

Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, пр. Абая, 28, корпус 3, тел.: 87771390747, e-mail: zolotukhine17@mail.ru.

Рустембаев Арман Базарханович – философия докторы (PhD), Инжиниринг және азық-түлік технологиялар институт директорының ғылыми-зерттеу жұмыстары және интернационалдандыру жөніндегі орынбасары, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 010011, Астана қ., Жеңіс даңғ, 62, тел.: 87026666837, e-mail: rustem.arman88@gmail.com.

Тунников Артем Алексеевич – көлік техникасы және технология кафедрасының магистранты, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 010011, Астана қ., Жеңіс даңғ, 62, тел.: 87057549698, e-mail: artem020992@mail.ru.

Кравченко Руслан Иванович – философия докторы (PhD), аграрлық техника және көлік кафедрасының меңгерушісі, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Абай даңғ, 28, 3 ғимарат, тел. 87029298576, e-mail: ruslan_kravchenko_15@mail.ru.

Золотухин Евгений Александрович* – философия докторы (PhD), аграрлық техника және көлік кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Абай даңғ, 28, 3 ғимарат, тел.: 87771390747, e-mail: zolotukhine17@mail.ru.

Rustembayev Arman Bazarkhanovich – PhD, Deputy Director for Research Work and Internationalization of the Institute of Engineering and Food Technologies, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010011, Astana, 62 Zhenis Ave., tel.: 87026666837, e-mail: rustem.arman88@gmail.com.

Tunnikov Artyom Alexseyevich – Master's student, Department of transport equipment and technologies, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010011, Astana, 62 Zhenis Ave., tel.: 87057549698, e-mail: artem020992@mail.ru.

Kravchenko Ruslan Ivanovich – PhD, Head of the Department of agricultural machinery and transport, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28 Abai Ave., bld. 3, tel.: 87029298576, e-mail: ruslan_kravchenko_15@mail.ru.

Zolotukhin Yevgeniy Alexandrovich* – PhD, Associate Professor, Department of agricultural machinery and transport, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28 Abai Ave., bld. 3, tel.: 87771390747, e-mail: zolotukhine17@mail.ru.

МРНТИ 34.27.17

УДК 579.64

<https://doi.org/10.52269/SEPT2631213>

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИТОПАТОГЕНОВ КАРТОФЕЛЯ В КАРАГАНДИНСКОЙ И АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТЯХ КАЗАХСТАНА

Смагулова А.М.* – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Лаборатории биоразнообразия и генетических ресурсов, ТОО «Национальный центр биотехнологии», г. Астана, Республика Казахстан.

Киян В.С. – PhD, профессор заведующий Лабораторией биоразнообразия и генетических ресурсов, ТОО «Национальный центр биотехнологии», г. Астана, Республика Казахстан.

Уахит Р.С. – PhD, старший научный сотрудник Лаборатории биоразнообразия и генетических ресурсов, ТОО «Национальный центр биотехнологии», г. Астана, Республика Казахстан.

Богатко Д.В. – магистрант 2 курса специальности 7М05104 – Общая и прикладная биотехнология, кафедры биотехнологии и микробиологии, НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Астана, Республика Казахстан.

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) является одной из важнейших сельскохозяйственных культур Казахстана, однако его продуктивность существенно ограничивается воздействием комплекса фитопатогенных организмов. Целью настоящего исследования являлось изучение разнообразия грибных, бактериальных патогенов и фитонематод, ассоциированных с клубнями картофеля, отобранными в Акмолинской и Карагандинской областях. Задачи: в рамках работы были проведены отбор и фитопатологический анализ клубней различных сортов картофеля, выделение и культивирование микроорганизмов методом первичного посева на питательные среды, получение чистых культур патогенов, их морфологическая и микроскопическая идентификация, а также молекулярно-генетический анализ выделенных изолятов с целью их видовой идентификации. Проведена оценка частоты встречаемости выявленных фитопатогенов в зависимости от сортовой принадлежности

сти исследуемых образцов. В работе была проанализирована 21 проба, представленная 10 сортами картофеля, с использованием классических микробиологических, микроскопических и молекулярно-генетических методов. Первичный посев на картофельно-глюкозный агар выявил сложные микробные ассоциации, включающие бактерии и микромицеты. Чистые культуры были выделены и идентифицированы на основании морфологических и микроскопических признаков. Их видовая принадлежность была подтверждена молекулярно-генетической идентификацией по последовательностям ITS-региона рибосомальной ДНК грибов и гена 16S rRNA бактерий. Установлено, что доминирующими патогенами являлись представители родов *Fusarium* spp. (до 95%) и *Rhizopus* spp. (до 50%), тогда как *Alternaria alternata* (до 25%), *Colletotrichum coccodes* (до 25%), *Phytophthora* spp. (до 20%) и *Erwinia* spp. (до 15%) встречались реже. Результаты секвенирования подтвердили присутствие *Fusarium solani*, *Rhizopus stolonifer*, *Alternaria alternata*, *Colletotrichum coccodes* и *Erwinia chrysanthemi*. Дополнительно в образцах сортов гала, Вега, Мия и Аризона выявлены фитонематоды, морфологически соответствующие *Ditylenchus destructor*. Установлено, что наибольшая степень инвазии наблюдалась у сорта Аризона, средний уровень – у сорта гала, тогда как у сортов Вега и Мия уровень заражения был минимальным. Полученные результаты свидетельствуют о комплексной природе поражения картофеля с преобладанием грибной этиологии и значимой ролью фитонематод в повреждении тканей и развитии вторичной инфекции.

Ключевые слова: картофель, бактериальная обсемененность, грибная обсемененность, фитонематоды, фитосанитарный анализ.

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ҚАРАҒАНДЫ ЖӘНЕ АҚМОЛА ОБЛЫСТАРЫНДАҒЫ КАРТОП ФИТОПАТОГЕНДЕРІН КЕШЕНДІ ЗЕРТТЕУ

Смагулова А.М.* – биология ғылымдарының кандидаты, «Ұлттық биотехнология орталығы» ЖШС, Биологиялық әртүрлілік және генетикалық ресурстар зертханасының аға ғылыми қызметкері, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Киян В.С. – PhD, профессор, «Ұлттық биотехнология орталығы» ЖШС, Биологиялық әртүрлілік және генетикалық ресурстар зертханасының меңгерушісі, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Уахит Р.С. – PhD, «Ұлттық биотехнология орталығы» ЖШС Биологиялық әртүрлілік және генетикалық ресурстар зертханасының аға ғылыми қызметкері, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Болатко Д.В. – 7M05104 «Жалпы және қолданбалы биотехнология» мамандығының 2-курс магистранты, «Биотехнология және микробиология» кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Картоп (*Solanum tuberosum* L.) Қазақстандағы маңызды ауыл шаруашылығы дақылдарының бірі, алайда оның өнімділігі фитопатогенді организмдердің әсерінен едәуір төмендейді. Зерттеудің мақсаты Ақмола және Қарағанды облыстарынан жиналған картоп түйнектерімен байланысқан саңырауқұлақ, бактериялық патогендер мен фитонематодтардың алуантүрлілігін зерттеу болды. Міндеттері: картоптың әртүрлі сұрыптарының түйнектеріне фитопатологиялық талдау жүргізу, микроорганизмдерді бөліп алу және өсіру, таза дақылдар алу, оларды морфологиялық, микроскопиялық және молекулалық-генетикалық әдістермен идентификациялау, сондай-ақ фитопатогендердің кездесу жиілігін бағалау. Картоптың 10 сортына жататын 21 үлгі микробиологиялық, микроскопиялық және молекулалық-генетикалық әдістермен талданды. Картоп-глюкозалы агарға алғашқы себу барысында бактериялар мен микромицеттерден тұратын микробтық ассоциациялар анықталды. Бөлініп алынған таза дақылдардың түрлік тиістілігі саңырауқұлақтардың рибосомалық ДНҚ-сының ITS-аймағы және бактериялардың 16S rRNA гені бойынша секвенирлеу арқылы расталды. Басым патогендер *Fusarium* spp. (95%-ға дейін) және *Rhizopus* spp. (50%-ға дейін) болды, ал *Alternaria alternata* (25%-ға дейін), *Colletotrichum coccodes* (25%-ға дейін), *Phytophthora* spp. (20%-ға дейін) және *Erwinia* spp. (15%-ға дейін) сирек кездесті. Секвенирлеу *Fusarium solani*, *Rhizopus stolonifer*, *Alternaria alternata*, *Colletotrichum coccodes* және *Erwinia chrysanthemi* түрлерін растады. Гала, Вега, Мия және Аризона сорттарынан *Ditylenchus destructor* ретінде морфологиялық анықталған фитонематодтар табылды, инвазияның ең жоғары деңгейі Аризона сортында байқалды. Нәтижелер картоп зақымдануының кешенді сипатын, саңырауқұлақ патогендерінің басымдығын және фитонематодтардың ұлпа зақымдануы мен екінші реттік инфекциялардың дамуындағы маңызды рөлін көрсетті.

