В., Федотова Л.С., Тимошина Н.А. и др. Эффективность регуляторов роста при возделывании

При величине угла 60°

$$L = D; H^2 = L^2 - (D/2)^2; H^2 = D^2 - (D/2)^2; \\ D = \sqrt{4/3H^2}. \quad (2)$$

При высоте полёта $H = 9$ м величина ширины распыла или ширины захвата $D = 10,4$ м.

При проведении испытаний поле картофеля площадью 120×20 м с высотой растений до 1,0 м дрон опрыскал за 15 мин включая дозаправку (рис. 4).



Рис. 4. Полевые испытания опрыскивания растений картофеля дроном (ООО «АгроДрон»)

Fig. 4. Field trials of spraying potato plants with a drone (AgroDron LLC)

Выводы

1. Повышению урожайности раннего сорта Удача в среднем на $8,3 \dots 8,7$ т/га (35...37%) способствовали первый препарат, содержащий серу в хелатной форме, и второй препарат с микроэлементами Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, Co, B в хелатной форме. При благоприятных метеорологических условиях 2019 г. урожайность вариантов с применением первого и второго препаратов превысила 40 т/га.

2. Для среднеспелого сорта Колобок применение второго препарата, содержащего микроэлементы Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, Co, B в хелатной форме, и третьего препарата (Fe, Zn, Cu, Co, B в хелатной форме) позволило увеличить урожайность в среднем на $3,4 \dots 5,5$ т/га (12...20%). При благоприятных метеорологических условиях 2019 г. урожайность вариантов с применением второго и третьего препаратов превышала 35 т/га.

3. Испытуемые препараты положительно повлияли на лежкость клубней при хранении. В среднем за два периода (2018-2019 гг. и 2019-2020 гг.) наименьшие общие потери оказались в вариантах с применением второго препарата – $4,9 \dots 5,4\%$. В контрольных вариантах общие потери составили $6,5 \dots 7,7\%$.

4. Дрон при высоте полёта 9 м, имея ширину захвата опрыскивания 10,4 м, опрыскивает поле площадью 120×20 м с высотой растений картофеля до 1,0 м за 15 мин включая дозаправку.

References

1. Zhevora S.V., Fedotova L.S., Timoshina N.A., Knyazeva E.V. Effektivnost' regulyatorov rosta pri vzdelyvanii

вании картофеля // Картофель и овощи. 2018. № 12. С. 21-24.

2. Starovoitova O.A., Mute A.N., Manoquina A.A. et al. Influence of growing environment on potato tubers quality. *International Conference on World Technological Trends in Agribusiness. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 624(2021) 012011. DOI:10.1088/1755-1315/624/1/012011

3. Gaj R., Murawska B., Fabisiak-Spychaj E. et al. The impact of cover crops and foliar application of micronutrients on accumulation of macronutrients in potato tubers at technological maturity stage // *European journal of horticultural science*, 2018; 83(6): 345-355. DOI:10.17660/eJHS.2018/83.6.2

4. Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Манохина А.А. Влияние агрохимикатов на урожайность и потемнение мякоти клубней картофеля // *Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина»*. 2015. № 5 (69). С. 7-14.

5. Wulkow A., Pawelzik E., Heckl B. Effect of calcium and boron in potato tubers (*Solanum tuberosum*) of various cultivars differing in blackspot susceptibility. *Conference of European Association for potato research. Potato for a changing world: 17-th triennial Conference of European Association for potato research: abstract of papers and posters*. Brasov, 2008. P. 228-229.

6. Воронов Н.В., Старовойтов В.И., Старовойтова О.А. и др. Техническое обеспечение возделывания и переработки картофеля в новом технологическом укладе // *Доклады ТСХА*. 2020. Вып. 292. Ч. 1. С. 350-353.

7. Марченко Н.М., Личман Г.И. Многофункциональный диагностический агрегат // *Сельский механизатор*. 2015. № 9. С. 14-15.

8. Jacquemoud S., Us L. Leaf optical properties: A state of the art. In: Presented at 8th Int. Symp. Physical Measurements & Signatures in Remote Sensing. – Aussois. France. 2000. Pp. 223-232.

