

**Результаты экспериментальных исследований удаления
стеблевой нематоды картофеля электрофизическим воздействием**

**Алексей Семенович Дорохов, Алексей Викторович Сибирев, Александр Геннадьевич Аксенов,
Максим Александрович Мосяков, Николай Викторович Сазонов**

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия

e-mail: sibirev2011@yandex.ru

Аннотация. Проведены экспериментальные исследования по определению перспективных способов удаления стеблевой нематоды картофеля при ультразвуковом, электрофизическом, ультрафиолетовом и химическом методах воздействий. Разработаны лабораторные комплексы по борьбе со стеблевой нематодой картофеля и определены эмпирические зависимости снижения заражения картофеля с определением режимов работы разработанных комплексов.

Ключевые слова: заболевания; картофель; воздействие; методы; облучение; погрешность.

Для цитирования: Дорохов А. С., Сибирев А. В., Аксенов А. Г., Мосяков М. А., Сазонов Н. В. Результаты экспериментальных исследований удаления стеблевой нематоды картофеля электрофизическим воздействием // Аграрный научный журнал. 2023. № 5. С. 120–131. [http: 10.28983/asj.y2023i5pp120-131](http://10.28983/asj.y2023i5pp120-131).

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Results of experimental studies of potato stem nematode removal by electrophysical influence

Aleksey S. Dorokhov, Aleksey V. Sibirev, Alexander G. Aksenov, Maxim A. Mosyakov, Nikolai V. Sazonov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

e-mail: sibirev2011@yandex.ru

Abstract. Experimental studies have been carried out to determine promising methods for removing the potato stem nematode using ultrasonic, electrophysical, ultraviolet and chemical methods of influence. Laboratory complexes for combating the potato stem nematode have been developed and empirical dependencies have been determined for reducing potato infection with determining the operating modes of the developed complexes.

Keywords: potatoes; research; ultrasonic impact; chemical impact; infection; evaluation.

For citation: Dorokhov A. S., Sibirev A. V., Aksenov A. G., Mosyakov M. A., Sazonov N. V. Results of experimental studies of potato stem nematode removal by electrophysical influence // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2023;(5):120–131. (In Russ.). [http: 10.28983/asj.y2023i5pp120-131](http://10.28983/asj.y2023i5pp120-131).

Введение. Картофельная вредоносная нематода характеризуется небольшими размерами, что делает ее незаметной. По этой причине любые изменения структуры и свойств корнеплода часто объясняют плохой почвой. Однако урожай (до 80 % объема) уничтожает вредитель. Вывести нематоду картофельную сложно, так как она устойчива к воздействию высоких температур и холоду, а также способна выжить в условиях поражения радиацией. Все это усложняет задачу по борьбе с ней.

Среди более чем 60 видов, признанных в настоящее время в роде *Ditylenchus*, лишь немногие являются паразитами высших растений, в то время как большинство видов являются микофагами [1]. Типовым видом рода является стеблевая и луковичная нематода *Ditylenchus dipsaci*, которая является серьезным растительным паразитом во всем мире.

Паразитические виды *Ditylenchus* являются мигрирующими эндопаразитами в надземных частях растений или внутри корней, столонов, клубней и корневищ, вызывая растворение средних пластинок клеточных стенок, так что клетки отделяются и ткань набухает [2].

Ditylenchus spp., как правило, сильно консервативен в общей морфологии, что делает идентификацию видов очень трудной [2]. Некоторые виды рода плохо охарактеризованы и рассматриваются как виды *inquirendae* [3]. Число достоверных видов остается неопределенным до тех





пор, пока не будет проведен тщательный анализ рода и секвенирование ДНК для молекулярного анализа. Только некоторые из морфологических и морфометрических характеристик, т. е. количество линий в боковом поле, длина стилета, V-величина, длина спиккулы, расстояние от маточного мешка до ануса (%), форма задней части тела самки, с', с и процент покрытия бursy длиной хвоста являются ценными для идентификации вида [3]. Согласно классификации Сиддики (2000), были выделены две группы рода: *D. triformis*-группа и *D. dipsaci*-группа. К группе *D. triformis* относятся виды с закругленным концом хвоста, боковыми полями с шестью линиями и имеющие микофагический жизненный цикл, такие как *D. destructor* Thorne 1945 и *D. myceliophagus*, в то время как к группе *D. dipsaci* относятся облигатные растительные паразиты с остроконечным концом хвоста и боковыми полями с четырьмя линиями.

Широко обсуждается концепция видов нематод, предполагающая, что делимитация видов должна основываться на объединении принципов полифазной таксономии, которая собирает и ассимилирует все имеющиеся данные и информацию (фенотипическую, генотипическую и филогенетическую), используемые для делимитации таксонов на всех уровнях. В последние годы филогенетический вывод оказался эффективным методом выделения видов сложного консервативного рода *Ditylenchus*.

