



ПРЕПОСАДОЧНАЯ ОБРАБОТКА КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ БИОПРЕПАРАТАМИ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

(✉) Слепцова Т.В.^{1,2}, Неустроев М.П.¹

¹Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова – обособленное подразделение Якутского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук

Якутск, Россия

²Арктический государственный агротехнологический университет

Якутск, Россия

(✉) e-mail: SlepsovaTV@yandex.ru

Представлены результаты исследования влияния предпосадочной обработки клубней биопрепаратами на основе штаммов бактерий *Bacillus subtilis* на рост, фотосинтетическую деятельность растений, поражение болезнями и урожайность картофеля сорта Якутянка в условиях Центральной Якутии. Схема опыта включала контроль (клубни без обработки), обработку клубней перед посадкой биофунгицидом Фитоспорин-М и суспензией из равного соотношения штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 и *B. subtilis* ТНП-5, выделенных из мерзлотных почв Якутии. Установлено, что обработка клубней перед посадкой биопрепаратами ускоряла появление всходов на 2–4 дня, увеличивала биомассу и показатели фотосинтетической деятельности растений (на 6–19%), количество (11%) и массу (48–57%) клубней, снижала в 1,8–2,9 раза поражение растений комплексом болезней и повышала на 7,4–8,8 т/га (54–64%) урожайность. Показано, что доля влияния биопрепаратов в изменчивости хозяйственно ценных показателей и урожайности составляет 45–96%, погодных условий – 1–38%, взаимодействия факторов – 1–11%. Существенная положительная связь урожайности, количества и массы клубней выявлена с высотой, количеством и массой растений, площадью листьев, фотосинтетическим потенциалом ($r = 0,81 \dots 0,98$), отрицательная – с поражением ризоктониозом, обыкновенной паршой, обыкновенной мозаикой ($r = -0,80 \dots -0,96$). Между распространенностью болезней и показателями роста и фотосинтетической деятельности растений наблюдается обратная зависимость ($r = -0,33 \dots -0,96$). В засушливых условиях поражение обыкновенной паршой и ризоктониозом возрастает в 1,4–1,8 раза, черной ножкой, морщинистой и обыкновенной мозаикой снижается в 1,6–2,5 раза. Рассчитаны уравнения регрессии, позволяющие оперативно и с высокой точностью ($R^2 = 0,85 \dots 0,95$) прогнозировать площадь листьев, фотосинтетический потенциал и урожайность по массе растений. При увеличении массы куста в фазе цветения на 100 г площадь листьев растений повышалась на 2,3 тыс. м²/га, фотосинтетический потенциал за вегетацию – на 120 тыс. м² · сут/га, урожайность – на 9,7 т/га. Разница между фактическими и рассчитанными значениями составила 2,7–4,7%.

Ключевые слова: картофель, обработка клубней, биопрепараты, фотосинтетическая деятельность, болезни, урожайность

PRE-PLANTING TREATMENT OF POTATO TUBERS WITH BIOPREPARATIONS IN CONDITIONS OF CENTRAL YAKUTIA

(✉) Sleptsova T.V.^{1,2}, Neustroev M.P.¹

¹M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture – Division of Federal Research Centre “The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”
Yakutsk, Russia

²Arctic State Agrotechnological University

Yakutsk, Russia

(✉) e-mail: SlepsovaTV@yandex.ru

The results of the study of the influence of pre-planting treatment of tubers with biopreparations based on *Bacillus subtilis* bacterial strains on the growth, photosynthetic activity of plants, disease damage and yield of the Yakutyanka potato variety under the conditions of Central Yakutia are presented. The experiment scheme included control (tubers without treatment), treatment of the tubers before planting with the biofungicide Phytosporin-M and the suspension of an equal ratio of *B. subtilis* TNP-3 and *B. subtilis* TNP-5 bacterial strains isolated from permafrost soils of Yakutia. It was found that treatment of tubers before planting with biopreparations accelerated sprouting by 2–4 days, increased biomass and photosynthetic activity of the plants (by 6–19%), the number (11) and weight (48–57%) of tubers, reduced the damage of the plants by a complex of diseases by 1.8–2.9 times and increased the yield by 7.4–8.8 t/ha (54–64%). The share of biopreparation influence in the variability of economically valuable indicators and yield was shown to be 45–96%, weather conditions 1–38%, factor interaction 1–11%. Significant positive correlation of the yield, number and weight of the tubers with the height, number and weight of the plants, leaf area, photosynthetic potential ($r = 0.81...0.98$), and negative correlation with rhizoctonia disease, potato scab, and common mosaic ($r = -0.80...-0.96$) were revealed. There was an inverse relationship between disease prevalence and indices of plant growth and photosynthetic activity ($r = -0.33...-0.96$). Damage by potato scab and rhizoctonia disease increases 1.4–1.8 times in arid conditions, while blackleg, rugose and common mosaic damage decreases 1.6–2.5 times. Regression equations were calculated, which allow to predict leaf area, photosynthetic potential and yield by plant mass promptly and with high accuracy ($R^2 = 0.85...0.95$). When the bush weight in the flowering phase increased by 100 g, the leaf area of the plants increased by 2.3 thousand m^2/ha , photosynthetic potential during the growing season by 120 thousand $m^2 \cdot day/ha$, and the yield by 9.7 t/ha. The difference between actual and calculated values amounted to 2.7–4.7%.

