

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.46

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-6-32-37

**ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ
ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПОЧВЫ****ВОЛОЖАНИНОВ СЕРГЕЙ СЕРГЕЕВИЧ**, канд. техн. наук, доцент¹s.volozhaninov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6686-1220>; Scopus Autor ID: 57218094232**АЛДОШИН НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ**, д-р техн. наук, профессор²naldoshin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0446-1096>; Scopus Autor ID: 5719413129; Researcher ID: AAD-6548-2022**ЗАВАЛИЙ АЛЕКСЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ**✉, д-р техн. наук, доцент¹zavalym@mail.ru✉; <https://orcid.org/0000-0002-0806-1110>; Scopus Autor ID: 57214120527**ВОЛОЖАНИНОВА НИНА ВАЛЕРИЕВНА**, канд. ветеринар. наук, доцент¹ya.volojaninova@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8148-5959>**ЩИГОЛЕВ СЕРГЕЙ ВИКТОРОВИЧ**, канд. техн. наук, доцент²shchigolev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8052-1591>; Scopus Autor ID: 57209267407; Researcher ID: ABF-9023-2021¹ Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского; 295007, Российская Федерация, Республика Крым, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, 4² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Аннотация. Для снижения химической нагрузки на почву, растения и плоды актуальным является использование альтернативных методов обработки почвы и растений, к которым относится облучение неионизирующим излучением. С целью установления диапазона технологических параметров и режимов работы разрабатываемых машин для обработки почвы неионизирующим излучением разработаны методика и экспериментальная установка с возможностью обеспечения инфракрасного и ультрафиолетового излучений. Для исследования почвы, предназначенной для защищенного грунта, применены стандартные методики определения физических, микробиологических и качественных свойств почвы. В ходе исследований реализовано 5 режимов обработки почвы: инфракрасное излучение в течение 3 ч без механического перемешивания почвы и с перемешиванием; ультрафиолетовое излучение в течение 1 ч; воздействие в течение 1 ч одного инфракрасного и одного ультрафиолетового излучателей при механическом перемешивании почвы; обработка в течение 1 ч тремя инфракрасными излучателями и одним ультрафиолетовым при механическом перемешивании почвы. Микробиологические исследования обработанной на экспериментальной установке почвы проводили в течение 1 ч после отбора материала по представленной методике. Экспериментально установлено, что в зависимости от режимов обработки почвы количество микроорганизмов уменьшается на 14...98%. Сочетание инфракрасного и ультрафиолетового излучений с одновременным трехкратным увеличением тепловой мощности излучения в течение 1 ч способствует снижению количества микроорганизмов до 98%. Снижение содержания микроорганизмов в почве вследствие неионизирующего излучения является основой для установления конструктивных и технологических параметров и режимов работы разрабатываемых машин для обработки-тепличных грунтов.

Ключевые слова: почва, неионизирующее излучение, микроорганизмы, энергоэффективные технологии

Формат цитирования: Воложанинов С.С., Алдошин Н.В., Завалий А.А., Воложанинова Н.В., Щиголев С.В. Применение физических методов обработки для обеззараживания почвы // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 6. С. 32-37. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-6-32-37>.

© Воложанинов С.С., Алдошин Н.В., Завалий А.А., Воложанинова Н.В., Щиголев С.В., 2022



ORIGINAL PAPER

APPLICATION OF PHYSICAL TREATMENT METHODS FOR SOIL DISINFECTION**SERGEYS. VOLOZHANINOV**, PhD (Eng), Associate Professor¹s.volozhaninov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6686-1220>; Scopus Autor ID: 57218094232**NIKOLAY V. ALDOSHIN**, DSc (Eng), Professor²naldoshin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0446-1096>; Scopus Autor ID: 5719413129; Researcher ID: AAD-6548-2022**ALEKSEI A. ZAVALIY**✉, DSc (Eng), Associate Professor¹zavalym@mail.ru✉; <https://orcid.org/0000-0002-0806-1110>; Scopus Autor ID: 57214120527