На картофеле обитает червь небольших размеров (поражает стебель и клубни): от 0,5 до 2 мм. Форма тела изменяется в зависимости от половой принадлежности. Так, самки характеризуются округлым тельцем, а самцы – червеобразным, удлинённым. Вредитель поражает корнеплоды ротовым аппаратом особой формы, его называют копьё. Таким способом червь закрепляется на клубне. Заглубив копьё в растительную пищу, нематода впрыскивает слюну. Это вещество меняет структуру корнеплода, превращая в пригодную для употребления еду. Цвет вредителя на начальных этапах развития – светлый, постепенно окрас меняется на коричневый. По мере того как развивается вредитель, происходит его откормка.

При этом червь готовится к переходу в другое состояние – осенью из нематоды образуется циста. Это подобие контейнера для хранения яиц. Чтобы черви не смогли причинить серьёзный вред насаждениям, бороться нужно разными способами. Допускается использование агротехнического, механического, биологического и химического метода.

При агротехническом методе борьбы проводятся правильный севооборот и различные мероприятия. Так, рекомендовано постоянно чередовать посевы. Причем семена регулярно обновляют. Если делать это частями, результат будет отличный, а сам метод не затратный. Высаживать картофель на прежнем месте в будущем году не рекомендуется, возвращаться к нему лучше через 3–4 года.

Биологический метод предполагает необходимость посадки растений определенных видов: бархатцы, календула, настурция, бобы, донник лекарственный. С их помощью уменьшается численность вредителей. Такие методы борьбы совмещают с закладкой органического материала в грунт. При этом происходит активизация деятельности кольчатых червей. Они являются главными врагами нематод.

При химическом методе зараженные кусты обрабатывают хлорной известью. Для этого подальше от участка роется яма, куда засыпают средство. Выкапывая куст картофеля, нужно охватить больше грунта вместе с корневой системой. Обрабатывают зараженные растения мочевиной прямо в лунках.

При бактериологическом методе применяют препараты, которые вытесняют вредителей с участка. Средство такого рода засыпают в лунку при посадке. Используют при этом Немабакт. Это безопасный для человека и самого червя метод. Таким образом, известные способы борьбы с стеблевой нематодой картофеля на различных агроценозах свидетельствуют об исчерпании возможности исключения ее заражения. Следовательно, необходимо обеспечить разработку приемов, способов, методов и технических средств, способствующих снижению поражений или устранению последствий воздействий данного заболевания, т.е., требуется выполнить комплекс поисковых исследований, направленных на применение известных видов воздействий на биологические объекты, способствующие повышению их продуктивности, к числу которых следует отнести физическое, химическое, гидравлическое, термическое и электромагнитного воздействий.



Цель исследований – определение перспективных методов борьбы со стеблевой нематодой картофеля и обоснование конструктивно-режимных параметров технических средств.

Методика исследований. Для разработки программы и методики поисковых исследований перспективных методов борьбы со стеблевой нематодой картофеля исходными данными послужили цели и задачи исследований.

Программа лабораторных исследований включает в себя отбор проб клубней картофеля зараженных стеблевой нематодой; анализ физико-механических свойств клубней картофеля зараженных стеблевой нематодой; анализ установленных экспериментальных зависимостей физико-химических параметров снижения заражения стеблевой нематодой клубней картофеля.

Для определения ультразвукового воздействия на зараженный клубень картофеля были проведены исследования на ультразвуковом оборудовании (рис. 1), состоящем из генератора УЗГ-2К для пьезокерамического излучателя ПИ – 1,4 – 2.2 (кольцевого) и погружной ванны, выполненной из радиопрозрачного материала, представляющей собой единый комплекс ультразвукового оборудования.



Рис. 1. Лабораторная установка исследования ультразвукового воздействия на процесс снижения заражения клубня картофеля стеблевой нематодой: 1 – ультразвуковой генератор УЗГ-2К; 2 – ультразвуковая ванна

После проведения априорного ранжирования факторов, оказывающих определяющее воздействие на процесс снижения поражения клубней картофеля стеблевой нематодой, были выявлены наиболее значимые, к числу которых следует отнести частоту колебаний f , кГц; интенсивность колебаний S , Вт/см²; время воздействия t , с.

$$v = \frac{d_1}{d_2} \cdot 100\%, \quad (1)$$

В качестве критерия оптимизации выбрана степень (v , %) поражения клубня: где d_1 – диаметр поперечного сечения клубня пораженного стеблевой нематодой до ультразвукового воздействия, кг; d_2 – диаметр поперечного сечения клубня пораженного стеблевой нематодой после ультразвукового воздействия, кг.

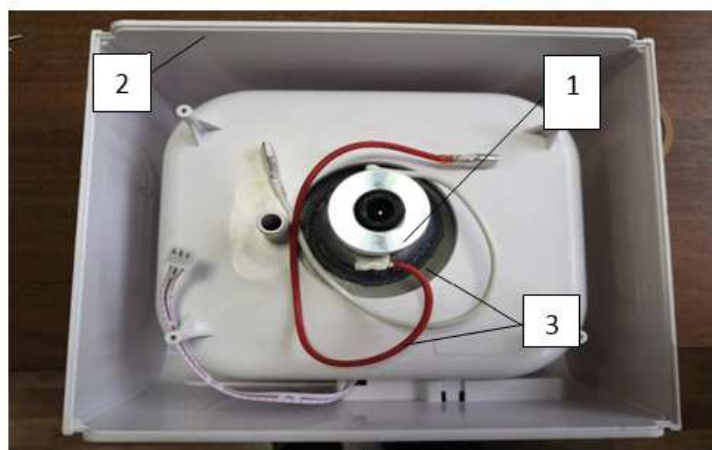
Интенсификация снижения поражения стеблевой нематодой клубня картофеля ультразвуковым воздействием проводилась без рабочей жидкости, т.е. ультразвуковое воздействие происходило в газовой среде (рис. 2).