Keywords: potato, tuber treatment, biopreparations, photosynthetic activity, diseases, yield

Для цитирования: Слепцова Т.В., Неустроев М.П. Предпосадочная обработка клубней картофеля биопрепаратами в условиях Центральной Якутии // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 9. С. 5–14. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-1>

For citation: Sleptsova T.V., Neustroev M.P. Pre-planting treatment of potato tubers with biopreparations in conditions of Central Yakutia. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 9, pp. 5–14. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-1>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Работа выполнена на оборудовании ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН.

Acknowledgments

The work was performed on the equipment of the Common Use Center of the FRC YaSC SB RAS.

ВВЕДЕНИЕ

Картофелеводство является важнейшей отраслью земледелия Республики Саха (Якутия). Среднегодовой объем валового сбора картофеля в регионе составляет 70–85 тыс. т при урожайности 10–11 т/га. Для полного обеспечения картофелем местного производства необходимо не менее 150 тыс. т клубней ежегодно. Решение этой задачи возможно в первую очередь за счет повышения урожайности, которая в последние годы в республике существенно не увеличивается^{1, 2}.

Одной из причин низкой урожайности и рентабельности культуры является отсутствие адаптивных агротехнологий возделывания с использованием эффективных биопрепаратов, которые являются составной частью органического земледелия. В настоящее время этому направлению придается важное стратегическое значение³.

В основе использования бактериальных препаратов лежит механизм антибиоза, регулирующий взаимоотношения полезных и

¹Сельское хозяйство в Республике Саха (Якутия): стат. сб. Якутск, 2022. 145 с.

²Охлопкова П.П. История развития и современное состояние картофелеводства в Якутии // Наука и техника в Якутии. 2017. № 1 (32). С. 20–22.

³Стратегия развития производства органической продукции в Российской Федерации до 2030 года // Распоряжение Правительства РФ от 4 июля 2023. № 1788-р. 91 с.

вредных микроорганизмов⁴. Биопрепараты для подавления численности фитопатогенных микроорганизмов являются экологически безопасной и эффективной альтернативой химическим пестицидам, так как разрабатываются на основе природных регуляторов численности возбудителей болезней растений. К таким регуляторам относятся энтомопатогенные и антагонистические микроорганизмы и их метаболиты [1]. Наиболее распространенными агентами биологического контроля численности фитопатогенных грибов являются бактерии рода *Bacillus* spp., которые улучшают рост корней растений, облегчают доступ к ним микроэлементов, повышают урожайность^{5, 6} [2–4]. Из аэробных спорообразующих бактерий наибольшее значение как биологический агент подавления численности фитопатогена имеют бактерии *Bacillus subtilis*, штаммы которых обладают фунгицидной активностью, стимулируют рост растений, повышают их урожайность^{7, 8} [5, 6]. Широкое распространение получил биофунгицид Фитоспорин-М, созданный на основе бактерии *Bacillus subtilis*, штамм 26Д. Препарат повышает устойчивость растений к болезням за счет антагонизма бактерии *in vitro* ко многим фитопатогенам и ее способностью конкурентно занимать их нишу обитания во внутренних тканях растений [7]. Применение Фитоспорина-М ускоряло рост и развитие растений, повышало устойчи-

вость к биотическим и абиотическим факторам внешней среды, урожай и его качество, снижало поражение болезнями и потери при хранении различных сельскохозяйственных культур, в том числе картофеля^{9–11} [8–10].

В 2006 г. в Якутском научно-исследовательском институте сельского хозяйства (Якутском НИИСХ) разработана суспензия из равного соотношения штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 и *B. subtilis* ТНП-5, выделенных из мерзлотных почв Якутии и депонированных во Всероссийском научно-исследовательском институте сельскохозяйственной метеорологии (ВНИИСХМ) под номерами Д149 и Д150. Штаммы обладают антагонистическим и иммуностимулирующим действием в отношении патогенных микроорганизмов, что позволило разработать биопрепараты, широко используемые в северном животноводстве Якутии против различных заболеваний животных и для увеличения привеса молодняка¹² [11]. Добавление штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 при силосовании кормовых культур обеспечивало высокое качество, питательность и сохранность силоса [12]. Опрыскивание суспензией штаммов растений земляники уменьшало поражение ягод серой гнилью, увеличивало количество цветоносов и массу ягод¹³, а обработка семян ячменя и клубней картофеля снижала пораженность растений болезнями, увеличивала надземную биомассу, повышала урожайность¹⁴ [13].

⁴Штерниус М.В. Состояние и перспективы использования биопрепаратов для защиты растений в Сибири // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2011. № 5 (21). С. 48–55.

⁵Леляк А.А., Штерниус М.В. Антагонистический потенциал сибирских штаммов *Bacillus* spp. в отношении возбудителей болезней животных и растений // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2014. № 1 (26). С. 42–51.

⁶Singh R.P., Jha P. N. A halotolerant bacterium *Bacillus licheniformis* HSW-16 augments induced systemic tolerance to salt stress in wheat plant (*Triticum aestivum*) // Frontiers in plant science. 2016. Vol. 7. P. 1890. DOI:10.3389/fpls.2016.01890.