Түйінді сөздер: картоп, бактериялық ластану, саңырауқұлақтық ластану, фитонематодтар, фитосанитарлық талдау.

COMPREHENSIVE STUDY OF POTATO PHYTOPATHOGENS IN THE KARAGANDA AND AKMOLA REGIONS OF KAZAKHSTAN

Smagulova A.M.* – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Biodiversity and Genetic Resources, National Center for Biotechnology LLP, Astana, Republic of Kazakhstan.

Kiyan V.S. – PhD, Professor, Head of the Laboratory of Biodiversity and Genetic Resources, National Center for Biotechnology LLP, Astana, Republic of Kazakhstan.

Uakhit R.S. – PhD, Senior Researcher, Laboratory of Biodiversity and Genetic Resources, National Center for Biotechnology LLP, Astana, Republic of Kazakhstan.

Bogatko D.V. – 2nd-year Master's student, "7M05104 – General and Applied Biotechnology" educational program, Department of biotechnology and microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan.

Potato (*Solanum tuberosum* L.) is one of the most important agricultural crops in Kazakhstan; however, its productivity is substantially limited by phytopathogenic organisms. The aim of this study was to investigate the diversity of fungal and bacterial pathogens and phytonematodes associated with potato tubers collected from the Akmola and Karaganda regions. The objectives included the sampling and phytopathological analysis of tubers from various potato varieties, the isolation and cultivation of microorganisms via primary inoculation on nutrient media, the acquisition of pure pathogen cultures, their morphological and microscopic identification, as well as molecular genetic analysis of the isolated strains for species-level identification. The frequency of occurrence of the identified phytopathogens was assessed depending on the varietal affiliation of the studied samples. A total of 21 samples representing 10 potato cultivars were analyzed using conventional microbiological, microscopic, and molecular genetic methods. Pure cultures were isolated and identified based on morphological and microscopic characteristics. Their species identity was confirmed by molecular genetic identification using ITS region sequences of fungal ribosomal DNA and the 16S rRNA gene of bacteria. The dominant pathogens were *Fusarium* spp. (up to 95%) and *Rhizopus* spp. (up to 50%), while *Alternaria alternata* (up to 25%), *Colletotrichum coccodes* (up to 25%), *Phytophthora* spp. (up to 20%), and *Erwinia* spp. (up to 15%) occurred less frequently. The sequencing results confirmed the presence of *Fusarium solani*, *Rhizopus stolonifer*, *Alternaria alternata*, *Colletotrichum coccodes*, and *Erwinia chrysanthemi*. Additionally, phytonematodes morphologically consistent with *Ditylenchus destructor* were detected in samples of the Gala, Vega, Miya, and Arizona cultivars. It was established that the highest level of infestation was observed in the Arizona cultivar, a moderate level in the Gala cultivar, while the Vega and Miya cultivars exhibited minimal infection. The obtained results indicate the complex nature of potato damage, with a predominance of fungal etiology and a significant role of phytonematodes in tissue damage and the development of secondary infection.

Keywords: potato, bacterial contamination, fungal contamination, phytonematodes, phytosanitary analysis.

Введение

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) – одна из важнейших продовольственных культур в мире, занимающая одно из ведущих мест среди основных сельскохозяйственных культур по объему производства и потребления. Однако его урожайность значительно ограничивается широким спектром фитопатогенов, включая грибы, оомицеты, бактерии, вирусы и нематоды, что может привести к серьезным экономическим потерям и угрожать продовольственной безопасности. Среди них наиболее разрушительными считаются грибковые и грибоподобные патогены из-за их быстрого распространения и высокой адаптивности к условиям окружающей среды [1, с. 5; 2 с. 21].

Одной из самых разрушительных болезней, поражающих картофель во всем мире, является фитофтороз, вызываемый *Phytophthora infestans*. Этот патоген является причиной исторических неурожаев и продолжает вызывать ежегодные потери урожая примерно на 10-15% во всем мире. Болезнь быстро развивается в прохладных и влажных условиях, приводя к уничтожению листьев и клубней, и остается серьезной проблемой для устойчивого производства картофеля [3, с. 561; 4, с. 47]. Помимо фитофтороза, в картофелеводческих регионах широко распространен ранний фитофтороз, вызываемый видами рода *Alternaria*, в частности *Alternaria solani*, который приводит к преждевременному опаданию листьев и снижению урожайности клубней. К другим важным грибковым патогенам относятся виды *Fusarium*, *Rhizoctonia* и *Helminthosporium*, которые поражают как полевые культуры, так и качество хранения [5, с. 8; 6, с. 54].

В последние годы все больше внимания уделяется роли фитопатогенных комплексов, когда несколько патогенов одновременно поражают картофельные растения, усугубляя тяжесть заболевания и осложняя диагностику и стратегии борьбы. Более того, появление новых вирулентных штаммов и эволюция популяций патогенов в условиях изменения климата еще больше обостряют проблему [7, с. 212]. Современные подходы к защите растений делают упор на комплексное управление болезнями, включая устойчивые сорта, биологические средства борьбы и молекулярно-диагностические методы, такие как ПЦР-диагностика и технологии редактирования генома [8, с. 256].

В Казахстане картофель является стратегически важной культурой для обеспечения продовольственной безопасности, особенно в северных и центральных регионах, включая Акмолинскую и Карагандинскую области. Однако производство картофеля в этих районах значительно страдает от фитопатогенов. Исследования показывают, что фитофтороз и вирусные инфекции являются одними из наиболее распространенных и экономически значимых заболеваний в стране. Кроме того, карантинные организмы, такие как картофельные цистообразующие нематоды (*Globodera rostochiensis* и *G. pallida*),

могут вызывать потери урожая до 30%, представляя серьезную угрозу для сельскохозяйственной продуктивности. Несмотря на признанную важность этих патогенов, комплексные исследования, включающие морфологическую, культуральную и молекулярную идентификацию фитопатогенов картофеля в Казахстане, остаются ограниченными [9, с. 14; 10, с. 13].

Региональная изменчивость климатических условий, методов ведения сельского хозяйства и восприимчивости сортов требует локальных исследований разнообразия и распространения фитопатогенов. В частности, агроэкологические условия Акмолинской и Карагандинской областей, характеризующиеся континентальным климатом, колебаниями температуры и изменяющимся режимом влажности, создают благоприятную среду для развития и распространения как грибковых, так и оомицетных патогенов. Кроме того, предыдущие исследования в Казахстане часто фокусировались на отдельных патогенах или основывались преимущественно на морфологической идентификации, что подчеркивает необходимость комплексных подходов, сочетающих классические фитопатологические методы с современными молекулярными технологиями [11, с. 141].

Поэтому всестороннее исследование фитопатогенов картофеля в этих регионах имеет важное значение для улучшения диагностики заболеваний, понимания разнообразия патогенов и разработки эффективных стратегий борьбы. Интеграция морфологического, культурального и молекулярно-генетического анализов позволяет точно идентифицировать патогены, оценивать их патогенность и эпидемиологическое значение. Такие исследования способствуют развитию устойчивых систем защиты растений и повышению продовольственной безопасности в Казахстане [12, с. 61].