Из результатов ультразвукового исследования известно, что ультразвуковые аппараты работают на частотах $f = 22, 30, 35, 44, 130$ кГц. При увеличении частоты колебаний ультразвука уменьшается степень разрушения очищаемого изделия.

В процессе проведения опытов по определению оптимальных режимно-технологических параметров ультразвукового воздействия, необходимо поддерживать синхронный режим работы генератора и преобразователя.

Методика проведения исследований по влиянию воздействия ультразвука на процесс снижения поражения стеблевой нематодой клубня картофеля заключается в следующем.

Выполнялся отбор проб зараженных клубней картофеля стеблевой нематодой в количестве 4 шт. Далее производилось взвешивание исследуемых образца зараженных клубней на весах модели



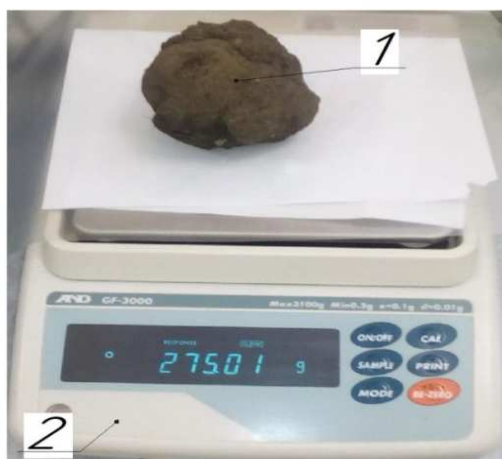
*Рис. 2. Установка ультразвукового преобразователя в камере озвучивания:
1 – пьезокерамический преобразователь; 2 – ультразвуковая ванна; 3 – провода соединительные*

М-ER 122ACFJR-300.01 LCD (рис. 3) с последующей нумерацией каждого образца и оптическим сканированием на микроскопе марки.

После проведения операций по подготовке исследуемого образца к ультразвуковой обработке производилось погружение клубня 1 на подставке 2 в рабочее пространство ванны и включение в электрическую сеть (рис. 4).

Для каждого исследуемого фактора выбраны три уровня: нижний, верхний и основной – нулевой уровни. После этого был установлен интервал варьирования факторов (табл. 1).

После прекращения воздействия ультразвука (см. рис. 4) на исследуемый клубень производилось его взвешивание при определении поражения стеблевой нематодой по зависимости 1 и закладка на хранение в холодильную камеру при рекомендуемой температуре хранения в пределах от 0 до 3,5 °С в течение 5 дней с последующей оценкой поражения стеблевой нематодой оптическим сканированием исследуемого и контрольных образцов микроскопом марки Olympus CX43. Далее эксперимент повторялся в соответствии с планом проведения исследований. Постоянство амплитуды колебаний необходимо обеспечить применением схемы с обратной акустической связью. Кроме того, помимо исследования влияния ультразвукового воздействия непосредственно на снижение заражения исследуемого клубня стеблевой нематодой независимо от величины поражения производилась серия однофакторных экспериментов по выявлению зависимости поражения стеблевой нематодой при изменяемой величине исследуемого фактора (см. табл. 1), а остальные факторы оставались неизменными – равными оптимальным значениям, определенным при лабораторных исследованиях. Для разработки общей методики исследований и подтверждения теоретических предпосылок проводился поисковый опыт по СВЧ-воздействию на снижение заражения клубней картофеля стеблевой нематодой. Цель данного исследования объясняется выявлением зависимости времени и мощности обработки СВЧ-диапазона на устранение яйцекла-



*Рис. 3. Взвешивание зараженного клубня картофеля стеблевой нематодой:
1 – исследуемый клубень; 2 – весы электронные М-ER 122ACFJR-300.01 LCD*



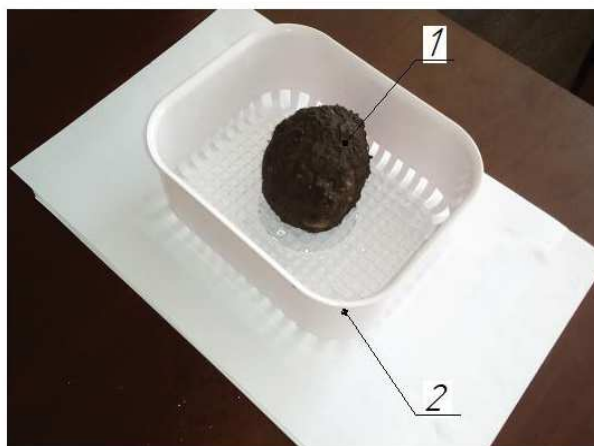


Рис. 4. Зараженный клубень картофеля стеблевой нематодой на подставке:
1 – исследуемый клубень; 2 – подставка