⁷Коробова Л.Н., Гаврилец Т.В. Применение бактофита: прибавка урожая и оздоровление почвы // Защита и карантин растений. 2006. № 4. С. 47–48.

⁸Штерниус М.В., Беляев А.А., Цветкова В.П., Шпатова Т.В., Леляк А.А., Бахвалов С.А. Биопрепараты на основе бактерий рода *Bacillus* для управления здоровьем растений: монография. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд-ние РАН, 2016. 233 с.

⁹Ишкинина Ф.Ф., Аминев И.Н., Хайбуллин М.М. Влияние биопрепаратов на хранение клубней картофеля // Вестник ОГУ. 2013. № 10 (159). С. 193–194.

¹⁰Давлетишин Ф.М., Гильманов Р.Г., Сафин Х.М., Аюпов Д.С. Эффективность биофунгицида Фитоспорин-М на яровой пшенице при прямом посеве // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 2. С. 39–40.

¹¹Чеботарь В.К., Кипрушкина Е.И. Применение микробных препаратов в технологиях хранения картофеля // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 1. С. 33–35.

¹²Неустроев М.П., Тарабукина Н.П., Скрябина М.П., Степанова А.М. Пробиотики из штаммов бактерий *Bacillus subtilis* в сельском хозяйстве Якутии: методическое пособие. Якутск: ООО Реактив Принт, 2017. 16 с.

¹³Васильева Е.П., Белевцова В.И., Протопопова А.В., Сорокопудов В.Н. Применение *Bacillus subtilis* на землянике против серой гнили // Защита и карантин растений. 2017. № 2. С. 40–41.

¹⁴Власенко Н.Г., Слепцов С.С., Самсонова М.С. Защита ячменя от грибных болезней в Центральной Якутии. Якутск: Изд-во Якутского НИИСХ, 2012. 47 с.

Цель исследования – изучить влияние предпосадочной обработки клубней картофеля биопрепаратами на основе бактерий *Bacillus subtilis* на рост, фотосинтетическую деятельность растений, поражение болезнями и урожайность в условиях Центральной Якутии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены на стационаре Якутского НИИСХ «Холбуя», расположенном в пойме р. Лены. Регион входит в зону рискованного земледелия из-за крайне низких температур в зимний период, больших годовых, сезонных и суточных колебаний температур воздуха, засушливого климата, короткого безморозного периода, низкотемпературных многолетнемерзлых пород и холодных почв с низким плодородием. Почва опытного участка слабощелочная (рН 7,8) мерзлотно-пойменная, слоистая супесчаного механического состава. Пахотный слой характеризуется низким содержанием гумуса (1,8–2,2%), общего (0,23%) и нитратного (0,7–1,2 мг/100 г) азота, высоким – подвижного фосфора (21–24 мг/100 г), обменного калия (21–25 мг/100 г). Объектом исследования были растения и клубни картофеля районированного среднераннего сорта Якутянка. Схема опыта включала контроль (клубни без обработки), обработку клубней перед посадкой биофунгицидом Фитоспорин-М (10 г/0,5 л из расчета 0,5 л/20 кг) и суспензией штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 (замачивание перед посадкой в течение 30 мин в дозе 1×10^9 КОЕ/мл из расчета 300 мл/кг клубней).

Технология возделывания составлялась с учетом зональных рекомендаций¹⁵. Опы-

ты размещали в трехпольном севообороте (овес на сидераты – картофель – картофель). Посадку проводили клоновой сажалкой СН-4БК по схеме 70 × 35 см (40,8 тыс. клубней на 1 га) 28 мая – 3 июня при температуре почвы 6...8 °С на глубине 10 см. Учетная площадь делянки 24,5 м², ширина защитной полосы 5 м, повторность 4-кратная, размещение вариантов рендомизированное. Вегетационный полив проводили дождевальными установками ДДН-70 в III декаде июня – I декаде июля по 350 м³/га. Убирали картофель вручную 25–28 августа.

Фенологические наблюдения, учеты и анализы проводили по методике Всероссийского научно-исследовательского института картофельного хозяйства (ВНИИКСХ)¹⁶. Площадь листьев и фотосинтетический потенциал (ФП) растений рассчитывали по методике А.А. Ничипоровича¹⁷. Влагообеспеченность вегетационного периода оценивали по гидротермическому коэффициенту Селянинова (ГТК)¹⁸. В годы исследования сумма среднесуточных температур воздуха за вегетационный период (июнь–август) изменялась от 1451 до 1676° при норме 1443°, сумма осадков – от 60 до 187 мм при норме 127 мм, условия влагообеспеченности – от оптимальных (ГТК = 1,29) до сильной засухи (ГТК = 0,37). Экспериментальный материал обработан статистически по методике Б.А. Доспехова¹⁹ с использованием пакета прикладных программ²⁰.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Продолжительность периода всходы – созревание картофеля сорта Якутянка изменялась от 62 до 66 дней при сумме среднесуточных температур воздуха 1048–1227°, периода

¹⁵Система ведения агропромышленного производства Республики Саха (Якутия) до 2005 г. / РАСХН. Сиб. отд.-ние. Якут. НИИСХ. Новосибирск, 1999. 304 с.

¹⁶Методика исследований по культуре картофеля /ВНИИКСХ. М.: Колос, 1967. 263 с.