Целью настоящего исследования являлось комплексное изучение фитопатогенных микроорганизмов картофеля в Акмолинской и Карагандинской областях Казахстана.

Задачи: в рамках работы были проведены отбор и фитопатологический анализ клубней различных сортов картофеля, выделение и культивирование микроорганизмов методом первичного посева на питательные среды, получение чистых культур патогенов, их морфологическая и микроскопическая идентификация, а также оценка частоты встречаемости фитопатогенов в зависимости от сортовой принадлежности исследуемых образцов.

Материалы и методы

Объекты исследования и подготовка образцов

В исследовании использовали 21 пробу клубней картофеля (*Solanum tuberosum* L.), отобранных на территории Акмолинской и Карагандинской областей Республики Казахстан. Образцы представляли 10 сортов: гала, Вега, Мия, МОА, Аризона, PC1, PC2, Коломбо, VR808 и VR800. Каждая проба включала от 15 до 20 клубней.

Перед проведением микробиологических исследований клубни подвергали предварительной обработке. Поверхность образцов тщательно промывали проточной водой для удаления механических загрязнений, после чего проводили поверхностную стерилизацию путем обработки 70% раствором этанола с последующим промыванием стерильной дистиллированной водой.

После стерилизации из тканей клубней (кожура, поражённые участки) вырезали фрагменты размером 3-5 мм, которые асептически переносили на поверхность питательных сред в чашках Петри для последующего выделения и культивирования микроорганизмов.

Выделение и культивирование микроорганизмов

Для выделения фитопатогенных микроорганизмов из образцов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) использовали стандартные микробиологические методы посева на питательные среды. Первичный посев проводили на плотную питательную среду – картофельно-глюкозный агар (Potato Dextrose Agar, PDA), широко применяемый для культивирования грибов и сопутствующей микрофлоры. Данная среда обеспечивает оптимальные условия роста за счет высокого содержания углеводов и слабокислого pH, подавляющего развитие части бактериальной микробиоты [13, с. 151].

Образцы тканей (клубни, корни, стебли) предварительно подвергали поверхностной стерилизации (70% этанол, затем стерильная вода), после чего фрагменты помещали на поверхность среды PDA в чашки Петри. Инкубацию проводили при температуре 25-28 °C в течение 3-7 суток (для бактерий) и до 7-14 суток (для грибов) с ежедневным контролем роста колоний.

Микроскопия бактерий (окраска по Граму)

Для первичной идентификации бактериальных изолятов применяли метод окраски по Граму. Из изолированных колоний готовили мазки на предметных стеклах с последующей фиксацией путем прогрева. Окрашивание проводили по классической схеме с использованием кристаллического фиолетового (основной краситель), раствора Люголя (фиксатор), спирта (деколоризатор) и сафранина (контрастный краситель).

Метод позволяет дифференцировать бактерии на грамположительные (фиолетовые) и грамотрицательные (розовые/красные) в зависимости от структуры клеточной стенки, в частности толщины слоя пептидогликана [14, с. 120]. Микроскопирование проводили при увеличении $\times 100$ с использованием иммерсионной системы.

Микроскопия грибов

Морфологическую идентификацию грибных культур проводили методом световой микроскопии. Для приготовления препаратов использовали нативные препараты в глицерине (10-20%), который обеспечивает сохранение структуры мицелия и спор.

Небольшое количество мицелия переносили на предметное стекло, добавляли каплю глицерина и накрывали покровным стеклом. Препараты изучали при увеличениях $\times 100$ – $\times 40$. Оценивали морфологические признаки: строение мицелия, наличие перегородок, тип спороношения, форму и размеры конидий [15, с. 5].

Культивирование грибов на среде PDA и последующее микроскопическое изучение являются стандартными методами микологической диагностики, широко применяемыми для идентификации фитопатогенных грибов.

Выделение ДНК и молекулярная идентификация

Для молекулярной идентификации грибных изолятов проводили амплификацию внутреннего транскрибируемого спейсера рибосомальной ДНК (ITS-региона) с использованием универсальных праймеров ITS5 (5'-GGAAGTAAAGTCGTAACAAGG-3') и ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') (Integrated DNA Technologies, США), 16SrRNA-8F (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3') и 16SrRNA-806R (5'-GGACTACCAGGGTATCTAAT-3') (Sigma-Aldrich, USA). Полимеразную цепную реакцию (ПЦР) выполняли на амплификаторе SimpliAmp Thermal Cycler (Applied Biosystems, США). Амплификацию проводили по следующей программе: предварительная денатурация при 94 °C в течение 5 мин; далее 35 циклов, включающих денатурацию при 95 °C в течение 30 с, отжиг праймеров при 52 °C в течение 40 с и элонгацию при 72 °C в течение 50 с; заключительная элонгация проводилась при 72 °C в течение 7 мин.

Полученные ПЦР-продукты очищали от остатков праймеров, свободных дезоксинуклеотидов и других компонентов реакционной смеси методом ферментативной обработки. Для каждой пробы готовили реакционную смесь общим объемом 10 мкл, включающую: деионизированную воду – 7,25 мкл, 10× PCR Buffer – 1,0 мкл, $MgCl_2$ – 1,0 мкл, SAP (5 мМ) – 0,25 мкл и Exonuclease I (5 Ед/мкл) – 0,125 мкл. Смесь добавляли к каждому ПЦР-продукту и инкубировали в амплификаторе при следующих условиях: 37 °C – 30 мин, 85 °C – 15 мин, затем охлаждение при 4 °C до дальнейшего использования.

Реакцию циклического секвенирования проводили с использованием набора BigDye® Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems, США) в соответствии с рекомендациями производителя. Реакционную смесь готовили в тонкостенных пробирках объемом 0,2 мл. Программа секвенирования включала 30 циклов: денатурация при 96 °C в течение 20 с, отжиг при 50 °C в течение 20 с и элонгация при 60 °C в течение 4 мин с последующим охлаждением до 4 °C.

Полученные нуклеотидные последовательности депонировали в международной базе данных GenBank.

Результаты

В ходе проведённых исследований была получена и проанализирована 21 проба клубней картофеля (*Solanum tuberosum* L.), отобранных в хозяйствах Акмолинской и Карагандинской областей.

При визуальном обследовании клубней отмечены признаки поражения различной степени выраженности, включая некротические участки, изменение окраски тканей и структурные нарушения. Для детальной оценки внутреннего состояния клубни были разрезаны, что позволило выявить скрытые патологические изменения тканей. Внешний вид исследованных клубней и характер поражений в разрезе



Рисунок 1 – Внешний вид исследованных клубней и характер поражений в разрезе

Представлены образцы клубней картофеля с признаками поражения различной этиологии. На поверхности клубней отмечаются участки некроза, потемнения кожуры, а также признаки микробной колонизации. В разрезе выявлены внутренние патологические изменения, включая размягчение тканей, водянистую и губчатую структуру, полости, а также участки бурой и чёрной гнили. В отдельных образцах наблюдается выраженное разрушение паренхимы с формированием микромицелиальных разрастаний, что может свидетельствовать о развитии грибной и бактериальной инфекции.

После визуальной оценки внешних и внутренних признаков поражения клубней картофеля с целью выявления возбудителей заболеваний был проведён первичный микробиологический анализ. Для этого из поражённых и условно здоровых участков клубней отбирали фрагменты тканей и осуществляли их посев на питательные среды. Первичный посев фрагментов картофеля позволил получить рост микробных ассоциаций, представленных бактериями и микромицетами. Процесс первичного посева фрагментов клубней картофеля на питательную среду представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Первичный посев фрагментов клубней картофеля на картофельно-глюкозном агаре

Наблюдается рост смешанных микробных ассоциаций, включающих бактериальные и грибные культуры. Колонии различаются по морфологическим характеристикам: форме, окраске, текстуре и скорости роста. На чашках Петри отмечается развитие обильно растущих мицелиальных колоний различной окраски (белой, серой, зелёной, желтоватой), характерных для микромицетов, а также локализованных бактериальных колоний с гладкой или слизистой поверхностью. В ряде случаев наблюдается конкурентный рост микроорганизмов и формирование зон ингибирования, что свидетельствует о межвидовых взаимодействиях в составе микробного комплекса.