Таблица 1

Уровни варьирования факторов при ультразвуковом воздействии на клубни картофеля

Уровень варьирования	Варьируемый фактор			Критерий оптимизации
	частота колебаний f_1 , кГц	интенсивность колебаний S , Вт/см ²	время воздействия t , с	
	Интервал варьирования Δx_i			Поражение стеблевой нематодой ν , %
	42	25	10	
Верхний (+1)	48	46	30	
Нижний (-1)	40	38	10	
Основной(0)	44	42	20	
Кодовые обозначения	X_1	X_2	X_3	У

док и жизнедеятельность личинок. Лабораторная установка для исследования СВЧ-воздействия на зараженный клубень картофеля состоит из вентилятора охлаждения магнетрона и блока питания 1, воздуховода 2, АЦП 3, активной зоны 4, преобразователя интерфейсов 5, а также цифрового осциллографа с блоком питания 6 (рис. 5). При проведении поисковых исследований по СВЧ-воздействию, оказывающих возможный положительный эффект на снижения уровня поражения стеблевой нематодой были определены следующие факторы: частота колебаний f , кГц; интенсивность колебаний S , Вт/см²; время воздействия t , с.

Для каждого исследуемого фактора выбраны три уровня: нижний, верхний и основной – нулевой уровни. После этого был установлен интервал варьирования факторов (табл. 2).

Методика проведения исследований по отбору проб зараженного картофеля аналогична методике отбора при проведении ультразвукового воздействия с принципиальным отличием непосредственно процесса воздействия которая заключается в следующем.

После проведения операций по подготовке исследуемого образца к производилось погружение клубня 1 на подставке 2 в рабочее пространство погружной емкости 3, подключение положительного 4 и отрицательного После прекращения СВЧ-воздействия (рис. 6) на исследуемый клубень производили его взвешивание при определении поражения стеблевой нематодой по зависимости (1) и закладку на хранение в холодильную камеру при рекомендуемой температуре хранения от 0 до 3,5 °С в течение 5 дней с последующей оценкой поражения стеблевой нематодой оптическим сканированием исследуемого и контрольных образцов.

Далее эксперимент повторялся в соответствии с планом проведения исследований.

Для определения воздействия ультрафиолетового излучения 254 нм на зараженный клубень картофеля были проведены исследования с помощью облучательной установки с УФ лампами Philips TUV 2x30Вт (рис. 7).

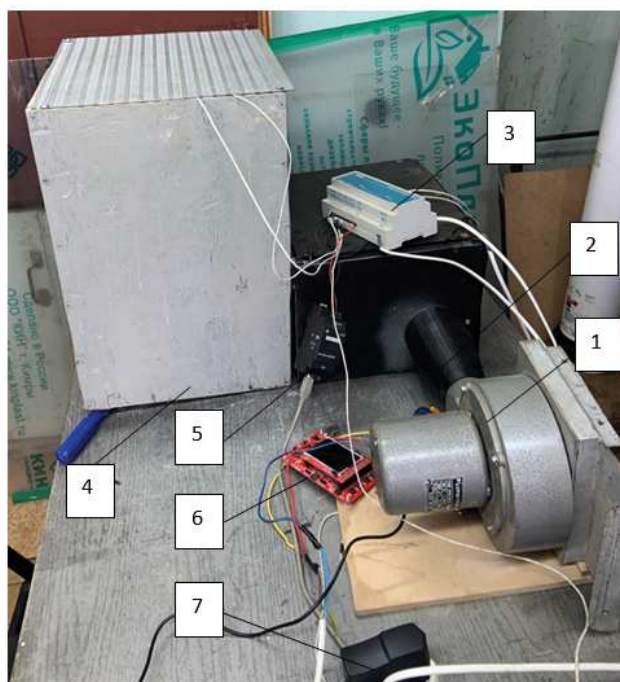


Рис. 5. Лабораторная установка исследования СВЧ-воздействия на процесс снижения заражения клубня картофеля стеблевой нематодой: 1 – вентилятор охлаждения магнетрона и блока питания; 2 – воздуховод; 3 – АЦП Овен МВА8; 4 – активная зона; 5 – преобразователь интерфейсов AC4; 6, 7 – цифровой осциллограф с блоком питания

Таблица 2

Уровни варьирования факторов при СВЧ-излучении на клубни картофеля

Уровень варьирования	Варьируемый фактор			Критерий оптимизации
	частота колебаний f_1 , МГц	Мощность S , Вт/см ²	время воздействия t , с	Поражение стеблевой нематодой v , %
	Интервал варьирования Δx_i			
	50	10	10	
1	2400	50	50	
2	2450	60	60	
3	2500	70	70	