¹⁷Ничипорович А.А., Строгонова Л.Е., Чмора С.Н., Власова М.П. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах (методы и задачи учета в связи с формированием урожая). М.: Изд-во Академии наук СССР, 1961. 136 с.

¹⁸Зоидзе Е.К., Хомякова Т.В. Моделирование формирования влагообеспеченности территории Европейской России в современных условиях и основы оценки агроклиматической безопасности // Метеорология и гидрология. 2006. № 2. С. 98–105.

¹⁹Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Альянс, 2014. 386 с.

²⁰Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. Краснообск: ГУП РПО СО РАСХН, 2009. 222 с.

посадка – созревание – от 84 до 89 дней при сумме температур 1417–1615°. Более значительно ($V = 13\%$) варьировала длительность периода посадка – всходы (от 18 до 27 дней). В вариантах с обработкой клубней Фитоспорином-М и суспензией штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 всходы картофеля появлялись на 2–4 дня раньше, чем в контроле. Продолжительность других межфазных периодов изменялась незначительно ($V = 1–4\%$) и существенных различий не выявлено. Наибольшая вариабельность теплообеспеченности растений отмечена от посадки до цветения ($V = 8–11\%$) в сравнении с другими периодами ($V = 2–6\%$).

Наблюдения за приростом биомассы растений показали, что при обработке клубней Фитоспорином и суспензией штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 во все фазы она увеличивалась в сравнении с контролем в среднем на 67–84 г/куст (16–19%). Максимального значения биомасса достигала в фазе цветения (451–535 г/куст), в фазе бутонизации составляла 89% от максимума, через 10 дней после цветения уменьшалась на 6%, через 20 дней – на 9% (см. табл. 1). Наибольший вклад в изменчивость показателя вносили биопрепараты (64–74%) при незначительном влиянии погодных условий и взаимодействия факторов (1–9%). Выявлена сильная прямая связь ($p < 0,01$) массы растений с их высотой ($r = 0,89...0,94$) и количеством в ку-

сте ($r = 0,81...0,84$). Регрессионный анализ показал, что при увеличении высоты растений в фазе цветения (x_1) на 1 см масса куста (y_1) повышалась на 36,1 г. Уравнение (1) позволяет оперативно и с высокой точностью (коэффициент детерминации $R^2 = 0,86$) рассчитывать массу растений по их высоте:

$$y_1 = 36,139x_1 - 1155,2, R^2 = 0,860. \quad (1)$$

Биопрепараты также оказывали существенное влияние на показатели фотосинтетической деятельности растений. Площадь листьев при обработке клубней перед посадкой Фитоспорином-М и суспензией штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 во все фазы увеличивалась на 1,6–2,3 тыс. м²/га (6–9%) в сравнении с контролем (см. табл. 2). Максимального значения она достигала в фазе цветения (28,3–30,5 тыс. м²/га), в фазе бутонизации составляла 88% от максимума, через 10 дней после цветения уменьшалась на 1,7 тыс. м²/га (6%), через 20 дней – на 4,1 тыс. м²/га (14%). Наибольший вклад в ее изменчивость вносили биопрепараты (50–61%) при незначительном влиянии погодных условий и взаимодействия факторов (1–9%). Выявлена сильная прямая связь ($p < 0,01$) площади листьев с высотой и массой растений ($r = 0,82...0,95$). Коэффициент регрессии свидетельствует, что при увеличении массы куста в фазе цветения (x_2) на 100 г площадь листьев (y_2) повышалась на 2,3 тыс. м²/га:

Табл. 1. Влияние предпосадочной обработки клубней картофеля биопрепаратами на динамику сырой массы растений (среднее за 2007–2009 гг.)

Table 1. Effect of pre-planting treatment of potato tubers with biopreparations on the dynamics of raw weight of plants (average for 2007–2009)

Вариант (фактор)	Фаза бутонизации	Фаза цветения	10 дней после цветения	20 дней после цветения
<i>Прирост биомассы растений, г/куст</i>				
Контроль	401	451	425	409
Фитоспорин-М	475	535	504	482
ТНП-3 + ТНП-5	468	529	494	480
<i>Доля влияния факторов и их взаимодействия, %</i>				
Препарат (фактор А)	73,5**	71,0**	68,9**	64,1**
Год (фактор В)	2,3	3,4	2,2	4,2
А × В	8,6*	1,3	0,5	1,1

Здесь и в табл. 2–4.

* Достоверно на 5%-м уровне значимости.

** Достоверно на 1%-м уровне значимости.

Табл. 2. Влияние биопрепаратов на динамику показателей фотосинтетической деятельности растений (среднее за 2007–2009 гг.)**Table 2.** Effect of biopreparations on the dynamics of photosynthetic activity of plants (average for 2007–2009).

