

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-4-74-91

УДК 633.491:635.21:581.143.6



Научная статья

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ОЗДОРОВЛЕНИЮ КАРТОФЕЛЯ В КУЛЬТУРЕ IN VITRO ОТ ВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ

*О.В. Бычкова, Е.С. Бровко, О.Н. Мироненко,
Л.П. Хлебова, А.В. Небылица*

Обоснование. Картофель считают легко восприимчивой к инфекционным, в том числе вирусным заболеваниям, культурой, что является одной из причин снижения урожайности. На сегодняшний день, единственным способом получения и воспроизводства оздоровленного материала картофеля являются технологии на основе меристемно-тканевых культур.

Цель данного исследования – совершенствование подходов к оздоровлению картофеля в культуре *in vitro* от вирусной инфекции.

Материалы и методы. Объектами служили клубни, микрорастения и микроклубни 6 сортов картофеля, поражённые вирусами PVS, PVA, PVM, PVX и PVY в различных сочетаниях. Освобождали от вирусов растительный материал методом термотерапии – $38,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$. В зависимости от сорта и объекта длительность экспонирования составляла 10-25 суток.

Результаты. В исследовании показано, что использование в качестве объекта для термотерапии микроклубней картофеля позволяет освободить растительный материал от вирусов в 25,0-50,0% случаев в зависимости от патогена. Преимущество данной схемы оздоровления заключается, во-первых, в увеличении регенерационной способности эксплантов до 32,9% вследствие исключения процесса стерилизации материала после термотерапии и отсутствия дополнительного метода оздоровления – культуры апикальных меристем. Во-вторых, эффективность освобождения от вирусов повышается за счет увеличения времени экспозиции высокой температуры до 25 суток.

Заключение. Использование такого подхода позволяет элиминировать не только отдельные вирусы, но и их комплекс, например, PVA + PVX, PVM + PVX, PVX + PVS, PVM + PVX + PVS.

Ключевые слова: картофель; *Solanum tuberosum* L.; *in vitro*; фитонато-гены; вирусы картофеля; оздоровление; термотерапия; микроклубни карто-феля; безвирусные растения

Для цитирования. Бычкова О.В., Бровко Е.С., Мироненко О.Н., Хлебова Л.П., Небылица А.В. Совершенствование подходов к оздоровлению картофеля в культуре *in vitro* от вирусной инфекции // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №4. С. 74-91. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-4-74-91

Original article

IMPROVEMENT OF APPROACHES TO ELIMINATION OF VIRUSES IN POTATOES USING IN VITRO CULTURE

*O.V. Bychkova, E.S. Brovko, O.N. Mironenko,
L.P. Khlebova, A.V. Nebylitsa*

Background. Potatoes are considered to be easily susceptible to infections, including viral diseases, which is one of the reasons for the decrease in yield. To date, the only ways to obtain and reproduce healthy potato material are technologies based on meristem-tissue cultures.

Purpose. The aim of this study was to improve approaches to the release of potato from viral infection using *in vitro* culture.

Materials and methods. The objects were tubers, microplants and microtubers of six cultivars of potato affected by PVS, PVA, PVM, PVX and PVY viruses in various combinations. Viruses were eliminated from plant material by thermotherapy at a temperature of $38.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$. Depending on the cultivar and object, the exposure was 10-25 days.

Results. The study showed that the use of potato microtubers as an object for thermotherapy makes it possible to release plant material from viruses in 25.0-50.0% of cases, depending on the pathogen. The advantage of this virus eradication scheme is, firstly, in the increase in the regenerative capacity of explants up to 32.9% due to the exclusion of the sterilization stage after thermotherapy and the absence of apical meristem culture as an additional method of sanitation. Secondly, the efficiency of the release of plant material from viruses increases due to a longer exposure to high temperature up to 25 days.

Conclusion. *The use of this approach made it possible to eliminate not only individual viruses, but also their complex, for example, PVA + PVX, PVM + PVX, PVX + PVS, PVM + PVX + PVS.*

Keywords: *potato, Solanum tuberosum L.; in vitro; phytopathogens; potato viruses; health improvement; thermotherapy; potato microtubers; virus-free plants*

For citation. *Bychkova O.V., Brovko E.S., Mironenko O.N., Khlebova L.P., Nebylitsa A.V. Improvement of Approaches to Elimination of Viruses in Potatoes using in vitro Culture. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 74-91. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-4-74-91*

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) – одна из наиболее значимых продовольственных культур в мире наряду с пшеницей, кукурузой, рисом. Россия входит в тройку стран-лидеров по производству картофеля вместе с Китаем и Индией, является второй страной после КНР по площади возделывания этой культуры. В 2021 г. на территории Российской Федерации на 1,2 млн. га было произведено 18,3 тыс. тонн картофеля [14]. Эта овощная культура используется населением для столового потребления, а также для производства картофеля фри, чипсов, сублимированных продуктов и крахмала [18]. Питательная ценность картофеля на единицу площади в 2-3 раза больше чем у зерновых.

Род *Solanum* L. относят к числу культур с высокой восприимчивостью к инфекционным заболеваниям, часто поражаемых вредителями-насекомыми, что является основной причиной снижения урожайности [6, 8, 25]. Ежегодные потери урожая от фитопатогенов оцениваются на уровне 20-25%, к этому добавляются потери при хранении и переработке картофеля [5, 14]. Увеличение объемов импорта семенного и продовольственного материала, а также расширение ареала фитопатогенов и вредителей вследствие изменения климата приводят к росту зараженности картофеля [5, 10].