Полученные результаты подтверждают наличие разнообразной фитопатогенной микробиоты в исследуемых образцах картофеля и обосновывают необходимость последующей изоляции чистых культур и их идентификации (рисунок 3).

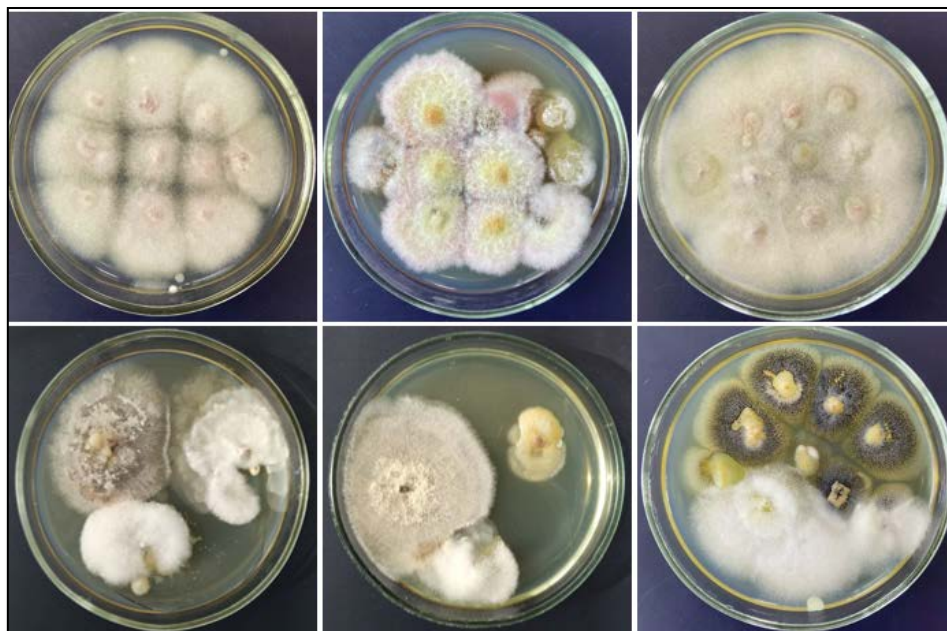


Рисунок 3 – Морфологические особенности чистых культур микроорганизмов, выделенных из клубней картофеля, на картофельно-глюкозном агаре

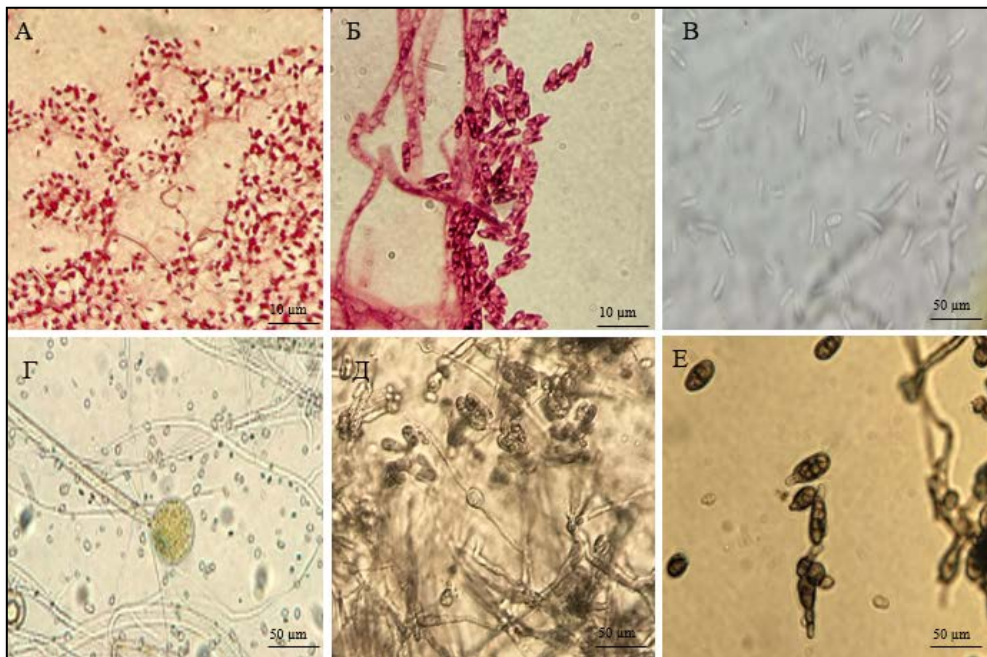
В результате пересева и выделения чистых культур из первичных микробных ассоциаций были получены изоляты со стабильными морфологическими признаками (рисунок 3). Культуры различались

по скорости роста, окраске и структуре колоний, что указывает на присутствие различных групп микромицетов и бактерий.

Грибные изоляты формировали плотные колонии с развитым мицелием белого, кремового, серого и тёмного оттенков, с вариабельной текстурой поверхности – от пушистой до бархатистой и порошкообразной. В ряде случаев отмечалась зональность роста и пигментация центральной части колоний.

Также наблюдались быстрорастущие радиальные колонии и компактные формы с ограниченным ростом. Отдельные изоляты характеризовались плотными, приподнятыми колониями с гладкой поверхностью, типичными для бактериальных культур.

Микроскопическое исследование полученных изолятов подтвердило морфологические различия грибных структур (мицелий, конидии) и бактериальных клеток (рисунок 4).



А – *Erwinia* spp.; Б – *Colletotrichum coccodes*; В – *Fusarium solani*; Г – *Rhizopus* spp.;
Д – *Phytophthora* spp.; Е – *Alternaria alternata*

Рисунок 4 – Микроскопические характеристики бактериальных и грибных изолятов

При микроскопическом исследовании выявлены различные морфологические типы микроорганизмов. Бактериальные клетки представлены мелкими грамтрицательными палочками размером приблизительно 0,5-1,0×1,0-3,0 мкм, располагающимися одиночно или в коротких цепочках, что характерно для фитопатогенных бактерий рода *Erwinia*.

Грибные изоляты характеризуются наличием септированных гиф толщиной 2-5 мкм и формированием конидий. У представителей типа *Colletotrichum* наблюдаются овальные или цилиндрические конидии размером около 10-20×3-5 мкм, формирующиеся на конидиеносцах.

Для *Fusarium* характерны серповидные (саблевидные) макроконидии длиной 20-50 мкм с 3-5 перегородками, а также тонкие гифы диаметром 2-4 мкм.

Представители *Rhizopus* демонстрируют широкие несептированные (коеноцитные) гифы диаметром до 10-15 мкм и шаровидные спорангии диаметром 50-150 мкм, содержащие многочисленные округлые спорангиоспоры.

Для оомицетов рода *Phytophthora* характерны разветвлённые гифы и лимоновидные или овальные спорангии размером 20-60 мкм, выполняющие функцию бесполого размножения.

У *Alternaria alternata* выявлены тёмноокрашенные, многоклеточные (муроформные) конидии размером 20-60×7-18 мкм с поперечными и продольными перегородками, часто с характерным «клювом».

С целью подтверждения результатов культурально-морфологической идентификации была проведена молекулярно-генетическая идентификация выделенных изолятов. Видовую принадлежность грибов подтверждали на основании анализа последовательностей ITS-региона рибосомальной ДНК, тогда как идентификацию бактериальных изолятов осуществляли по последовательностям гена 16S rRNA. Результаты секвенирования и последующего сравнения с последовательностями базы данных GenBank подтвердили правильность культурально-морфологической идентификации исследуемых фитопатогенов. Полученные нуклеотидные последовательности были депонированы в международную базу данных GenBank под следующими номерами: *Fusarium solani* (PZ597531), *Colletotrichum coccodes* (PZ597532), *Alternaria alternata* (PZ597533), *Rhizopus stolonifer* (PZ618367) и *Erwinia chrysanthemi* (PZ597522).