Вариант (фактор)	Буто- низация	Цветение	10 дней после цветения	20 дней после цветения	Всходы – цветение	Цветение – 20 дней после цветения	Сумма за вегетацию
	Площадь листьев, тыс. м ² /га				ФП, тыс. м ² · сут/га		
Контроль	25,0	28,3	26,5	24,3	459	528	987
Фитоспорин-М	26,7	30,5	28,8	26,4	514	573	1087
ТНП-3 + ТНП-5	26,7	30,1	28,5	25,9	525	565	1090
Доля влияния факторов и их взаимодействия, %							
Препарат (фактор А)	51,6**	61,1**	61,2**	49,6**	77,3**	69,4**	86,7**
Год (фактор В)	9,4*	0,6	7,7*	8,3	3,5**	5,4	4,5**
А × В	8,1	5,0	2,8	0,9	11,1**	1,5	5,2**

$$y_2 = 0,0228x_2 + 18,108, \quad R^2 = 0,8490. \quad (2)$$

Разница между фактической и рассчитанной по уравнению (2) площадью листьев составила не более $\pm 2,7\%$.

Фотосинтетический потенциал посевов (ФП) в вариантах с предпосадочной обработкой клубней биофунгицидом Фитоспорин-М и суспензией штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 в разные периоды вегетации был больше на 37–103 тыс. м² · сут/га (7–14%), чем в контроле (см. табл. 2). Наибольший вклад в его изменчивость вносили биопрепараты (69–87%), влияние погодных условий и взаимодействия факторов в большинстве случаев было существенным, но менее значительным (2–11%). Во все межфазные периоды выявлена прямая корреляция ($p < 0,01$) значений ФП с высотой, массой растений и площадью листьев ($r = 0,82 \dots 0,98$). Регрессионный анализ показал, что при увеличении массы растений в фазе цветения на 100 г (x_2), площади листьев на 1 тыс. м²/га (x_3), ФП за период вегетации (y_3) повышался соответственно на 120 тыс. м² · сут/га (3) и 50 тыс. м² · сут/га (4):

$$y_3 = 1,1972x_2 + 450,01, \quad R^2 = 0,8673; \quad (3)$$

$$y_3 = 49,689x_3 - 418,12, \quad R^2 = 0,9173. \quad (4)$$

Рассчитанные уравнения позволяют оперативно и с высокой точностью ($R^2 = 0,87 \dots 0,92$)

прогнозировать значение ФП за вегетацию по массе растений и площади листьев в фазе цветения.

В годы исследования картофель сорта Якутянка в период вегетации поражался различными болезнями. Наибольшую распространенность в контрольном варианте имели черная ножка (в среднем 8,0%), обыкновенная парша (7,9%), обыкновенная мозаика (6,1%), наименьшую – ризоктониоз (2,0%), морщинистая мозаика (4,1%) (см. табл. 3). Предпосадочная обработка клубней Фитоспорином-М снижала поражение растений болезнями в 1,8–6,8 раза (в среднем 2,9 раза), суспензией штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 в 1,5–2,7 раза (в 1,8 раза). В засушливых условиях распространенность обыкновенной парши и ризоктониоза возрастала в 1,4–1,8 раза, черной ножки, морщинистой и обыкновенной мозаики снижалась в 1,6–2,5 раза и более на вариантах с применением биопрепаратов. Доля влияния препаратов в изменчивости распространенности болезней составляла 45–97%, погодных условий 2–38%, взаимодействия факторов 4–11%. Установлена обратная зависимость поражения картофеля болезнями с высотой, массой и площадью листьев растений, ФП ($r = -0,33 \dots -0,96$), что свидетельствует о меньшей степени поражения более мощных и развитых растений независимо от условий выращивания. Выявлена существенная пря-

Табл. 3. Влияние предпосадочной обработки клубней биопрепаратами на распространенность болезней картофеля (среднее за 2007–2009 гг.), %

Table 3. Effect of pre-planting treatment of tubers with biopreparations on the prevalence of potato diseases (average for 2007–2009), %

Вариант (фактор)	Обыкновенная парша	Ризоктониоз	Черная ножка	Морщинистая мозаика	Обыкновенная мозаика
<i>Поражение растений</i>					
Контроль	7,9	2,0	8,0	4,3	6,1
Фитоспорин-М	2,9	0,0	3,7	2,4	0,9
ТНП-3 + ТНП-5	5,4	0,0	4,0	4,1	2,3
<i>Доля влияния факторов и их взаимодействия</i>					
Препарат (фактор А)	69,4**	87,9**	45,0**	48,1**	96,7**
Год (фактор В)	22,4**	3,1**	38,2**	37,0**	1,6**
А × В	5,3**	6,2**	11,0**	3,5	0,4

мая корреляция распространенности обыкновенной парши с заболеванием растений ризоктониозом ($r = 0,84$) и обыкновенной мозаикой ($r = 0,76$); ризоктониоза – с заболеванием обыкновенной мозаикой ($r = 0,90$); черной ножки – с заболеванием морщинистой и обыкновенной мозаикой ($r = 0,71...0,74$). Между поражением растений обыкновенной и морщинистой мозаикой установлена средняя положительная корреляция ($r = 0,65$).

По результатам исследования разработан новый способ борьбы с комплексом болезней картофеля (ризоктониозом, черной ножкой морщинистой и обыкновенной мозаикой), основанный на замачивании клубней в растворе суспензии штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 и *B. subtilis* ТНП-5 (патент № 2428008 РФ от 10.09.2011).