Современные данные о распространении вирусных заболеваний не дают комплексного представления о фитосанитарной ситуации в стране, поскольку имеют фрагментарный характер, как о территориальном распространении вирусов, так и их видовом составе [21]. Наиболее вредоносными считаются PVM, PLRV и различные штаммы вируса PVY [24], данные по распространению которых приводятся для основных регионов РФ, производящих картофель [7, 15, 21].

Так по информации Россельхозцентра о распространении вирусных заболеваний картофеля в европейской части РФ наиболее часто встречаются PVS (46,2%), PVY (45,7%), PVM (34,7%), реже образцы поражены

вирусами PVX (12,1%), PVY^{ntn} (9,7%) и PVA (6,0%) и единично вирусами PLRV и PMTV (по 1,2%, соответственно) [5]. Для Самарской области распространение группы вирусов сильных мозаик приводится для PVS – 31%, PVY – 13% и PLRV – 0,8%. Впервые был выявлен штамм PVYⁿ, доля которого среди образцов, пораженных Y вирусом картофеля, составляла 80% [13]. На территории Дальнего Востока во всех районах возделывания картофеля наблюдается распространение патогенов *S. tuberosum* L. Отмечено, что вирусы PVX и PVM часто встречаются в скрытой форме [2]. В условиях северной лесостепи Западной Сибири динамика накопления вирусных инфекций в клонах 1 года суперсуперэлиты не превышала 0,4, 1,3 и 13,8% для вирусов PVX, PVM и PVY, соответственно [8]. На территории Астраханской области сотрудниками Россельхозцентра проведена идентификация вирусных болезней картофеля, отмечено широкое распространение PVY (40-65%), доля остальных вирусных и бактериальных патогенов в исследуемых образцах не превышала 10% [16].

Показано, что для ряда сортов стандартные технологии защиты – обработка минеральным маслом и инсектицидами – не защищают от развития инфекции за счет передачи ее переносчиками. Основным фактором, определяющим развитие вирусной инфекции, является заражение исходного материала [12].

Ключевой задачей в семеноводстве картофеля является точная и своевременная диагностика патогенов, использование комплекса агротехнических мероприятий, в том числе создание сдерживающих факторов для переносчиков, а также внедрение технологий на основе меристемно-тканевых культур, клонального микроразмножения для получения и воспроизводства оздоровленного материала картофеля. В качестве методов оздоровления растений от вирусной инфекции, в том числе картофеля, используют: культуру верхушечных меристем [27, 29], термотерапию [23, 29], химиотерапию, реже криотерапию и электротерапию, а также комбинированные схемы терапий, включающие сочетание нескольких способов [11, 17].

Однако используемые методы оздоровления имеют ряд недостатков, приводящих к снижению эффективности предлагаемых приемов освобождения от вирусов. Например, гибель исходного материала в процессе оздоровления, низкий выход освобожденных от фитопатогенов растений, возможность применения схем оздоровления от конкретных вирусов, а не от комплекса и т.д. В связи с этим поиск новых подходов к оздоровлению растений является актуальной задачей в сельскохозяйственной биотехнологии, а подбор принципиально новых условий применения уже

известного метода оздоровления – термотерапии – является новизной в представленном исследовании.

В соответствии с ГОСТ 33996-2016 [3] в посадочном материале рекомендуется контролировать наличие 10 патогенов, в том числе пяти вирусов и одного вириода, с помощью методов полимеразной цепной реакции (ПЦР) или иммуноферментного анализа (ИФА) [4].

Целью данного исследования являлось совершенствование подходов к оздоровлению картофеля в культуре *in vitro* от вирусной инфекции.

Материалы и методы

В качестве объекта для исследования использовали клубни, микро-растения и микроклубни сортов картофеля Ред Скарлет, Импала, Черный Принц, Славянка, Невский и Джелли, которые по результатам ПЦР-диагностики были поражены вирусами PVS, PVA, PVM, PVX и PVY в различных сочетаниях.

Оздоровление методом термотерапии проводили в условиях климатической камеры КС-200, при температурном максимуме $38,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ и фотопериоде 16/8. В зависимости от сорта и объекта длительность экспонирования составляла 10-12 суток для микро-растений, 18-20 суток для клубней и 20-25 суток для микроклубней. Более длительное действие высокой температуры приводило к потере растительными тканями тургора и увяданию, что впоследствии снижало жизнеспособность эксплантов.

После термотерапии клубней и микро-растений для введения в культуру *in vitro* использовали верхушки ростков и мериклонов (≈ 2 мм), в качестве дополнительного этапа оздоровления выделяли апикальные меристемы (до 0,2 мм). При оздоровлении микроклубней эксплантом служили сформированные в процессе термотерапии ростки (0,2-2 мм) или верхушки ростков (не более 2 мм). Все экспланты культивировали на питательной среде Мурасиге-Скуга, дополненной сахарозой (30 г/л) и кинетином (0,5 мг/л). Регенерация проходила в условиях культуральной комнаты, на стеллажах, при температуре $21,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ и 16-часовом фотопериоде.