NINA V. VOLOZHANINOVA, PhD (Vet), Associate Professor¹

ya.volojaninova@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8148-5959>

SERGEY V. SHCHIGOLEV, PhD (Eng), Associate Professor²

shchigolev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8052-1591>; Scopus Autor ID: 57209267407; Researcher ID: ABF-9023-2021

¹ V.I. Vernadsky Crimean Federal University; 4 Akademika Vernadskogo Ave., Simferopol, 295007, Republic of Crimea, Russian Federation

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

Abstract. To reduce the chemical load on the soil, plants and fruits, it is important to use alternative methods of soil and plant cultivation, which include irradiation with non-ionizing radiation. To establish the range of technological parameters and operating modes of the developed machines for tillage with non-ionizing radiation, the authors developed a technique and an experimental installation capable of providing infrared and ultraviolet radiation. To study the soil intended for use as protected greenhouse ground, standard methods for determining the physical, microbiological, and qualitative properties of the soil were applied. In the course of research, five modes of soil cultivation were implemented: infrared radiation for three hours with and without the mechanical mixing of the soil; ultraviolet radiation for one hour; exposure for one hour to one infrared and one ultraviolet emitters with the mechanical mixing of the soil; processing for one hour with three infrared emitters and one ultraviolet with the mechanical mixing of the soil. Microbiological studies of the soil treated at the experimental unit were carried out within one hour after the selection of the material according to the presented method. It has been experimentally established that, depending on the modes of soil cultivation, the number of microorganisms decreases by 14...98%. The combination of infrared and ultraviolet radiation with a simultaneous threefold increase in the thermal power of radiation for one hour helps to reduce the number of microorganisms up to 98%. The decrease in the content of microorganisms in the soil due to non-ionizing radiation is the first step to establish the design and technological parameters and operating modes of the developed machines used for tillage in protected greenhouse conditions.

Keywords: soil, non-ionizing radiation, microorganisms, energy-efficient technologies

For citation: Volozhaninov S.S., Aldoshin N.V., Zavaliy A.A., Volozhaninova N.V., Shchigolev S.V. Screening in plant factories: a review of non-invasive plant monitoring techniques for closed regulated agroecosystems. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2022; 24(6): 32-37. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-6-32-37>.

Введение. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур включают в себя химические методы борьбы с вредителями, болезнями и сорной растительностью. Использование химикатов приводит к насыщению почвы, растений и плодов вредными для человека и природы химическими соединениями^{1,2,3} [1].

Для снижения химической нагрузки на почву, растения и плоды актуальным является использование альтернативных методов обработки почвы и растений, к которым относятся ультрафиолетовые, инфракрасные, сверхвысокочастотные (СВЧ) и высокочастотные диапазоны электромагнитного излучения⁴ [2-4].

Цель исследований: установление диапазона технологических параметров и режимов работы разрабатываемых машин для обработки почвы неионизирующим излучением, обеспечивающего существенное снижение содержания патогенных микроорганизмов в обработанной почве.

Материалы и методы. Объектом исследований является почва, упакованная в полиэтиленовую тару, предназначенная для защищенного грунта. Применены стандартные методики определения физических, микробиологических и качественных свойств почвы с использованием лабораторного оборудования [5-8].

¹ Методы микробиологического контроля почвы: Методические рекомендации / Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана, Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, центр ГСЭН в Краснодарском крае: Утв. 24 декабря 2004 г. 17 с.

² Методические указания по санитарно-микробиологическому исследованию почвы. М., 1981. 15 с.

³ Дезинфекция тепличных грунтов и субстратов: Информационный агропромышленный портал РосАгро. URL: https://rosagroportal.ru/article/current/319/dezinfekcija_teplichnyh_gruntov_i_substratov (дата обращения: 10.03.2022).

⁴ Обеззараживание почвогрунтов. Зооинженерный факультет МСХА: сайт. URL: <https://www.activestudy.info/obezzarazhivanie-pochvogrunto/> (дата обращения: 10.03.2022).