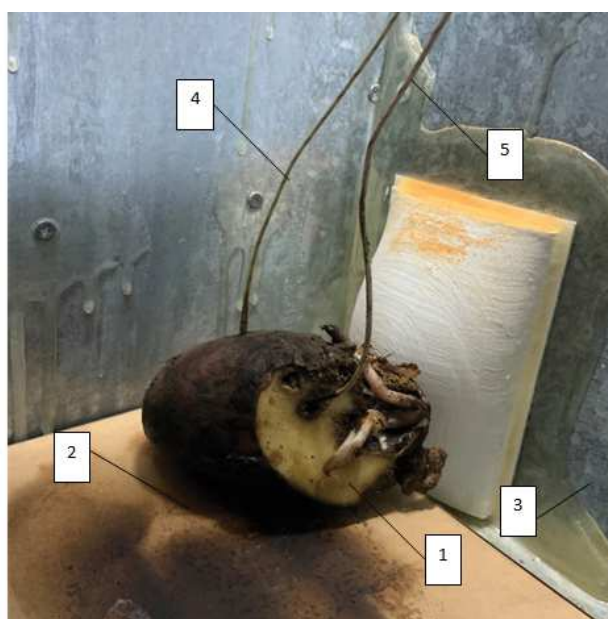


Рис. 6. Зараженный клубень картофеля стеблевой нематодой на подставке при СВЧ-воздействии: 1 – исследуемый клубень; 2 – подставка; 3 – емкость погружная; 4 – электрод положительный; 5 – электрод отрицательный





Рис. 7. УФ облучатель, установленный на штативе над клубнями картофеля

Облучатель был установлен на высоте 50 см от облучаемого объекта. Уровень УФ облученности измерялся с помощью УФ-радиометра ТКА ПКМ-12 (РФ, г. Санкт-Петербург). Облученность составляла $2,3 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$. Были использованы три дозы облучения: $300 \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, $550 \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, $8000 \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

Клубни картофеля отбирались и разделялись на три группы. Каждая группа клубней размещалась на чистой упаковочной бумаге непосредственно под УФ облучателем. УФ облучатель включался на заданное время с помощью программируемого реле времени. Облучение клубней проводилось с двух сторон равное время. Далее проводился отбор проб картофеля для микроскопического анализа. Микроскопический анализ проводился с помощью цифрового микроскопа Olympus CX43 (Япония) при увеличении 10х, 20х и 60х. Из массы посевного картофеля Жуковский (Московская область), зараженного стеблевой нематодой *Ditylenchus dipsaci* был отобран образец весом 1,746 г и размером $12 \times 4 \times 5 \text{ мм}$. На образце присутствовали отмирающие ткани, живые ткани, а также образцы вторичного бактериального и грибного заражения. Образец не подвер-

гался дополнительной водной обработке, а также температурному воздействию. Общая температура образца перед началом исследования составляла $24,2^\circ \text{C}$. Более 80 % обнаруженных в предварительном мазке особей нематоды стеблевой были активны. Образец был разделен на две части, первая из которых была точно облучена гамма излучением с экспозицией в 30 минут. Общая доза составила приблизительно 500 гр. Однако, несмотря на полученную дозу облучения, никакого эффекта на подопытных особей эксперимент не произвел. К наиболее эффективным способам элиминации особей нематоды стеблевой стоит отнести методы химического воздействия. Анализ обзора научной литературы позволяет утверждать, что воздействие спиртов, а также полиэфирных соединений обладает наиболее выраженным эффектом на представителей рода. Исходя из этого были поставлены эксперименты.

Образцы были отобраны из массы посевного картофеля сорта Жуковский зараженного стеблевой нематодой массой 2,05 и 2,13 г. Были произведены мазки, которые показали, что более 80 % особей живы. На образцах также присутствовали отмирающие и живые ткани и примеры вторичного заражения.

Дальнейшие условия соответствуют условиям эксперимента № 1. Образец 1 был разделен на 3 части. Первая часть была помещена под купол, содержащий пары этилового спирта на 10 мин.

Экспозиция для второй и третьей части составила 30 мин и 1 ч соответственно. После образцы были извлечены из-под купола и были отобраны мазки на глубине 0; 1; 3; 5 мм.

Результаты исследований. Результаты исследований по определению зависимости степени ν разрушения почвенного слоя и времени t ультразвукового воздействия заносились в журнал наблюдений и представлены в табл. 3.

В связи с тем, что время воздействия t при постоянной величине частоты ($f_1 = 48,0 \text{ кГц}$) и мощности ($S = 42 \text{ Вт/см}^2$) ультразвукового воздействия не обеспечивают изменение размерных параметров почвенного образца необходимо выполнить исследования по оценке интенсификации ультразвукового воздействия при максимальной величине мощности S и частоты колебаний f_1

Результаты исследований по определению влияния исследуемых факторов, влияющих на снижение заражения клубня картофеля стеблевой нематодой

Время воздействия t , с ($f_1 = 48,0$ кГц, $S = 42$ Вт/см ²)	Исследуемый фактор				
	Поражение стеблевой нематодой v , %				
	50	55	60	65	70
90	50	55	60	65	70
180	50	55	60	65	70
280	50	55	60	65	70
380	50	55	60	65	70
480	50	55	60	65	70

Таблица 4

Результаты исследований по определению влияния исследуемых факторов, влияющих на снижение заражения клубня картофеля стеблевой нематодой

Номер опыта	Время воздействия ($t = 480$ с), частоты ультразвукового воздействия ($f_1 = 96,0$ кГц) и мощности ультразвукового воздействия ($S = 142$ Вт/см ²)				
	Поражение стеблевой нематодой v , %				
	50	55	60	65	70
1	50	55	60	65	70
2	50	55	60	65	70
3	50	55	60	65	70
4	50	55	60	65	70
5	50	55	60	65	70

ультразвукового генератора УЗГ-2К при максимальном значении время воздействия $t = 480$ с, максимальные паспортные значения которых $S = 142$ Вт/см и $f_1 = 96,0$ кГц.