Тестирование исходного материала и ретестирование регенерантов картофеля на наличие инфекции проводили методом ПЦР в режиме Real-time на ДНК-амплификаторе QuantStudio5 с использованием наборов для диагностики вирусов PVS, PVA, PVM, PVX и PVY (Синтол, Россия). РНК выделяли с помощью наборов реагентов DiamondDNA (Россия).

Рассчитывали показатели частоты регенерации картофеля (%) относительно количества эксплантов, вводимых в культуру *in vitro* после терапии,

а также, для оценки общей эффективности схемы оздоровления, как отношение количества регенерантов к количеству оздоравливаемых образцов.

Результаты и обсуждение

Частота регенерации картофеля в культуре *in vitro* была различной в зависимости от сорта, типа и источника эксплантов (табл. 1).

Таблица 1.

Частота регенерации картофеля в культуре *in vitro* относительно количества вводимых эксплантов после термотерапии, %

Источник и тип экспланга Сорт	Клубни		Микрорастения		Микроклубни
	Верхушка ростка	Меристема	Верхушка побега	Меристема	Ростки
Ред Скарлет	59,5	32,1	36,9	21,0	28,8
Импала	65,3	38,8	37,4	29,7	33,2
Черный Принц	71,0	29,8	34,2	23,1	34,3
Славянка	89,7	26,1	33,2	26,1	40,9
Невский	60,7	33,0	40,9	37,1	37,5
Джелли	62,7	26,2	41,0	20,2	31,3
Среднее	68,1	31,0	37,3	26,2	32,9

Максимальное количество регенерантов наблюдали при введении в культуру верхушек ростков картофеля. В случае использования других типов эксплантов эффективность регенерации снижалась в 2-2,5 раза.

Поскольку эффективность регенерации растений из меристемы прямо пропорциональна ее размеру, для успешной регенерации меристем большинства таксонов необходимо наличие изолированного апекса с 2-3 листовыми примордиями [9]. Однако для обеспечения высокого уровня элиминации вирусов и получения безвирусных растений размеры меристем должны быть крайне малы (0,1-0,2 мм) [11].

Традиционное применение клубней картофеля в качестве объекта для термотерапии позволило освободить единичные растения от вирусов PVM и PVY, что составляет в среднем 8,8 и 16,6%, соответственно. В случае с микрорастениями картофеля использование только терапии высокой температурой привело к элиминации всех вирусов (PVS, PVA, PVM, PVX, PVY), однако средняя эффективность оздоровления не превышала 25,0% (табл. 2).

Таблица 2.

**Эффективность оздоровления картофеля в зависимости
от методов терапии и типов эксплантов, %**

Сорт \ Вирус	PVS	PVA	PVM	PVX	PVY	PVS	PVA	PVM	PVX	PVY
	Клубни									
	термотерапия					термотерапия + культура меристемы				
Ред Скарлет	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-
Импала	-	-	0	-	-	-	-	33,3	-	-
Черный Принц	0	0	20	0	33,3	0	0	20,0	33,3	33,3
Славянка	-	-	0	-	-	-	-	33,3	-	-
Невский	-	-	0	-	-	-	-	0	-	-
Джелли	0	0	33,3	-	0	0	0	0	-	33,3
Среднее	0	0	8,8	0	16,6	0	0	17,3	16,6	33,3
Микрорастения										
	термотерапия					термотерапия + культура меристемы				
Ред Скарлет	0	0	33,3	33,3	-	0	33,3	100	33,3	-
Импала	-	-	12,5	-	-	-	-	25	-	-
Черный Принц	20	25	25	28,6	25	20	25	25	14,3	50
Славянка	-	-	0	-	-	-	-	12,5	-	-
Невский	-	-	10,0	-	-	-	-	0	-	-
Джелли	0	0	25,0	-	-	0	0	37,5	-	-
Среднее	6,7	8,3	17,6	30,9	25,0	6,7	19,4	33,3	23,8	50,0
Микроклубни										
	термотерапия					термотерапия + культура меристемы				
Ред Скарлет	25	50	66,6	50	-	нд	нд	нд	нд	нд
Импала	-	-	28,5	-	-	нд	нд	нд	нд	нд
Черный Принц	37,5	25	21,4	27,3	50	нд	нд	нд	нд	нд
Славянка	-	-	33,3	-	-	нд	нд	нд	нд	нд
Невский	-	-	14,2	-	-	нд	нд	нд	нд	нд
Джелли	20	0	44,4	-	-	нд	нд	нд	нд	нд
Среднее	27,5	25,0	34,7	38,6	50,0	нд	нд	нд	нд	нд

Примечание: «-» – отсутствие вирусов в исходных образцах; «нд» – нет данных, постановка эксперимента не входила в задачи исследования.

Согласно накопленным данным, термотерапия в сочетании с культурой меристем позволяет увеличить эффективность эрадикации вирусов [28], что подтверждают полученные в нашем исследовании данные. Так, применение комплексной терапии привело к увеличению доли свободных от

ряда вирусов растений в 1,5-2 раза. Именно подобная схема оздоровления предпочтительна для картофеля, поскольку преобладание смешанной инфекции превалирует перед отдельными патогенами [21].