Обработка клубней перед посадкой биопрепаратами достоверно увеличивала количество клубней к уборке на 11%. Наибольший вклад в изменчивость показателя вносили препараты (41%), влияние погодных условий и взаимодействия факторов было незначительным (1–8%) (см. табл. 4). Выявлена прямая корреляция ($p < 0,01$) количества клубней в кусте с высотой, количеством и массой растений, площадью листьев, ФП ($r = 0,84...0,97$). Количество клубней существенно уменьшалось при поражении картофеля ризоктониозом, обыкновенной паршой, обыкновенной мозаикой ($r = -0,80...-0,91$).

Предпосадочная обработка клубней биофунгицидом Фитоспорин-М повышала массу клубней в кусте на 190 г (57%), суспензией

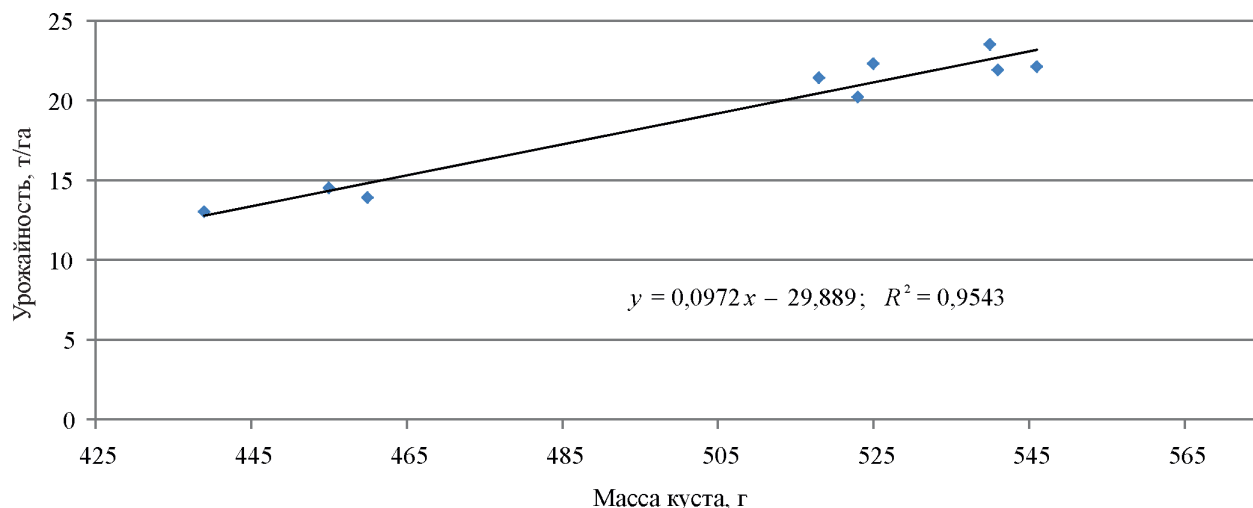
штаммов *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 на 161 г (48%) в сравнении с контролем (см. табл. 4). Основной вклад в ее изменчивость внесли биопрепараты (95%). Выявлена сильная прямая связь ($p < 0,01$) массы клубней в кусте с высотой, количеством и массой растений, площадью листьев, ФП ($r = 0,81...0,98$). Масса клубней достоверно снижалась при поражении картофеля ризоктониозом, обыкновенной мозаикой, обыкновенной паршой ($r = -0,85...-0,96$).

Урожайность картофеля сорта Якутянка изменялась в годы исследования от 13,0 до 23,5 т/га ($V = 22\%$). При обработке клубней перед посадкой биопрепаратами она увеличивалась в сравнении с контролем на 7,4–8,8 т/га (54–64%), а в варианте с Фито-

Табл. 4. Влияние биопрепаратов на элементы структуры и урожайность картофеля сорта Якутянка (среднее за 2007–2009 гг.)

Table 4. Influence of biopreparations on structure elements and yield of potato variety Yakutyanka (average for 2007–2009)

Вариант (фактор)	Количество клубней, шт./куст	Масса клубней, г/куст	Урожайность, т/га
<i>Продуктивность</i>			
Контроль	8,4	334	13,8
Фитоспорин-М	9,3	524	22,6
ТНП-3 + ТНП-5	9,4	495	21,2
<i>Доля влияния факторов и их взаимодействия, %</i>			
Препарат (фактор А)	41,1**	94,5**	95,8**
Год (фактор В)	8,3	3,1	2,4
А × В	0,7	1,0	0,9



Теоретическая линия регрессии при прямолинейной корреляции между урожайностью клубней и сырой массой растений в фазе цветения

Theoretical regression line for a straight-line correlation between tuber yield and raw weight of plants in the flowering phase

спорином-М была на 1,4 т/га (6,6%) больше, чем при обработке клубней суспензией штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 (см. табл. 4). Основное влияние на изменчивость урожайности оказывали биопрепараты (96%). Выявлена достоверная прямая корреляция урожайности с высотой и массой растений, площадью листьев, ФП ($r = 0,82...0,98$), обратная – с поражением обыкновенной паршой, ризоктониозом, обыкновенной мозаикой ($r = -0,80...-0,96$). Коэффициент регрессии показывает, что при увеличении массы куста в фазе цветения на 100 г урожайность клубней повышалась на 9,7 т/га ($R^2 = 0,95$) (см. рисунок). Разница между урожайностью фактической и рассчитанной по сырой массе растений в фазе цветения составила в среднем 0,90 т/га (4,7%).