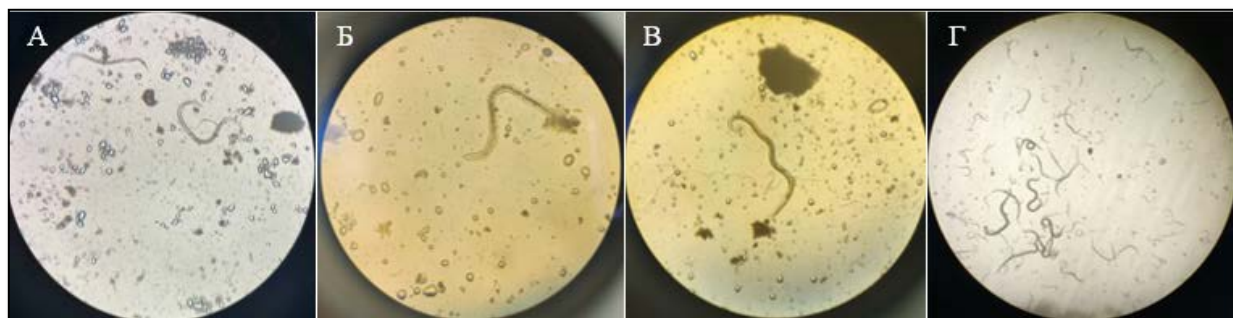
Анализ частоты встречаемости фитопатогенов показал, что наибольшее распространение среди исследованных сортов имели представители родов *Fusarium* и *Rhizopus*, тогда как бактериальные патогены (*Erwinia* spp.) и оомицеты (*Phytophthora* spp.) встречались реже (таблица 1).

Таблица 1 – Частота встречаемости фитопатогенов у различных сортов картофеля, %

Сорт картофеля	<i>Fusarium solani</i>	<i>Rhizopus stolonifer</i>	<i>Alternaria alternata</i>	<i>Colletotrichum coccodes</i>	<i>Phytophthora</i> spp.	<i>Erwinia chrysanthemi</i>
Гала	20	25	–	25	20	5
Вега	20	25	25	15	–	–
Мия	–	25	–	–	–	–
МОА	95	–	–	–	–	5
Аризона	–	40	20	–	20	5
PC1	–	40	–	–	5	–
PC2	5	10	–	–	–	–
VR 800	25	50	–	–	–	15
VR 808	10	–	–	10	10	–
Коломбо	45	–	5	–	20	5

Анализ данных показывает, что среди исследованных сортов картофеля доминируют грибные патогены, прежде всего представители родов *Fusarium* и *Rhizopus*, которые характеризуются наибольшей частотой встречаемости и широким распространением. Наиболее высокая поражённость *Fusarium* spp. отмечена у сорта МОА (95%) и Коломбо (45%), тогда как *Rhizopus* spp. преобладает у сорта VR 800 (50%), а также у PC1 и Аризона (по 40%). Представители *Alternaria* spp. и *Colletotrichum coccodes* встречаются реже и носят более ограниченный характер распространения. Оомицеты рода *Phytophthora* выявлены в умеренных количествах у отдельных сортов (Гала, Аризона, Коломбо), что указывает на их локальную роль в патогенезе. Бактериальные патогены (*Erwinia* spp.) регистрируются в низкой концентрации (до 15%), преимущественно в сочетании с грибной инфекцией. В целом полученные данные свидетельствуют о преобладании грибной этиологии заболеваний картофеля в исследуемых регионах с вариабельной восприимчивостью сортов к различным патогенам.

После визуальной оценки и анализа внутренних тканей клубней установлено, что наряду с бактериальными и грибными поражениями в ряде образцов выявлено присутствие фитопаразитических нематод. В частности, в образцах сортов: Гала, Вега, Мия и Аризона обнаружены особи, морфологически соответствующие *Ditylenchus destructor* (рисунок 5).



А – Гала; Б – Вега; В – Мия; Г – Аризона

Рисунок 5 – Микроскопическое выявление фитонематод (*Ditylenchus destructor*) в клубнях картофеля различных сортов

После микроскопического исследования установлено, что степень инвазии фитонематод варьирует в зависимости от сорта картофеля. Наибольшее количество особей *Ditylenchus destructor* отмечено в образцах сорта Аризона, что свидетельствует о высокой степени поражённости. У сорта Гала наблюдался средний уровень инвазии. В то же время в образцах сортов Вега и Мия регистрировалось значительно меньшее количество нематод, что указывает на более низкую степень заражения.

Полученные данные свидетельствуют о различной восприимчивости сортов картофеля к поражению фитонематодами.

Обсуждение

Полученные результаты подтверждают, что поражение клубней картофеля в Акмолинской и Карагандинской областях носит комплексный характер с доминированием грибной микобиоты, прежде всего представителей *Fusarium* spp. и *Rhizopus* spp. Высокая частота встречаемости *Fusarium* spp., особенно у сорта МОА (95%), согласуется с современными исследованиями, согласно которым виды рода *Fusarium* являются основными возбудителями сухой гнили картофеля как в поле, так и в период хранения. Gavrilo

et al. отмечают, что представители комплекса *Fusarium solani* активно колонизируют поврежденные клубни и способны вызывать значительное ухудшение качества продукции [16, с. 10]. Аналогично Li et al. и Tiwari et al. указывают, что *Fusarium dry rot* сопровождается разрушением тканей клубня и снижением его пищевой и семенной ценности [17, с. 7; 18, с. 11]. Высокая встречаемость *Rhizopus* spp. у сортов VR 800, PC1 и Аризона также подтверждает важную роль быстроразвивающихся мягких гнилей в послеуборочный период. По данным Amadioha, интенсивность развития *Rhizopus*-ассоциированных гнилей тесно связана с механическими повреждениями клубней и нарушением условий хранения [19, с. 312].

Выявление *Alternaria alternata* и *Colletotrichum coccodes* свидетельствует об участии некротрофных грибов в формировании смешанных инфекций картофеля. В исследовании Schmeu et al. показано, что *Alternaria* spp. являются важным компонентом патогенного комплекса картофеля и способны усиливать поражение ослабленных тканей [20, с. 5]. В свою очередь Lees и Hilton рассматривают *Colletotrichum coccodes* как возбудителя черной точки картофеля, вызывающего поверхностные и внутренние повреждения клубней, особенно при стрессовых условиях выращивания и хранения [21, с. 7]. Дополнительно Massana-Codina et al. подчеркивают, что устойчивость картофеля к *C. coccodes* имеет количественный характер и существенно варьирует между сортами [22, с. 8], что согласуется с нашими результатами, где степень пораженности патогенами различалась в зависимости от сортовой принадлежности.

Наличие *Phytophthora* spp. в образцах гала, Аризона и Коломбо подтверждает потенциальную роль фитофторозной инфекции в исследуемых регионах. Хотя частота встречаемости оомицетов была ниже по сравнению с *Fusarium* spp., их присутствие указывает на сохранение риска фитофтороза в условиях переменной влажности и континентального климата. Обнаружение грамтрицательных бактерий, морфологически соответствующих *Erwinia* spp., также свидетельствует о развитии вторичной бактериальной инфекции. Czajkowski et al. отмечают, что бактерии комплексов *Pectobacterium*/ *Dickeya* часто сопровождают грибные поражения клубней и вызывают мягкие гнили при хранении [23, с. 22]. Таким образом, бактериальные патогены в исследуемых образцах, вероятно, выступают как вторичный компонент фитопатогенного комплекса.

Особое значение имеет выявление фитонематод, морфологически соответствующих *Ditylenchus destructor*, у сортов гала, Вега, Мия и Аризона. Наибольшая степень инвазии у сорта Аризона сопровождалась высокой встречаемостью грибных и бактериальных патогенов, что может указывать на синергизм между фитонематодами и микробной инфекцией. Согласно данным Song et al., *D. destructor* является одним из наиболее опасных паразитов клубнеплодных культур, повреждающим ткани клубней и способствующим развитию вторичных инфекций [24, с. 4]. Аналогичные сведения представлены в базе CABi, где данный вид рассматривается как важный фактор формирования смешанных гнилей картофеля [25, с. 8]. В целом результаты исследования подтверждают, что фитопатогенный комплекс картофеля в исследуемых регионах формируется под влиянием сочетанного действия грибов, бактерий и фитонематод, а различия между сортами отражают неодинаковую степень их устойчивости к патогенам.