Известно, что основные фитопатогены картофеля по тканевой специализации (локализации) относятся к разным группам, что говорит о различных стратегиях оздоровления для каждой из них. Так, у одних из самых распространенных и приводящих к серьезным потерям урожая вирусов картофеля PVY и PLRV есть механизмы, гарантирующие локализацию в тканях флоэмы [19]. Во флоэме перемещение вируса совершается более быстро и измеряется см/ч [26]. Для элиминации подобных вирусов рекомендуют культуру меристем, поскольку в меристеме отсутствуют дифференцированные или сосудистые ткани, это соответственно исключает нахождение вируса в апексе.

Использование микрорастений в качестве объекта термотерапии и источника меристем позволило выделять более мелкие апексы, что существенно повысило эффективность перед комплексной терапией клубней картофеля на 6,7-23,8% в зависимости от вируса (табл. 2).

В паренхимных тканях вирус перемещается медленно, не превышая 0,01 мм/ч. Переход вирусных частиц из клетки в клетку осуществляется по протоплазменным нитям, соединяющим клетки между собой. Наиболее характерные симптомы для болезней, вызываемых паренхимными вирусами – вирусные мозаики. К подобным патогенам, например, относят PVX. Этот вирус передается только механически (контактно) и практически никогда насекомыми.

Распространение паренхимных вирусов возможно регулировать высокими температурами, за счет ингибирования репликации самого вируса или деградации вирусной РНК [30]. Кроме того, термотерапия связана с противовирусным механизмом иммунной защиты растений, называемым подавлением РНК [20, 22].

Дополнительное к термотерапии использование культуры меристем в качестве метода оздоровления позволило увеличить количество растений свободных от PVY вируса в 2-3 раза в зависимости от источника эксплантов (клубни или микрорастения).

Стоит отметить перспективность использования микроклубней, сформировавшихся в условиях *in vitro*, для получения оздоровленного материала картофеля. За счет увеличения длительности термотерапии для ряда сортов до 25 суток, а также использование в качестве эксплантов достаточно мелких ростков (до 2 мм) эффективность оздоровления была макси-

мальной против вирусов PVS, PVA, PVM и PVX. Для вируса PVY средняя доля элиминации составила 50,0%, что указывает на предпочтительное использование метода комплексной терапии, сочетающего термотерапию и культуру апикальных меристем.

Для оценки эффективности схемы оздоровления картофеля от вирусов PVS, PVA, PVM, PVX и PVY целесообразно учитывать не только долю свободных от патогенов растений, но и эффективность регенерации. Поскольку материал, участвующий в оздоровлении, часто ограничен необходимо учитывать количество оздоравливаемых образцов (табл. 3).

Таблица 3.

Частота регенерации картофеля в культуре *in vitro* после термотерапии относительно количества оздоравливаемых образцов, %

Источники и тип экспланта	Клубни		Микрорастения		Микроклубни
	Верхушка ростка	Мери- стема	Верхушка побега	Мери- стема	Ростки
Сорт					
РедСкарлет	86,7	46,7	31,1	17,8	73,3
Импала	86,7	53,3	33,3	26,7	70,0
Черный Принц	96,0	40,0	32,0	21,3	72,0
Славянка	113,3	33,3	30,0	23,3	90,0
Невский	90,0	50,0	40,0	33,3	70,0
Джелли	80,0	33,3	35,6	17,8	60,0
Среднее	92,1	42,8	33,7	23,4	72,6

Как упоминалось выше, в процессе термотерапии высок риск гибели образцов, что также отмечено в ряде работ [11].

При средней эффективности приём оздоровления микрорастений картофеля комплексной терапией по отношению к исходному материалу оказывается малоэффективным. Безусловно, получение достаточного объема исходного материала возможно в течение короткого времени, поскольку скорость роста и развития картофеля, а также коэффициент размножения достаточно высок [1]. Однако, использование дополнительного этапа – культуры меристем – снижает общую эффективность метода за счет низкой регенерации и трудоемкости процесса.

Использование микроклубней картофеля, сформировавшихся в *in vitro*, позволяет элиминировать фитопатогены в 25,0-50,0% случаев, что существенно выше, чем использование других источников эксплантов при термотерапии. Отсутствие дополнительного этапа в схеме оздоровления делает

данную технологию менее трудоемкой. Регенерационная способность эксплантов относительно вводимых в культуру эксплантов на уровне 33% (табл. 1). Возможность получить более чем один росток от одного микроклубня снижает потребность в количестве исходного материала в несколько раз. Эффективность регенерации относительно количества оздоравливаемых образцов в данном случае максимальна и составляет 72,6% (табл. 3).

Выводы

Применение в качестве объекта для термотерапии микроклубней картофеля, сформированных *in vitro* позволяет освободить растительный материал от вирусов в 25,0-50,0% случаев в зависимости от патогена. За счет исключения процесса стерилизации после термотерапии и отсутствия дополнительного этапа оздоровления – культуры меристем – регенерационная способность эксплантов составляет 32,9%, что свидетельствует об эффективности предложенной модели освобождения от вирусов.

Использование данной схемы оздоровления позволяет элиминировать не только отдельные вирусы, но и их комплекс, например, PVA + PVX, PVM + PVX, PVX + PVS, PVM + PVX + PVS. Подобный результат достигается за счет возможности использования мелких ростков в качестве экспланта, а также увеличения времени экспозиции высокой температуры до 25 суток.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено в рамках реализации Программы поддержки научно-педагогических работников ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», проект «Использование биотехнологических методов в оздоровлении растений и размножении безвирусного посадочного материала сельскохозяйственных культур».