ВЫВОДЫ

1. В условиях Центральной Якутии продолжительность периода всходы – созревание картофеля сорта Якутянка изменяется от 62 до 66 дней при сумме среднесуточных температур воздуха 1048–1227°, периода посадка – созревание – от 84 до 89 дней при сумме температур 1417–1615°. Более значительно ($V = 13\%$) варьирует длительность периода посадка – всходы (18–27 дней). Предпоса-

дочная обработка клубней Фитоспорином-М и суспензией штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 ускоряет появление всходов на 2–4 дня.

2. Обработка клубней перед посадкой Фитоспорином-М и суспензией штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 увеличивает массу и показатели фотосинтетической деятельности растений (на 6–19%), количество (11%) и массу (48–57%) клубней, уменьшает в 1,8–2,9 раза поражение растений комплексом болезней, повышает урожайность на 7,4–8,8 т/га (54–64%). Основной вклад в изменчивость показателей вносят биопрепараты (45–96%), менее значительный – погодные условия (1–38%), взаимодействие факторов (1–11%).

3. Выявлена сильная положительная связь ($p < 0,01$) урожайности, количества и массы клубней с высотой, количеством и массой растений, площадью листьев, фотосинтетическим потенциалом ($r = 0,81...0,98$), отрицательная – с поражением ризоктониозом, обыкновенной паршой, обыкновенной мозаикой ($r = -0,80...-0,96$).

4. Между распространенностью болезней и показателями роста и фотосинтетической деятельности растений наблюдается обратная зависимость ($r = -0,33...-0,96$). В засушливых

условиях поражение обыкновенной паршой и ризоктониозом возрастает в 1,4–1,8 раза, черной ножкой, морщинистой и обыкновенной мозаикой снижается в 1,6–2,5 раза.

5. Рассчитаны уравнения регрессии, позволяющие оперативно и с высокой точностью ($R^2 = 0,85...0,95$) определять площадь листьев, фотосинтетический потенциал и урожайность по массе растений. При увеличении массы куста в фазе цветения на 100 г площадь листьев повышалась на 2,3 тыс. м²/га, ФП за вегетацию на 120 тыс. м² · сут/га, урожайность на 9,7 т/га. Разница между фактическими и рассчитанными значениями составляет 2,7–4,7%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азизбекян Р.Р. Биологические препараты для защиты сельскохозяйственных растений // Биотехнология. 2018. Т. 34. № 3. С. 23–32.
2. Alori E.T., Babalola O.O. Microbial inoculants for improving crop quality and human health in Africa // *Frontiers in microbiology*. 2018. Vol. 9. P. 2213. DOI: 10.3389/fmicb.2018.02213.
3. Khan N., Bano A., Babar A.M. Impacts of plant growth promoters and plant growth regulators on rainfed agriculture // *Plos one*. 2020. Vol. 15. P. 32. DOI:10.1371/journal.pone.0231426.
4. Цветкова В.П., Масленникова В.С., Штерншис М.В., Лемяк А.А., Лемяк А.И. Влияние полифункциональной микробной смеси на ризоктониоз картофеля и колорадского жука // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 3. С. 26–31. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10305.
5. Масленникова В.С., Цветкова В.П., Петров А.Ф., Пастухова А.В. Влияние бактерий рода *Bacillus* на рост и продуктивность томата сорта Спок // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2021. № 1. С. 56–63. DOI: 10.31677/2072-6724-2021-58-1-56-63.
6. Деревягина М.К., Васильева С.В., Белов Г.Л., Зейрук В.Н., Новикова И.И. Эффективность нового биопрепарата картофин на основе *Bacillus subtilis* при выращивании картофеля // Аграрный научный журнал. 2019. № 5. С. 8–14. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i5pp8-14>.
7. Хайруллин Р.М., Бурханова Г.Ф., Сорокань А.В., Сарварова Е.Р., Веселова С.В., Черепанова Е.А., Вологин С.Г., Замалиева Ф.Ф.,

Максимов И.В. К механизмам антивирусной активности бактерий рода *Bacillus subtilis* на растениях картофеля // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 4. С. 130–135. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-4-130-135.

8. Осипова В.В. Влияние обработки картофеля биопрепаратом Фитоспорин-М на скороспелость, урожай и качество клубней в условиях криолитозоны // Вестник ИРГСХА. 2020. Вып. 97. С. 1–5.
9. Слепцова Т.В. Эффективность применения биологических препаратов и микроэлементов при выращивании картофеля в Якутии // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 5 (377). С. 45–47. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-15091.
10. Петров А.Ф., Шульга М.С., Галеев Р.Р., Гаврилец Н.В., Колбина О.Н. Совершенствование технологии производства картофеля в условиях лесостепной зоны Западной Сибири путем оптимизации применения органо-минеральных стимуляторов роста // Инновации и продовольственная безопасность. 2022. № 2 (36). С. 58–65. DOI:10.31677/2311-0651-2022-36-2-58-65.
11. Скрябина М.П., Степанова А.М., Тарабукина Н.П., Неустроев М.П. Ферментативная активность штаммов бактерий *Bacillus subtilis*, выделенных из мерзлотных почв // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2020. № 1 (33). С. 73–79. DOI: 10.36871/vet.san.hyг.ecol.202001011.
12. Максимова Х.И. Силосование кормовых культур с использованием биопрепаратов // Московский экономический журнал. 2019. № 3. С. 9. DOI: 10.24411/2413-046X-2019-13009.
13. Охлопкова П.П., Николаева Ф.В., Лукина Ф.А., Ефремова С.П., Яковлева Н.С. Болезни картофеля и меры борьбы с ними в условиях Якутии: монография. Якутск: Дани-Алмас, 2018. 48 с.