Заключение

В результате проведенного исследования установлено, что фитопатогенный комплекс картофеля в Акмолинской и Карагандинской областях характеризуется высоким разнообразием и доминированием грибных патогенов. Основную роль в поражении клубней играют представители родов *Fusarium* и *Rhizopus*, тогда как *Alternaria*, *Colletotrichum*, *Phytophthora* и бактериальные патогены (*Erwinia* spp.) встречаются реже и, как правило, сопровождают основные инфекционные процессы.

Дополнительно установлено присутствие фитопаразитических нематод, морфологически идентифицированных как *Ditylenchus destructor*, в образцах сортов гала, Вега, Мия и Аризона. Наибольшая степень инвазии отмечена у сорта Аризона, средний уровень – у сорта гала, тогда как минимальная зараженность выявлена у сортов Вега и Мия. Обнаружение нематод в тканях клубней указывает на их значимую роль в формировании патологических изменений, включая разрыхление тканей и создание условий для развития вторичной грибной и бактериальной инфекции.

Молекулярно-генетическая идентификация на основе анализа ITS-региона рибосомальной ДНК грибов и гена 16S rRNA бактерий полностью подтвердила результаты культурально-морфологической идентификации. Секвенирование позволило достоверно идентифицировать изоляты *Fusarium solani*, *Rhizopus stolonifer*, *Alternaria alternata*, *Colletotrichum coccodes* и *Erwinia chrysanthemi*, а полученные нуклеотидные последовательности были депонированы в международной базе данных GenBank.

Таким образом, полученные результаты подтверждают комплексный характер поражения картофеля, обусловленный взаимодействием грибных, бактериальных патогенов и фитонематод. Комплексное применение культурально-морфологических и молекулярно-генетических методов позволило достоверно установить видовой состав основных возбудителей заболеваний картофеля в исследуемых регионах Казахстана. Выявленные различия в степени пораженности между сортами свидетельствуют об их неодинаковой восприимчивости к фитопатогенам, что подчеркивает необходимость дальнейших исследований, направленных на оценку устойчивости сортов и разработку эффективных мер фитосанитарного контроля.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Kvasko O., Kolomiets Y., Buziashvili A., Yemets A. **Biotechnological approaches to increase the bacterial and fungal disease resistance in potato** [Текст] / O. Kvasko, Y. Kolomiets, A. Buziashvili, A. Yemets // The Open Agriculture Journal. – 2022. – Vol. 16. – No. 1. – P. e2210070. – DOI: 10.2174/18743315-v16-e2210070.
2. Alshimaysawe U.A.A.A., Mohammed A.E., Ali S.M., Al-Gburi B.K.H., Al-Fallooji S.A.K. **Controlling stem canker and black scurf disease complex on potato plants using Trichoderma isolates** [Текст] / U.A.A.A. Alshimaysawe, A.E. Mohammed, S.M. Ali, B.K.H. Al-Gburi, S.A.K. Al-Fallooji // Pakistan Journal of Phytopathology. – 2024. – Vol. 36. – No. 1. – P. 19–27. – DOI: 10.33866/phytopathol.036.01.0972.
3. Andrivon D., Avendaño-Córcoles J., Cameron A.M. et al. **Stability and variability of virulence of Phytophthora infestans assessed in a ring test across European laboratories** [Текст] / D. Andrivon, J. Avendaño-Córcoles, A.M. Cameron et al. // Plant Pathology. – 2011. – Vol. 60. – P. 556–565. – DOI: 10.1111/j.1365-3059.2010.02392.x.
4. Runno-Paurson E., Hansen M., Kotkas K., Williams I.H., Niinemets Ü., Einola A. **Evaluation of late blight foliar resistance of potato cultivars in northern Baltic conditions** [Текст] / E. Runno-Paurson, M. Hansen, K. Kotkas, I.H. Williams, Ü. Niinemets, A. Einola // Zemdirbyste. – 2019. – Vol. 106. – No. 1. – P. 45–52. – DOI: 10.13080/z-a.2019.106.006.
5. Nowicki M., Foolad M.R., Nowakowska M., Kozik E.U. **Potato and tomato late blight caused by Phytophthora infestans: an overview of pathology and resistance breeding** [Текст] / M. Nowicki, M.R. Foolad, M. Nowakowska, E.U. Kozik // Plant Disease. – 2012. – Vol. 96. – No. 1. – P. 4–17. – DOI: 10.1094/PDIS-05-11-0458.
6. Solomiichuk M., Pikovskyi M. **Biological control of Alternaria and late blight of potatoes** [Текст] / M. Solomiichuk, M. Pikovskyi // Plant and Soil Science. – 2025. – Vol. 16. – No. 1. – P. 52–60. – DOI: 10.31548/plant1.2025.52.
7. Glazebrook J. **Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens** [Текст] / J. Glazebrook // Annual Review of Phytopathology. – 2005. – Vol. 43. – P. 205–227. – DOI: 10.1146/annurev.phyto.43.040204.135923.
8. Mullins E., Milbourne D., Petti C., Doyle-Prestwich B.M., Meade C. **Potato in the age of biotechnology** [Текст] / E. Mullins, D. Milbourne, C. Petti, B.M. Doyle-Prestwich, C. Meade // Trends in Plant Science. – 2006. – Vol. 11. – No. 5. – P. 254–260. – DOI: 10.1016/j.tplants.2006.03.002.
9. Adilbayeva K., Moiseyev R., Kolchenko M. et al. **Genetic evaluation of Kazakhstani potato germplasm for pathogen and pest resistance using DNA markers** [Текст] / K. Adilbayeva, R. Moiseyev, M. Kolchenko et al. // Agronomy. – 2024. – Vol. 14. – No. 9. – P. 1923. – DOI: 10.3390/agronomy14091923.
10. Yessimseitova A., Abdrakhmanova A., Tokbergenova Z. et al. **Identification and characterization of Alternaria species causing early blight on tomato in Kazakhstan** [Текст] / A. Yessimseitova, A. Abdrakhmanova, Z. Tokbergenova et al. // Agronomy. – 2025. – Vol. 15. – No. 5. – P. 1251. – DOI: 10.3390/agronomy15051251.
11. Муранец А.П., Жаныбекова Ж.Т., Рыскельдина А.Ж., Какимжанова А.А. **Изучение микромицетов, выделенных из клубней картофеля, пораженных сухой гнилью в Казахстане** [Текст] / А.П. Муранец, Ж.Т. Жаныбекова, А.Ж. Рыскельдина, А.А. Какимжанова // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина: Междисциплинарный. – 2025. – No. 3 (127). – С. 138–153. – DOI: 10.51452/kazatu.2025.3(127).2016.
12. Хасанов В.Т., Екатеринбургская Е.М., Сидорик А.И. и др. **Сравнительная оценка новых сортов и селекционных образцов картофеля с пигментированной мякотью клубней в условиях Костанайской области** [Текст] / В.Т. Хасанов, Е.М. Екатеринбургская, А.И. Сидорик и др. // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина: Междисциплинарный. – 2025. – No. 2 (125). – С. 54–74. – DOI: 10.51452/kazatu.2025.2(125).1882.
13. Tang Y.W., Stratton C.W. **Advanced techniques in diagnostic microbiology** [Текст] / Y.W. Tang, C.W. Stratton. – New York: Springer, 2013. – P. 151–152.
14. Smith A.C., Hussey M.A. **Gram stain protocols** [Текст] / A.C. Smith, M.A. Hussey // American Society for Microbiology. – 2005. – Vol. 1. – No. 14. – P. 113–144.
15. Skiada V., Papadopoulou K.K. **Closed systems to study plant-filamentous fungi associations: emphasis on microscopic analyses** [Текст] / V. Skiada, K.K. Papadopoulou // Bio-protocol. – 2025. – Vol. 15. – No. 4. – P. e5186. – DOI: 10.21769/BioProtoc.5186.
16. Gavrilova O., Orina A., Trubin I., Gagkaeva T. **Identification and pathogenicity of Fusarium fungi associated with dry rot of potato tubers** [Текст] / O. Gavrilova, A. Orina, I. Trubin, T. Gagkaeva // Microorganisms. – 2024. – Vol. 12. – No. 3. – P. 598. – DOI: 10.3390/microorganisms12030598.
17. Fenglan Li, Xianfeng Jiang, Meili Sun et al. **Screening of culture conditions for pathogens of potato dry rot** [Текст] / F. Li, X. Zhang, L. Zhao // Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science. – 2014. – Vol. 64. – P. 1–8. – DOI: 10.1080/09064710.2014.953988.