Список литературы

1. Бычкова О.В., Хлебова Л.П., Барышева Н.В. Среднесрочное хранение генотипа картофеля в культуре тканей *in vitro* // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 10 (216). С. 12–17. DOI: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-216-10-12-17>
2. Гнутова Р.В., Можаева К.А. Вирусные и виroidные болезни картофеля на Дальнем Востоке и методы их диагностики в семеноводстве // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2010. № 2. С. 35–43.

3. ГОСТ 33996-2016 Межгосударственный стандарт. Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества. М.: Из-во стандартов, 2018. 36 с.
4. Жевора С.В., Зейрук В.Н., Белов Г.Л. Васильева С.В., Деревягина М.К., Анисимов Б.В., Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Мишуров Н.П., Неменушья Л.А., Манохина А.А., Пискунова Н.А. Передовые методы диагностики патогенов картофеля: науч. анал. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 92 с.
5. Игнатов А.Н., Паньчева Ю.С., Воронина М.В., Васильев М.Д., Джалилов Ф.С.-У. Динамика видового состава патогенов картофеля в европейской части РФ // Картофель и овощи. 2019. № 9. С. 8–11. <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.57.62.003>
6. Кадычегов А. Н., Медведева А. В. Вредоносность вирусных болезней картофеля в степной зоне юга Средней Сибири // Вестник Хакасского государственного университета им. Н. Ф. Катанова. 2020. № 1. С. 38–40.
7. Карты распространения и зон вредоносности вредителей и болезней картофеля и подсолнечника / И.Я. Гричанов, В.И. Якуткин, Е.И. Овсянникова, М.И. Саулич. СПб.: ВИЗР, 2017. 63 с. (Приложения к журналу «Вестник защиты растений». № 21).
8. Лапшинова Н.А. Влияние вирусной инфекции на урожайность картофеля в условиях северной лесостепи Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 9. С. 27–29.
9. Молканова О.И., Горбунов Ю. Н, Ширнина И. В., Егорова Д. А. Применение биотехнологических методов для сохранения генофонда редких видов растений // Ботанический журнал. 2020. Т. 105. № 6. С. 610–619. <https://doi.org/10.31857/S0006813620030072>
10. Мусолин Д.Л., Саулич А.Х. Реакции насекомых на современное изменение климата: от физиологии и поведения до смещения ареалов // Энтомологическое обозрение. 2012. Т. 91. С. 3–35.
11. Овэс Е.В., Гайтова Н.А. Новые элементы технологии оздоровления и получения базовых клонов перспективных сортов и гибридов картофеля // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 11. С. 60–62.
12. Паньчева Ю.С., Васильев Д.М., Супрунова Т.П. и др. Динамика поражения сортов картофеля вирусом Y в полевых условиях // Картофель и овощи. 2019. № 5. 25–29. <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.45.82.006>
13. Прокофьев Л.С., Кинчарова М.Н. Распространение, вредоносность и особенности проявления штаммов вируса PVY картофеля в лесостепи Среднего Поволжья // Вестник защиты растений. 2012. № 3. С. 38–44.

14. Сайт Федеральной службы Российской статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения 15.11.2022).
15. Усков А.И., Варицев Ю.А., Бирюкова В.А., Галушка П.А., Варицева Г.П., Шмыгля И.В., Кравченко Д.В. Изучение штаммового состава Y-вируса картофеля из различных регионов Российской Федерации и Беларуси // Земледелие. 2016. № 8. С. 36–38.
16. Шляхов В. А., Григорян Л. Н. Идентификация вирусных болезней картофеля методом ПЦР-диагностики на территории Астраханской области // Живые и биокосные системы: электронный журнал. 2017. № 21. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-21/article-6> (дата обращения: 19.12.2022)
17. Ateş S.Y., İnan S., Ayyaz M., Dündar İ., Yabangülü D. Effect of thermotherapy in combination with meristem culture for eliminating Potato virus Y (PVY) and Potato virus S (PVS) from infected seed stock // The Journal of Animal & Plant Sciences, 2019, vol. 29(2), pp. 549–555.
18. Brennan J.G., DRYING. Equipment Used in Drying Foods. In Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition). London: Academic Press, 2003, pp. 1957-1961. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/01405-X>
19. Gray S., Cilia M., Ghanim M. Circulative, “Nonpropagative” Virus Transmission: An Orchestra of Virus-, Insect-, and Plant-Derived Instruments // Advances in Virus Research, 2014, vol. 89, pp. 141–199. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800172-1.00004-5>
20. Liu J., Zhang X.J., Yang Y.K. Hong N., Wang G.P., Wang A., Wang L.P. Characterization of virus-derived small interfering RNAs in Apple stem grooving virus-infected in vitro-cultured *Pyrus pyrifolia* shoot tips in response to high temperature treatment // Virol. J., 2016, vol. 13, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12985-016-0625-0>
21. Malko A., Frantsuzov P., Nikitin M., Statsyuk N., Dzhavakhiya V., Golikov A. Potato Pathogens in Russia’s Regions: An Instrumental Survey with the Use of Real-Time PCR/RT-PCR in Matrix Format // Pathogens, 2019, vol. 8(1), pp. 1–14. <https://doi.org/10.3390/pathogens8010018>
22. Miljanić V., Rusjan D., Škvarč A., Chatelet Ph., Štajner N. Elimination of eight viruses and two viroids from preclonal candidates of six grapevine varieties (*Vitis vinifera* L.) through in vivo thermotherapy and in vitro meristem tip micrografting // Plants, 2022, no. 11, pp. 1064. <https://doi.org/10.3390/plants11081064>
23. Panattoni A., Luvisi A., Triolo E. Review. Elimination of viruses in plants: Twenty years of progress // Spanish Journal of Agricultural Research, 2013, vol. 11(1), pp. 17–188. <https://doi.org/10.5424/sjar/2013111-3201>
24. Radcliffe E.B. Insect pests of potato // Annual Review of Entomology, 1982, vol. 27, pp. 173–204. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.27.010182.001133>