Данные, представленные в табл. 4, свидетельствуют о том, что изменение до максимальных значений режимных параметров ультразвукового воздействия по снижению заражения клубня картофеля стеблевой нематодой без использования проводящей среды, представленной ньютоновской или неньютоновской жидкостью, не обеспечивает изменение поперечного диаметра пораженного клубня, т.е. снижение поражения не происходит.

Визуальное сравнение фотографий стеблевой нематоды клубней картофеля контрольных образцов (рис. 8, а, б) свидетельствует об отсутствии положительного эффекта воздействия ультразвука на снижение жизнедеятельности данного вида заражений клубней, так как не установлено уменьшение размеров нематоды или же ее исключение с поверхности клубня (рис. 8, в, г).

Поражение стеблевой нематодой клубней картофеля при ТВЧ-воздействии оказывает неопределенный эффект ввиду специфики воздействия, обусловленного пропусканием высокой частотой токов, что приводит к изменению качественного состава клубней, но не обеспечивает поражение стеблевой нематоды и изгнание с поверхности клубня, что подтверждают результаты оптических исследований микроскопом марки контрольных и подвергающихся воздействию образцов клубней (рис. 9).

Результаты экспериментальных исследований воздействия гамма излучения на зараженный стеблевой нематодой клубень картофеля представлены на рис. 10, 11.





а



б



в



г

Рис. 8. Нематода под микроскопом после ультразвукового воздействия



а



б



в



г

Рис. 9. Нематода под микроскопом после ультразвукового воздействия

Вторая часть образца была также точно облучена, однако экспозиция составила 25 часов, а общая доза составила ~ 6кГр. При отборе мазков на глубине 0; 1; 3; 5 мм живых особей нематоды стеблевой обнаружено не было.

Оценка летальности воздействия паров этилового спирта на особи *Ditylenchus dipsaci* представлена на рис. 12.

Исходя из полученных данных время обработки в 10 минут является недостаточным для достижения необходимого эффекта. При экспозиции эксперимента в 30 минут удалось достичь элиминации особей нематоды только на глубине от 0 до 3 мм. Аналогичный результат был достигнут при обработке в течение 1 ч. Образец № 2 был также разделен на три части и подвергнут воздействию паров изопропилового спирта. Постановка эксперимента была идентична эксперименту № 1, а результаты данного эксперимента представлены на рис. 13.

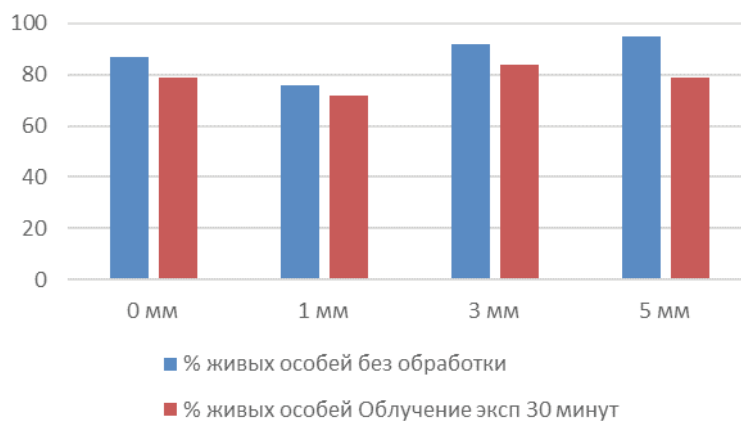


Рис. 10. Оценка летальности воздействия гамма-излучения на особи *Ditylenchus dipsaci* при экспозиции 30 мин

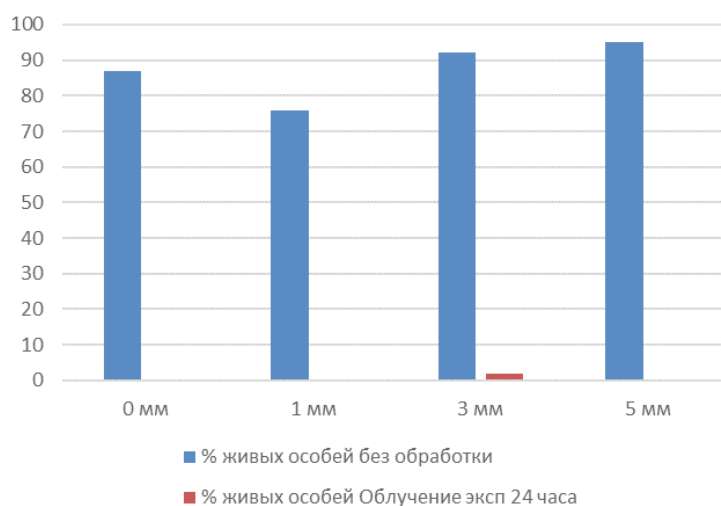


Рис. 11. Оценка летальности воздействия гамма-излучения на особи *Ditylenchus dipsaci* при экспозиции 24 ч