REFERENCES

1. Azizbekyan R.R. Biological preparations for agricultural plants protection. *Biotehnologiya = Biotechnology in Russia*, 2018, vol. 34. no. 3. pp. 23–32. (In Russian). DOI: 10.21519/0234-2758-2018-34-5-37-47.
2. Alori E.T., Babalola O.O. Microbial inoculants for improving crop quality and human health in Africa. *Frontiers in microbiology*, 2018, vol. 9. p. 2213. DOI:10.3389/fmicb.2018.02213.

3. Khan N., Bano A., Babar A.M. Impacts of plant growth promoters and plant growth regulators on rainfed agriculture. *Plos one*. 2020, vol. 15, p. 32. DOI: 10.1371/journal.pone.02314269.
4. Tsvetkova V.P., Maslennikova V.S., Shternshis M.V., Lelyak A.A., Lelyak A.I. The effect of multifunctional microbial mixture on the Rhizoctonia blight of potato and the Colorado potato beetle. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2020, vol. 34, no 3. pp. 26–31. (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10305.
5. Maslennikova V.S., Tsvetkova V.P., Petrov A.F., Pastukhova A.V. Influence of the bacillus genus bacteria on the growth and productivity of tomatoes of Spok variety. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2021, no. 1. pp. 56–63. (In Russian). DOI: 10.31677/2072-6724-2021-58-1-56-63.
6. Derevyagina M.K., Vasil'eva S.V., Belov G.L., Zeiruk V.N., Novikova I.I. The effectiveness of a new biological product Spud on the basis of *Bacillus subtilis* in the cultivation of potatoes. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal = Agrarian Scientific Journal*, 2019, no. 5. pp. 8–14. (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2019i5pp8-14.
7. Khairullin R.M., Burkhanova G.F., Sorokan' A.V., Sarvarova E.R., Veselova S.V., Cherepanova E.A., Vologin S.G., Zamalieva F.F., Maksimov I.V. On the mechanisms of antiviral activity of bacteria of the genus *Bacillus subtilis* on potato plants. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied Ecology*, 2019, no 4. pp. 130–135. (In Russian). DOI: 10.25750/1995-4301-2019-4-130-135.
8. Osipova V.V. Influence of potato processing by Phytosporin-M biological product on maturity, crop and quality of tuber under conditions of cryolitzone. *Vestnik IrGSKhA = Vestnik IrGSHA*, 2020, is. 97. pp. 1–5. (In Russian).
9. Sleptsova T.V. Effectiveness of biological preparations and trace elements in potato cultivation in Yakutia. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal = International Agricultural Journal*, 2020, no. 5 (377). pp. 45–47. (In Russian). DOI: 10.24411/2587-6740-2020-15091.
10. Petrov A.F., Shul'ga M.S., Galeev R.R., Gavrilits N.V., Kolbina O.N. Improving potato production technology by optimizing the use of organomineral growth stimulants in the forest-steppe zone of Western Siberia. *Innovacii i prodovol'stvennâ bezopasnost' = Innovations and Food Safety*, 2022, no. 2 (36). pp. 58–65. (In Russian). DOI: 10.31677/2311-0651-2022-36-2-58-65.
11. Skryabina M.P., Stepanova A.M., Tarabukina N.P., Neustroev M.P. Enzymatic activity of strains of bacteria *Bacillus subtilis* isolated from frozen soils. *Problemy veterinarnoi sanitarii, gigieny i ekologii = Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology*, 2020, no. 1 (33), pp. 73–79. (In Russian). DOI: 10.36871/vet.san.hyg.ecol.202001011.
12. Maksimova Kh.I. Silage of forage crops using biological products. *Moskovskii ekonomicheskii zhurnal = Moscow economic journal*, 2019, no. 3, p. 9. (In Russian). DOI: 10.24411/2413-046X-2019-13009.
13. Okhlopko P.P., Nikolaeva F.V., Lukina F.A., Efremova S.P., Yakovleva N.S. *Potato diseases and measures to combat them in Yakutia*, Yakutsk, «Dani-Almas» Publ., 2018, 48 p. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Слепцова Т.В.**, научный сотрудник;
адрес для переписки: Россия, 677001, Республика Саха (Якутия), Якутск, ул. Бестужева-Марлинского, 23, корпус 1; e-mail: SlepsovaTV@yandex.ru

Неустроев М.П., доктор ветеринарных наук, профессор, заведующий лабораторией; e-mail: mneyc@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ **Tatyana V. Sleptsova**, Researcher; address: building 1, 23, Bestuzheva-Marlinskovo St., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), 677001, Russia; e-mail: SlepsovaTV@yandex.ru

Mikhail P. Neustroev, Doctor of Science in Veterinary Medicine, Professor, Laboratory Head; e-mail: mneyc@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 27.07.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 29.08.2023
Дата публикации / Published 20.10.2023