25. Rogozina E.V., Mironenko N.V., Chalaya N.A., Matsushita Yu., Yanagisawa H. Potato mosaic viruses which infect plants of tuber-bearing *Solanum* spp. growing in the VIR field gene bank // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2019, vol. 23(3), pp. 304–311. <https://doi.org/10.18699/VJ19.495>
26. Saploura E., Kragler F. Chapter One – Mobile Transcripts and Intercellular Communication in Plants // *Academic Press*, 2016, vol. 40, pp. 1–29. <https://doi.org/10.1016/bs.enz.2016.07.001>
27. Wang B., Ma Y.L., Hamborg Zh., Wu Zh., Wu Y., Wang Q., Li M. Potato viruses in China // *Crop Prot.*, 2011, vol. 30, pp. 1117–1123. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.04.001>
28. Wang M.-R., Cui Zh.-H., Li J.-W., Hao X., Zhao L., Wang Q. In vitro thermotherapy based methods for plant virus eradication // *Plant Methods*, 2018, no. 14, pp. 1–18.
29. Wang Q.C., Liu Y., Xie Y.H. You M. Cryotherapy of potato shoot tips for efficient elimination of Potato leaf roll virus (PLRV) and Potato virus Y (PVY) // *Potato Res.*, 2006, vol. 49, pp. 119–129. <https://doi.org/10.1007/s11540-006-9011-4>
30. Wang Q., Cuellar W.J., Rajamäki M.-L., Hirata Yu., Valkonen J.P.T. Combined thermotherapy and cryotherapy for efficient virus eradication: Relation of virus distribution, subcellular changes, cell survival and viral RNA degradation in shoot tips // *Molecular Plant Pathology*, 2008, vol. 9(2), pp. 237–250. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00456.x>

References

1. Bychkova O.V., Khlebova L.P., Barysheva N.V. Srednesrochnoe khranenie genofonda kartofelya v kul'ture tkaney in vitro [Medium-term storage of potato gene pool in vitro tissue culture]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agricultural University], 2022, no. 10 (216), pp. 12–17. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-216-10-12-17>
2. Gnutova R.V., Mozhaeva K.A. Virusnye i viroidnye bolezni kartofelya na Dal'nem Vostoke i metody ikh diagnostiki v semenovodstve [Viral and viroid diseases of potatoes in the Far East and methods of their diagnosis in seed production]. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy], 2010, no. 2, pp. 35–43.
3. GOST 33996-2016 *Mezhhgosudarstvennyy standart. Kartofel' semennoy. Tekhnicheskie usloviya i metody opredeleniya kachestva* [Interstate standard. Seed potatoes. Specifications and methods of determining the quality]. Moscow: Izdatelstvo standartov Publ., 2018, 36 p.
4. Zhevorva S.V., Zeyruk V.N., Belov G.L. Vasil'eva S.V., Derevyagina M.K., Anisimov B.V., Starovoytov V.I., Starovoytova O.A., Mishurov N.P., Nemenushchaya L.A., Manokhina A.A., Piskunova N.A. *Peredovye metody diagnostiki patogenov*