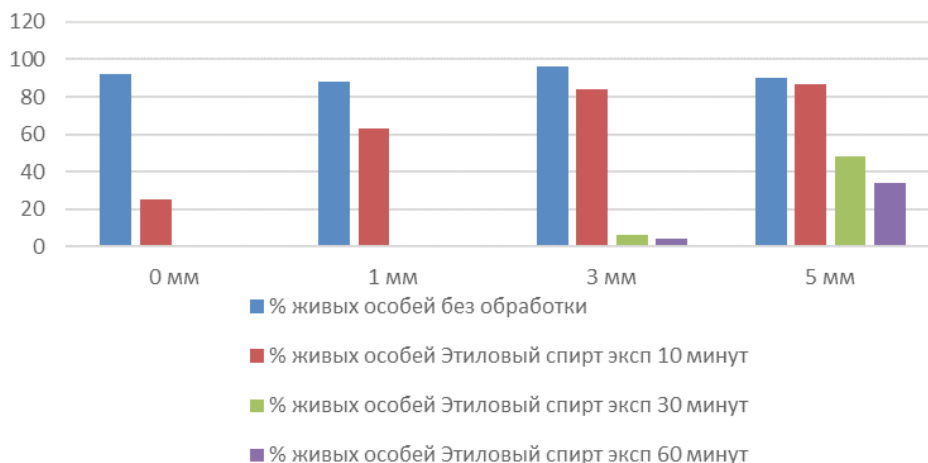


Рис. 12. Оценка летальности воздействия паров этилового спирта на особи *Ditylenchus dipsaci*

Одним из наиболее эффективных методов борьбы с заражением стеблевой нематодой является обработка формалин содержащими растворами. Однако для обработки крупных партий посевного картофеля обработка раствором не подходит в связи с высокой токсичностью для посевного материала и необходимостью промывки после обработки. В связи с этим в эксперименте № 3 использованы пары формалина.

Подготовка образцов была проведена аналогично экспериментам № 1 и 2. Масса образца составила 1,62 г. Время обработки парами формалина составило 10 и 30 мин (рис. 14).

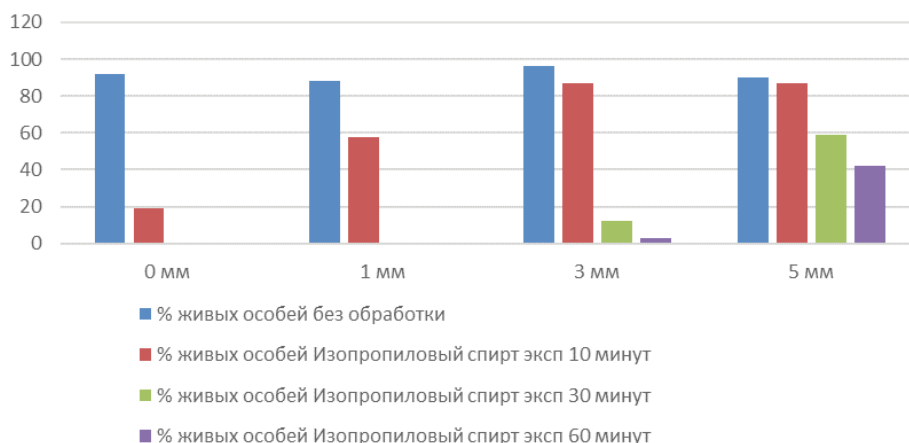


Рис. 13. Оценка летальности воздействия паров изопропилового спирта на особи *Ditylenchus dipsaci*

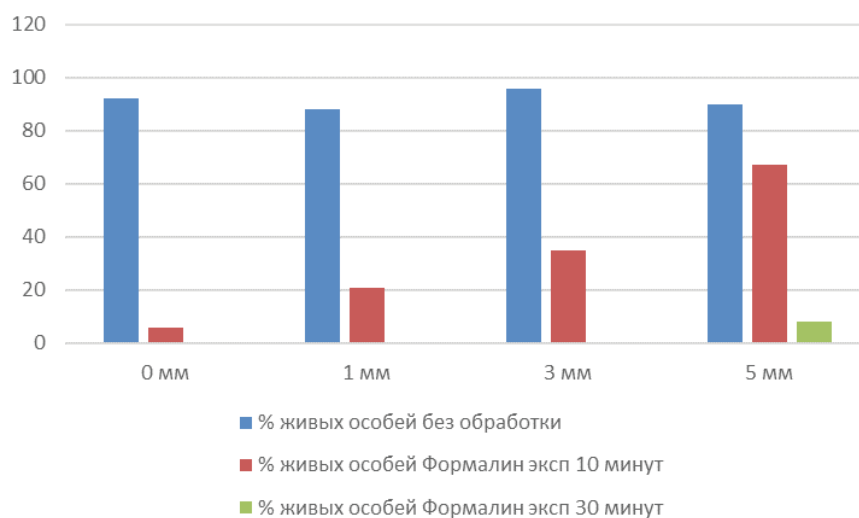


Рис. 14. Оценка летальности воздействия паров формалина на особи *Ditylenchus dipsaci*

Оценивая проведенное исследование, можно отметить, что эффективность паров формалина против заражения стеблевой нематодой очень высока. Даже за минимальный временной промежуток, составляющий 10 мин, степень элиминированных особей крайне велика, в особенности в поверхностной зоне клубня, а при увеличении экспозиции обработки процент заражения минимизирован.