18. Tiwari R.K., Kumar R., Sharma S., Sagar V., Aggarwal R. **Impact of Fusarium dry rot on physicochemical attributes of potato tubers** [Текст] / R.K. Tiwari, R. Kumar, S. Sharma et al. // *Postharvest Biology and Technology*. – 2021. – Vol. 181. – P. 111638. – DOI: 10.1016/j.postharvbio.2021.111638.
19. Amadioha A.C. **Control of storage rot of potato caused by Rhizopus oryzae** [Текст] / A.C. Amadioha // *International Journal of Pest Management*. – 1996. – Vol. 42. – No. 4. – P. 311–314. – DOI: 10.1080/09670879609372011.
20. Schmey T., Horbach R., Deising H.B. **Alternaria diseases on potato and tomato** [Текст] / T. Schmey, R. Horbach, H.B. Deising // *Molecular Plant Pathology*. – 2024. – Vol. 25. – P. e13484. – DOI: 10.1111/mpp.13435.
21. Lees A.K., Hilton A.J. **Insights on the structural and metabolic resistance of potato (*Solanum tuberosum*) cultivars to tuber black dot (*Colletotrichum coccodes*)** [Текст] / A.K. Lees, A.J. Hilton // *Plant Pathology*. – 2003. – Vol. 52. – No. 1. – P. 3–12. – DOI: 10.1046/j.1365-3059.2003.00793.x.
22. Massana-Codina J., Schnee S., Allard P.M. et al. **Insights on the structural and metabolic resistance of potato cultivars to tuber black dot (*Colletotrichum coccodes*)** [Текст] / J. Massana-Codina, S. Schnee, P.M. Allard et al. // *Frontiers in Plant Science*. – 2020. – Vol. 11. – P. 1287. – DOI: 10.3389/fpls.2020.01287.
23. Czajkowski R., Pérombelon M.C.M., van Veen J.A., van der Wolf J.M. **Detection, identification and differentiation of Pectobacterium and Dickeya species causing potato blackleg and tuber soft rot: a review** [Текст] / R. Czajkowski, M.C.M. Pérombelon, J.A. van Veen, J.M. van der Wolf // *Annals of Applied Biology*. – 2015. – Vol. 166. – No. 1. – P. 18–38. – DOI: 10.1111/aab.12166.
24. Song W., Peng D., Huang W. et al. **Diagnosis and characterization of Ditylenchus destructor populations associated with tuber crops** [Текст] / W. Song, D. Peng, W. Huang et al. // *Pathogens*. – 2023. – Vol. 12. – No. 8. – P. 1032. – DOI: 10.3390/path13081758.
25. CABI. **Ditylenchus destructor (potato tuber nematode)** [Электронный ресурс] / CABI // CABI Compendium. – 2021. – DOI: 10.1079/cabicompendium.19286.

REFERENCES:

1. Kvasko O., Kolomiets Y., Buziashvili A., et al. **Biotechnological approaches to increase the bacterial and fungal disease resistance in potato**. *The Open Agriculture Journal*, 2022, vol. 16, no. 1, art. e2210070. DOI: 10.2174/18743315-v16-e2210070.
2. Alshimaysawe U.A.A.A., Mohammed A.E., Ali S.M., et al. **Controlling stem canker and black scurf disease complex on potato plants using Trichoderma isolates**. *Pakistan Journal of Phytopathology*, 2024, vol. 36, no. 1, pp. 19-27. DOI: 10.33866/phytopathol.036.01.0972.
3. Andrivon D., Avendaño-Córcoles J., Cameron A.M. et al. **Stability and variability of virulence of Phytophthora infestans assessed in a ring test across European laboratories**. *Plant Pathology*, 2011, vol. 60, pp. 556-565. DOI: 10.1111/j.1365-3059.2010.02392.x.
4. Runno-Paurson E., Hansen M., Kotkas K., et al. **Evaluation of late blight foliar resistance of potato cultivars in northern Baltic conditions**. *Zemdirbyste*, 2019, vol. 106, no. 1, pp. 45-52. DOI: 10.13080/z-a.2019.106.006.
5. Nowicki M., Foolad M.R., Nowakowska M., et al. **Potato and tomato late blight caused by Phytophthora infestans: an overview of pathology and resistance breeding**. *Plant Disease*, 2012, vol. 96, no. 1, pp. 4-17. DOI: 10.1094/PDIS-05-11-0458.
6. Solomiichuk M., Pikovskyi M. **Biological control of Alternaria and late blight of potatoes**. *Plant and Soil Science*, 2025, vol. 16, no. 1, pp. 52-60. DOI: 10.31548/plant1.2025.52.
7. Glazebrook J. **Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens**. *Annual Review of Phytopathology*, 2005, vol. 43, pp. 205-227. DOI: 10.1146/annurev.phyto.43.040204.135923.
8. Mullins E., Milbourne D., Petti C., et al. **Potato in the age of biotechnology**. *Trends in Plant Science*, 2006, vol. 11, no. 5, pp. 254-260. DOI: 10.1016/j.tplants.2006.03.002.
9. Adilbayeva K., Moiseyev R., Kolchenko M. et al. **Genetic evaluation of Kazakhstani potato germplasm for pathogen and pest resistance using DNA markers**. *Agronomy*, 2024, vol. 14, no. 9, p. 1923. DOI: 10.3390/agronomy14091923.
10. Yessimseitova A., Abdrakhmanova A., Tokbergenova Z. et al. **Identification and characterization of Alternaria species causing early blight on tomato in Kazakhstan**. *Agronomy*, 2025, vol. 15, no. 5, p. 1251. DOI: 10.3390/agronomy15051251.
11. Muranec A.P., Zhanybekova Zh.T., Ryskeldina A.Zh., Kakimzhanova A.A. **Izuchenie mikromicetov, vy'delenny'h iz klubnej kartofelya, porazhenny'h suhoj gnil'yu v Kazahstane** [Study of micromycetes causing dry rot disease of potatoes in Kazakhstan]. *Vestnik nauki Kazahskogo agrotehnicheskogo universiteta im. S. Seifullina: Mezhdistsiplinarny'j*, 2025, vol. 3, iss. 127, pp. 138-153. DOI: 10.51452/kazatu.2025.3(127).2016. (In Russian)
12. Hasanov V.T., Ekaterinskaya E.M., Sidorik A.I. et al. **Sravnitel'naya ocenka novy'h sortov i selekcionny'h obrazcov kartofelya s pigmentirovannoj myakot'yu klubnej v usloviyah Kostanajskoj**

oblasti [Comparative assessment of new varieties and breeding lines of potatoes with pigmented tuber flesh in the conditions of Kostanay region]. *Vestnik nauki Kazahskogo agrotehnicheskogo universiteta im. S. Seifullina: Mezhdistsiplinarnyi*, 2025, vol. 2, iss. 125, pp. 54-74. DOI: 10.51452/kazatu.2025.2(125).1882. (In Russian)

13. Tang Y.W., Stratton C.W. **Advanced techniques in diagnostic microbiology**. New York, Springer Publ., 2013, 400 p.

14. Smith A.C., Hussey M.A. **Gram stain protocols**. *American Society for Microbiology*, 2005, vol. 1, no. 14, pp. 113-144.

15. Skiada V., Papadopoulou K.K. **Closed systems to study plant-filamentous fungi associations: emphasis on microscopic analyses**. *Bio-protocol*, 2025, vol. 15, no. 4, art. e5186. DOI: 10.21769/BioProtoc.5186.