- kartofelya: nauch. anal. obzor* [Advanced methods for diagnosing potato pathogens: a scientific analytical review]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ, 2019, 92 p.
5. Ignatov A.N., Panycheva Yu.S., Voronina M.V., Vasiliev D.M., Dzhailov F.S.-U. Dinamika vidovogo sostava patogenov kartofelya v evropeyskoy chasti RF [Dynamics of species composition of potato pathogens in the European part of the Russian Federation]. *Kartofel' i ovoshchi* [Potatoes and vegetables], 2019, no. 9, pp. 8–11. <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.57.62.003>
 6. Kadychegov A. N., Medvedeva A. V. Vredonosnost' virusnykh bolezney kartofelya v stepnoy zone yuga Sredney Sibiri [Harmful viral diseases of potato in the steppe zone of the south of Central Siberia]. *Vestnik Khakasskogo gosudarstvennogo universiteta im. N. F. Katanova* [Bulletin of the Khakass State University named after N. F. Katanov], 2020, no. 1, pp. 38–40.
 7. Karty rasprostraneniya i zon vredonosnosti vreditel'ey i bolezney kartofelya i podsolnechnika [Maps of areas and zones of harmfulness of potato and sunflower pests and diseases]. I.Ya. Grichanov, V.I. Yakutkin, E.I. Ovsyannikova, M.I. Saulich. St.Petersburg: VIZR Publ., 2017, 63 p. (*Prilozheniya k zhurnalu «Vestnik zashchity rasteniy»* [Plant Protection News, Supplements], no. 21).
 8. Lapshinov N.A. Vliyanie virusnoy infektsii na urozhaynost' kartofelya v usloviyakh severnoy lesostepi Zapadnoy Sibiri [Influence of virus infection on the productivity of potatoes under the conditions of the northern wooded plain of West Siberia]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AICis], 2010, no. 9, pp. 27–29.
 9. Molkanova O.I., Gorbunov Yu.N., Shirnina I.V., Egorova D.A. Primenenie biotekhnologicheskikh metodov dlya sokhraneniya genofonda redkikh vidov rasteniy [Use of biotechnological methods for conservation of gene pool of rare plant species]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical Magazine], 2020, vol. 105. no. 6, pp. 610–619. <https://doi.org/10.31857/S0006813620030072>
 10. Musolin D.L., Saulich A.X. Reaktsii nasekomykh na sovremennoe izmenenie klimata: ot fiziologii i povedeniya do smeshcheniya arealov [Responses of insects to the current climate change: from physiology and behaviour to range shifts]. *Entomologicheskoe obozrenie* [Entomological Review], 2012, vol. 91, pp. 3–35.
 11. Oves E.V., Gaitova N.A. Novye elementy tekhnologii ozdorovleniya i polucheniya bazovykh klonov perspektivnykh sortov i gibridov kartofelya [New elements in technology of improvement and obtaining of basic potato clones of promising cultivars and hybrids]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AICis], 2016. vol. 30, no. 11, pp. 60–62.
 12. Panycheva Yu.S., Vasil'ev D.M., Suprunova T.P., Sakharova A.N., Ignatov A.N. Dinamika porazheniya sortov kartofelya virusom Y v polevykh usloviyakh [Dynamics of Potato Virus Y disease on potato varieties in the field]. *Kar-*

- tofel' i ovoshchi* [Potatoes and vegetables], 2019, no. 5, pp. 25–29. <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.45.82.006>
13. Prokof'ev L.S., Kincharova M.N. Rasprostraneniye, vredonosnost' i osobennosti proyavleniya shtammov virusa PVY kartofelya v lesostepi Srednego Povolzh'ya [Distribution, harmfulness and features of manifestation of some strains of potato virus y in the forest-steppe of middle Volga region]. *Vestnik zashchity rasteniy* [Plant protection news], 2012, no. 3, pp. 38–44.
 14. *Sayt Federal'noy sluzhby Rossiyskoy statistiki* [Website of the Federal Service of Russian Statistics]. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (accessed November 15, 2022).
 15. Uskov A.I., Varitsev Yu.A., Biryukova V.A., Galushka P.A., Varitseva G.P., Shmyglya I.V., Kravchenko D.V. Izuchenie shtammovogo sostava Y-virusa kartofelya iz razlichnykh regionov Rossiyskoy Federatsii i Belarusi [Study of the Strain Composition of Potato Virus Y from Different Regions of the Russian Federation and Belarus]. *Zemledelie* [Agriculture], 2016, no. 8, pp. 36–38.
 16. Shlyakhov V. A., Grigoryan L. N. Identifikatsiya virusnykh bolezney kartofelya metodom PTsR-diyagnostiki na territorii Astrakhanskoy oblasti [Identification of viral diseases of potatoes by method of PCR diagnostics on the territory of Astrakhan region]. *Zhivye i biokosnye sistemy* [Living and bio-inert systems], 2017, no. 21. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-21/article-6> (accessed December, 19, 2022)
 17. Ateş S.Y., İnan S., Ayyaz M., Dündar İ., Yabangülü D. Effect of thermotherapy in combination with meristem culture for eliminating Potato virus Y (PVY) and Potato virus S (PVS) from infected seed stock. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 2019, vol. 29(2), pp. 549–555.
 18. Brennan J.G., DRYING. Equipment Used in Drying Foods. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)*. London: Academic Press, 2003, pp. 1957-1961. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/01405-X>
 19. Gray S., Cilia M., Ghanim M. Circulative, “Nonpropagative” Virus Transmission: An Orchestra of Virus-, Insect-, and Plant-Derived Instruments. *Advances in Virus Research*, 2014, vol. 89, pp. 141–199. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800172-1.00004-5>
 20. Liu J., Zhang X.J., Yang Y.K. Hong N., Wang G.P., Wang A., Wang L.P. Characterization of virus-derived small interfering RNAs in Apple stem grooving virus-infected in vitro-cultured *Pyrus pyrifolia* shoot tips in response to high temperature treatment. *Virology Journal*, 2016, vol. 13, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12985-016-0625-0>
 21. Malko A., Frantsuzov P., Nikitin M., Statsyuk N., Dzhavakhiya V., Golikov A. Potato Pathogens in Russia's Regions: An Instrumental Survey with the Use of Real-Time PCR/RT-PCR in Matrix Format. *Pathogens*, 2019, vol. 8(1), pp. 1-14. <https://doi.org/10.3390/pathogens8010018>