9. Макаренков Д.А., Назаров В.И., Шелаков М.Н. и др. Применение хелатных форм микроэлементов в технологии производства гранулированных удобрений NPK // *Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды: Сборник материалов VII Всероссийской конференции с международным участием*. 2018. С. 139-140.

10. Starovoitova O.A., Starovoitov V.I., Manokhina A.A. The study of physical and mechanical parameters of the soil in the cultivation of tubers. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*, 2019, 1172: 012083. DOI:10.1088/1742-6596/1172/1/012083

kartofelya [Effectiveness of growth regulators in potato cultivation]. *Kartofel' i ovoshchi*, 2018; 12: 21-24. (In Rus.)

2. Starovoitova O.A., Mute A.N., Manoquina A.A. et al. Influence of growing environment on potato tubers quality. *International Conference on World Technological Trends in Agribusiness. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 624 (2021) DOI:10.1088/1755-1315/624/1/012011

3. Gaj R., Murawska B., Fabisiak-Spychaj E. et al. The impact of cover crops and foliar application of micronutrients on accumulation of macronutrients in potato tubers at technological maturity stage. *European journal of horticultural science*, 2018; 83(6): 345-355. DOI:10.17660/eJHS.2018/83.6.2

4. Starovoitov V.I., Starovoitova O.A., Manokhina A.A. Vliyaniye agrokhimikatov na urozhaynost' i potemneniye myakoti klubney kartofelya [Effect of agrochemicals on the yield and darkening of the pulp of potato tubers]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2015; 5 (69): 7-14. (In Rus.)

5. Wulkow A., Pawelzik E., Heckl B. Effect of calcium and boron in potato tubers (*Solanum tuberosum*) of various cultivars differing in blackspot susceptibility. *Conference of European Association for potato research / Potato for a changing world: 17-th triennial Conference of European Association for potato research: abstract of papers and posters*. Brasov, 2008: 228-229.

6. Voronov N.V., Starovoitov V.I., Starovoitova O.A. et al. Tekhnicheskoe obespecheniye vozdelvaniya i pererabotki kartofelya v novom tekhnologicheskom uklade [Technical support for the cultivation and processing of potatoes in a new technological order]. In: *Doklady TSKHA*, 2020; 292 (1): 350-353.

7. Marchenko N.M., Lichman G.I. Mnogofunktsional'nyy diagnosticheskiy agregat [Multifunctional diagnostic unit]. *Sel'skiy mekhanizator*, 2015; 9: 14-15. (In Rus.)

8. Jacquemoud S., Us L. Leaf optical properties: A state of the art. In: Presented at 8th Int. Symp. Physical Measurements & Signatures in Remote Sensing. Aussois. France. 2001; 223-232.

9. Makarenkov D.A., Nazarov V.I., Shelakov M.N., Popov A.P. Primeneniye khelatnykh form mikroelementov v tekhnologii proizvodstva granulirovannykh udobreniy NPK [Application of chelated forms of microelements in the production technology of granular NPK fertilizers]. In: *Aktual'nye voprosy himicheskoy tekhnologii i zashchity okruzhayushchey sredy Sbornik materialov VII Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. 2018: 139-140. (In Rus.)

10. Starovoitova O.A., Starovoitov V.I., Manokhina A.A. The study of physical and mechanical parameters of the soil in the cultivation of tubers. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*, 2019, 1172: 012083. DOI:10.1088/1742-6596/1172/1/012083

Критерии авторства

Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Манохина А.А., Шабанов Н.Э., Чайка В.А. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент и подготовили рукопись. Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Манохина А.А., Шабанов Н.Э., Чайка В.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 12.03.2021

Одобрена после рецензирования 20.05.2021

Принята к публикации 27.05.2021

Contribution

V.I. Starovoitov, O.A. Starovoitova, A.A. Manokhina, N.T. Shabanov, V.A. Chayka performed theoretical studies, and based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. V.I. Starovoitov, O.A. Starovoitova, A.A. Manokhina, N.T. Shabanov, V.A. Chayka have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 12.03.2021

Approved after reviewing 20.05.2021

Accepted for publication 27.05.2021