Результаты проведенных поисковых исследований по определению перспективного способа борьбы с стеблевой нематодой картофеля свидетельствуют о целесообразности выполнения экспериментальных работ, направленных на расширение области знаний в части химического метода воздействий.

Заключение. Экспериментальные исследования по определению перспективных методов воздействий на клубни картофеля по устранению заражений стеблевой нематодой свидетельствуют о наиболее значительном потенциале удаления заражений картофеля химическим воздействием.

Однако стоит отметить тот факт, что в клетках тканей клубня картофеля произошли массивные деградационные изменения, включающие в себя эрозии клеточной стенки, разрушение ядерной оболочки и деформации хромосом, что привело к некрозу тканей, однако дальнейшее исследование данного метода с возможностью его совершенствования в части снижения отрицательного воздействия на клубень картофеля химического реагента позволит обеспечить продуктивную работу по борьбе с данным заболеванием.

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации на право получения стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам – СП-1004.2021.1.



1. Алдошин Н.В. Моделирование качества выполнения механизированных работ // Горячкинские чтения: Сб. докладов 1-й Междунар. науч.-практ. конференции, 2013. С. 6–13.
2. Башкирцев В.И., Алдошин Н.В. Обеспечение качества механизированных работ при эксплуатации сельскохозяйственной техники. М., 2017. 96 с.
3. Черноиванов В.И., Ежевский А.А., Федоренко В.Ф. Мировые тенденции машинно-технологического обеспечения интеллектуального сельского хозяйства. М., 2012. 284 с.
4. Ларюшин А.М. Энергосберегающие технологии и технические средства для уборки лука: дис. ... д-ра. техн. наук. Пенза, 2010. 426 с.
5. Ларюшин Н.П. Научные основы разработки комплекса машин для уборки и послеуборочной обработки лука: дис. ... д-ра. техн. наук. Рязань, 1996. 350 с.
6. Лобачевский Я.П., Емельянов П.А., Аксенов А.Г., Сибирев А.В. Машинная технология производства лука. М., 2016. 168 с.
7. Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А., Сазонов Н.В. Инновационные технологии и комплекс машин для уборки лука-севка. М., 2021. 440 с.
8. Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г. Обоснование конструктивной схемы пруткового элеватора с регулируемым углом наклона полотна // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2020. № 4. С. 4–9.
9. Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г. Теоретические исследования технологического процесса работы пруткового элеватора с регулируемым углом наклона полотна // Аграрная наука Евро-Северо-Востока». 2020. № 2 (27). С. 40–46.
10. Протасов А.А. Совершенствование технологических процессов и технических средств для уборки лука: дис. ... д-ра. техн. наук. Саратов, 2005. 355 с.
11. Mayer V., Vejchar D., Pastorková L. Measurement of potato tubers resistance against mechanical loading // Research in Agricultural Engineering. 2017. Iss. 2, p. 22–31.

REFERENCES

1. Aldoshin N.V. Modeling the quality of mechanized work. *Goryachkinskiye readings*. 2013: 6–13. (In Russ.).
2. Bashkirtsev V.I., Aldoshin N.V. Ensuring the quality of mechanized work in the operation of agricultural machinery. Moscow, 2017. 96 p. (In Russ.).
3. Chernoiivanov V.I., A Ezhevsky.A., Fedorenko V.F. World trends in machine-technological support of intelligent agriculture. Moscow, 2012. 284 p. (In Russ.).
4. Laryushin A.M. Energy-saving technologies and technical means for onion harvesting. Penza, 2010. 426 p. (In Russ.).
5. Laryushin N.P. Scientific basis for the development of a complex of machines for harvesting and post-harvest processing of onions. Ryazan, 1996. 350 p. (In Russ.).
6. Lobachevsky Ya.P., Emelyanov P.A., A Aksenov.G., Sibirev A.V. Onion production machine technology. Moscow, 2016. 168 p. (In Russ.).
7. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A., Sazonov N.V. Innovative technologies and a set of machines for harvesting onion sets. Moscow, 2021. 440 p. (In Russ.).
8. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G. Substantiation of the design scheme of a bar elevator with an adjustable blade inclination angle. *Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin*. 2020; 4: 4–9. (In Russ.).
9. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G. Theoretical studies of the technological process of operation of a rod elevator with an adjustable blade inclination angle. *Agrarian science of the Euro-North-East*. 2020; 2 (27): 40–46. (In Russ.).
10. Protasov A.A. Improving technological processes and technical means for harvesting onions. Saratov, 2005. 355 p. (In Russ.).
11. Mayer V., Vejchar D., Pastorková L. Measurement of potato tubers resistance against mechanical loading. *Research in Agricultural Engineering*. 2017; 2: 22–31.

Статья поступила в редакцию 2.10.2022; одобрена после рецензирования 21.11.2022; принята к публикации 1.12.2022.

The article was submitted 2.10.2022; approved after reviewing 21.11.2022; accepted for publication 1.12.2022.