22. Miljanić V., Rusjan D., Škvarč A., Chatelet Ph., Štajner N. Elimination of eight viruses and two viroids from preclonal candidates of six grapevine varieties (*Vitis vinifera* L.) through in vivo thermotherapy and in vitro meristem tip micrografting. *Plants*, 2022, no. 11, pp. 1064. <https://doi.org/10.3390/plants11081064>
23. Panattoni A., Luvisi A., Triolo E. Review. Elimination of viruses in plants: Twenty years of progress. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2013, vol. 11(1), pp. 17–188. <https://doi.org/10.5424/sjar/2013111-3201>
24. Radcliffe E.B. Insect pests of potato. *Annual Review of Entomology*, 1982, vol. 27, pp. 173–204. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.27.010182.001133>
25. Rogozina E.V., Mironenko N.V., Chalaya N.A., Matsushita Yu., Yanagisawa H. Potato mosaic viruses which infect plants of tuber-bearing *Solanum* spp. growing in the VIR field gene bank. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2019, vol. 23(3), pp. 304–311. <https://doi.org/10.18699/VJ19.495>
26. Saploura E., Kragler F. Chapter One – Mobile Transcripts and Intercellular Communication in Plants. *Academic Press*, 2016, vol. 40, pp. 1–29. <https://doi.org/10.1016/bs.enz.2016.07.001>
27. Wang B., Ma Y.L., Hamborg Zh., Wu Zh., Wu Y., Wang Q., Li M. Potato viruses in China. *Crop Prot.*, 2011, vol. 30, pp. 1117–1123. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.04.001>
28. Wang M.-R., Cui Zh.-H., Li J.-W., Hao X., Zhao L., Wang Q. In vitro thermotherapy based methods for plant virus eradication. *Plant Methods*, 2018, no. 14, pp. 1–18.
29. Wang Q.C., Liu Y., Xie Y.H. You M. Cryotherapy of potato shoot tips for efficient elimination of Potato leaf roll virus (PLRV) and Potato virus Y (PVY) // *Potato Research*, 2006, vol. 49, pp. 119–129. <https://doi.org/10.1007/s11540-006-9011-4>
30. Wang Q., Cuellar W.J., Rajamäki M.-L., Hirata Yu., Valkonen J.P.T. Combined thermotherapy and cryotherapy for efficient virus eradication: Relation of virus distribution, subcellular changes, cell survival and viral RNA degradation in shoot tips. *Molecular Plant Pathology*, 2008, vol. 9(2), pp. 237–250. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00456.x>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Бычкова Ольга Владимировна, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Алтайский государственный университет»

*пр. Ленина, 61, г. Барнаул, 656049, Российская Федерация
olga4ka_asu@mail.ru*

Бровко Елена Сергеевна, преподаватель кафедры экологии, биохимии и биотехнологии.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Алтайский государственный университет»
пр. Ленина, 61, г. Барнаул, 656049, Российская Федерация
alenaplyuscheva.721@mail.ru*

Мироненко Ольга Николаевна, канд. биол. наук, директор Алтайского центра прикладной биотехнологии

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Алтайский государственный университет»
пр. Ленина, 61, г. Барнаул, 656049, Российская Федерация
olgmironenko@mail.ru*

Хлебова Любовь Петровна, канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Алтайский государственный университет»
пр. Ленина, 61, г. Барнаул, 656049, Российская Федерация
hlebova61@mail.ru*

Небылица Анастасия Викторовна, лаб.-исследователь

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Алтайский государственный университет»
пр. Ленина, 61, г. Барнаул, 656049, Российская Федерация
nastaynebylitsa@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olga V. Bychkova, Ph. D. (Agriculture), Senior Researcher

*Altai State University
61, Lenin Ave., Barnaul, 656049, Russian Federation
olga4ka_asu@mail.ru*

SPIN-code: 5701-4307

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7639-1787>

ResearcherID: HHM-7190-2022

Elena S. Brovko, Faculty members of the Department of Ecology, Biochemistry and Biotechnology
Altai State University
61, Lenin Ave., Barnaul, 656049, Russian Federation
alenaplyuscheva.721@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2492-8984>
ResearcherID: HIZ-5669-2022
Scopus Author ID: 57223109715

Olga N. Mironenko, Ph. D. (Biology), Director of the Altai Center for Applied Biotechnology
Altai State University
61, Lenin Ave., Barnaul, 656049, Russian Federation
olgmironenko@mail.ru
SPIN-code: 7742-9098
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0091-5043>
ResearcherID: HIZ-5623-2022
Scopus Author ID: 57223101828

Lyubov P. Khlebova, Ph. D. (Biology), Leading Researcher
Altai State University
61, Lenin Ave., Barnaul, 656049, Russian Federation
hlebova61@mail.ru
SPIN-code: 2470-1720
РИИЦ Author ID: 777015
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9497-433X>
ResearcherID: S-2565-2016
Scopus Author ID: 57219311370

Anastasia V. Nebylitsa, laboratory assistant – researcher
Altai State University
61, Lenin Ave., Barnaul, 656049, Russian Federation
nastaynebylitsa@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3129-414X>
ResearcherID: HIU-0962-2022

Поступила 21.01.2023

После рецензирования 10.02.2023

Принята 20.02.2023

Received 21.01.2023

Revised 10.02.2023

Accepted 20.02.2023