16. Gavrilova O., Orina A., Trubin I., et al. **Identification and pathogenicity of Fusarium fungi associated with dry rot of potato tubers**. *Microorganisms*, 2024, vol. 12, no. 3, art. 598. DOI: 10.3390/microorganisms12030598.

17. Fenglan Li, Xianfeng Jiang, Meili Sun et al. **Screening of culture conditions for pathogens of potato dry rot**. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil & Plant Science*, 2014, vol. 64, pp. 1-8. DOI: 10.1080/09064710.2014.953988.

18. Tiwari R.K., Kumar R., Sharma S., et al. **Impact of Fusarium dry rot on physicochemical attributes of potato tubers**. *Postharvest Biology and Technology*, 2021, vol. 181, art. 111638. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2021.111638.

19. Amadioha A.C. **Control of storage rot of potato caused by Rhizopus oryzae**. *International Journal of Pest Management*, 1996, vol. 42, no. 4, pp. 311-314. DOI: 10.1080/09670879609372011.

20. Schmey T., Horbach R., Deising H.B. **Alternaria diseases on potato and tomato**. *Molecular Plant Pathology*, 2024, vol. 25, art. e13484. DOI: 10.1111/mpp.13435.

21. Lees A.K., Hilton A.J. **Insights on the structural and metabolic resistance of potato (*Solanum tuberosum*) cultivars to tuber black dot (*Colletotrichum coccodes*)**. *Plant Pathology*, 2003, vol. 52, no. 1, pp. 3-12. DOI: 10.1046/j.1365-3059.2003.00793.x.

22. Massana-Codina J., Schnee S., Allard P.M. et al. **Insights on the structural and metabolic resistance of potato cultivars to tuber black dot (*Colletotrichum coccodes*)**. *Frontiers in Plant Science*, 2020, vol. 11, p. 1287. DOI: 10.3389/fpls.2020.01287.

23. Czajkowski R., Pérombelon M.C.M., van Veen J.A., et al. **Detection, identification and differentiation of Pectobacterium and Dickeya species causing potato blackleg and tuber soft rot: a review**. *Annals of Applied Biology*, 2015, vol. 166, no. 1, pp. 18-38. DOI: 10.1111/aab.12166.

24. Song W., Peng D., Huang W. et al. **Diagnosis and characterization of Ditylenchus destructor populations associated with tuber crops**. *Pathogens*, 2023, vol. 12, no. 8, p. 1032. DOI: 10.3390/pathogens12081032.

25. CABI. **Ditylenchus destructor (potato tuber nematode)**. CABI Compendium, 2021. DOI: 10.1079/cabicompendium.19286.

Дата поступления: 09 мая 2026 г. **Принято:** 24 июня 2026 г. **Опубликовано:** 30 сентября 2026 г.

Сведения об авторах:

Смагулова Айнура Муратовна* – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Лаборатории биоразнообразия и генетических ресурсов, ТОО «Национальный центр биотехнологии», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, ш. Коргалжын, 13/5, тел.: 87078523791, e-mail: smagulova0114@gmail.com.

Киян Владимир Сергеевич – PhD, профессор заведующий Лабораторией биоразнообразия и генетических ресурсов, ТОО «Национальный центр биотехнологии», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, ш. Коргалжын, 13/5, тел.: 87011216637, e-mail: vskiyang@gmail.com.

Уахит Рабиға Сейтбатталқызы – PhD, старший научный сотрудник Лаборатории биоразнообразия и генетических ресурсов, ТОО «Национальный центр биотехнологии», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, ш. Коргалжын, 13/5, тел.: 87074324940, e-mail: erken.uakhitrabiga@gmail.com.

Боғатко Дарья Викторовна – магистрант 2 курса специальности 7М05104 – Общая и прикладная биотехнология, кафедры биотехнологии и микробиологии, НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, ул. Кажымукан, 13, корпус 3, тел.: 87057462721, e-mail: d.bgtk2002@gmail.com.

Смагулова Айнура Мұратовна* – биология ғылымдарының кандидаты, Биологиялық әртүрлілік және генетикалық ресурстар зертханасының аға ғылыми қызметкері, «Ұлттық биотехнология орталығы» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Қорғалжын тасжолы, 13/5, тел.: 87078523791; e-mail: smagulova0114@gmail.com.

Киан Владимир Сергеевич – PhD, профессор, Биологиялық әртүрлілік және генетикалық ресурстар зертханасының меңгерушісі, «Ұлттық биотехнология орталығы» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Қорғалжын тасжолы, 13/5, тел.: 87011216637; e-mail: vskiyang@gmail.com.

Уахит Рабига Сейтбатталқызы – PhD, Биологиялық әртүрлілік және генетикалық ресурстар зертханасының аға ғылыми қызметкері, «Ұлттық биотехнология орталығы» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Қорғалжын тасжолы, 13/5, тел.: 87074324940; e-mail: erken.uakhitrabiga@gmail.com.

Богатко Дарья Викторовна. – 7M05104 «Жалпы және қолданбалы биотехнология» мамандығының 2-курс магистранты, «Биотехнология және микробиология» кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Қажымұқан көш, 13, 3 ғимарат, тел.: 87057462721; e-mail: d.bgtk2002@gmail.com.

Smagulova Ainura Muratovna* – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Biodiversity and Genetic Resources, National Center for Biotechnology LLP, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 13/5 Korgalzhyn highway, tel.: 87078523791; e-mail: smagulova0114@gmail.com.

Kiyan Vladimir Sergeyevich – PhD, Professor, Head of the Laboratory of Biodiversity and Genetic Resources, National Center for Biotechnology LLP, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 13/5 Korgalzhyn highway, tel.: 87011216637; e-mail: vskiyang@gmail.com.

Uakhit Rabiga Seitbattalkyzy – PhD, Senior Researcher, Laboratory of Biodiversity and Genetic Resources, National Center for Biotechnology LLP, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 13/5 Korgalzhyn highway, tel.: 87074324940; e-mail: erken.uakhitrabiga@gmail.com.

Bogatko Darya Viktorovna – 2nd year Master's student, "7M05104 – General and Applied Biotechnology" educational program, Department of biotechnology and microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University NJSC, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 13 Kazhymukan Str., 13, bld. 3, tel.: 87057462721; e-mail: d.bgtk2002@gmail.com.

МРНТИ 68.85.81

УДК 631.372.8:004.9

<https://doi.org/10.52269/SEPT2631225>

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Салыков Б.Р.* – кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент) кафедры аграрной техники и транспорта, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Ысқақ А. – кандидат сельскохозяйственных наук, директор научно-исследовательского института прикладной биотехнологии НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Мануйлов Н.В. – инженер кафедры программного обеспечения, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Кабдушева А.С. – PhD кафедры аграрной техники и транспорта, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

В статье рассмотрены современные подходы к цифровой модернизации сельскохозяйственного машиностроения Северного Казахстана. Цель исследования заключалась в разработке методического инструмента для сопоставления цифровой оснащённости отдельных сельскохозяйственных машин и машинно-тракторных парков. Исследование имеет обзорно-аналитический и методический характер. Информационную основу составили научные публикации 2010-2025 годов, отобранные в базах Scopus и Web of Science, а также официальные материалы Европейской комиссии и FAO. Использовались системный и сравнительный анализ, сценарное моделирование и однофакторный анализ чувствительности. Предложен интегральный показатель цифровизации D, учитывающий степень внедрения GPS-навигации, IoT-мониторинга, цифровых платформ управления и инструментов искусственного интеллекта. В отличие от макроуровневых индексов цифровой зрелости, показатель предназначен для оценки цифровой функциональности конкретной машины или парка техники. Весовые коэффициенты предварительно определены на основе оценок 12 специалистов агропромышленного комплекса Костанайской области. Сценарная апробация проведена на пяти вариантах цифровой комплектации. Расчётные значения D изменялись от 0,25 до 1,00. Для базового сценария получено $D = 0,42$. При поочередном изменении весовых коэффициентов на $\pm 20\%$ значение показателя находилось в диапазоне 0,389-0,448 и сохраняло исходную классификационную категорию. Полученные результаты подтверждают внутреннюю устойчивость расчётной мето-