Методика исследований включала в себя следующие этапы:

1. Анализ содержания микроорганизмов в почве.
2. Обработка и термометрия почвы на экспериментальной установке с возможностью обеспечения инфракрасного и ультрафиолетового излучений [9-11].

Исследования по содержанию микроорганизмов в почве проводились в такой последовательности:

- от каждой партии почвы, состоящей из 10 упаковок по 5 кг, отбиралась проба;
- отобранную пробу почвы массой 300...400 г помещали в стерильную стеклянную банку, микробиологические исследования проводили в течение 1 ч после отбора материала;
- навеску почвы для исследования подготавливали в условиях стерильного бокса с использованием стерильного инструмента, пробу почвы тщательно перемешивали, освобождали от крупных включений, измельчали в ступке, просеивали через сито на стерильную бумагу;
- отбирали навеску массой 30 г, помещали в стерильную колбу объемом 500 мл и доливали стерильную водопроводную воду в объеме 270 мл, получая, таким образом, разведение 1:10, в дальнейшем готовили последовательные десятикратные разведения почвы (1:10²...1:10⁵);
- посев производили на микробиологический агар по две чашки Петри на каждое разведение, в чашку вносили по 1 мл суспензии и заливали 15 мл расплавленного и охлажденного до 45°C агара. После посева чашки помещали в термостат при температуре 25°C, наблюдение за ростом в чашках осуществляли через 24, 48 и 72 ч. На третьи сутки проводили подсчет количества колоний в чашках с крайним разведением, затем вычисляли среднее значение и умножали на степень разведения;
- для получения более полных результатов производили перерасчет обнаруженных микроорганизмов на 1 г абсолютной сухой почвы:

$$N = \frac{N_c \cdot 100\%}{100\% - C\%}, \quad (1)$$

где N – количество клеток бактерий в 1 г абсолютно сухой почвы; N_c – количество клеток бактерий в 1 г сырой почвы; C – влажность исследуемой почвы. При этом

$$N_c = n a, \quad (2)$$

где a – степень десятикратного разведения; n – число колоний, выросших в чашке (берется среднее арифметическое из всех чашек).

Обработка и термометрия почвы проводились на экспериментальной установке, вид и принципиальная схема которой показаны на рисунке 1. Установка состоит из рамы с направляющими 1, по которым посредством роликов движется тележка 3 с размещенной на ней обрабатываемой почвой 9. Тележка совершает возвратно-поступательное движение, которое ей сообщает электродвигатель 2 через жестко закрепленный рычаг 7 и цепную передачу 5. Движущее усилие от цепи 5 рычагу 7 передается закреплённой в звене цепи ползушкой, которая установлена в вертикальном пазе рычага 7. Применение рычага 7 и ползушки позволило обеспечить возвратно-поступательное движение тележки 3 при безреверсивной работе электродвигателя. Для обеспечения возможности выбора скорости движения каретки изменением частоты вращения двигателя использован частотный регулятор.

Над центральной частью направляющих 1 установлена двухопорная балка с закреплёнными на ней ультрафиолетовым излучателем 6 и инфракрасными излучателями 8, представляющими собой спиральные проволочные нагревательные элементы, выполненные из фехралево-проволоки, тепловой мощностью 1000 Вт. Спирали нагревательных элементов размещены в кварцевой трубке, над которой установлены параболические зеркальные отражатели, выполненные из листа анодированного зеркально полированного алюминия – аланода с отражательной способностью не менее 95%. Высота размещения излучателей 6 и 8 над поверхностью лотка тележки 3 может варьироваться изменением мест крепления балки с излучателями на вертикальных опорах. Изменение высоты положения излучателей и скорости движения каретки позволяет изменять тепловую мощность и величину теплового потока, поступающего на полосу тележки, проходящей в текущий момент времени под излучателями. При необходимости количество подключаемых излучателей и их сочетание могут изменяться. Для принудительной вентиляции тележки с почвой воздухом или заданной газовой средой (например, азотом, углекислотой, озоном) под ней установлены воздухопроводы 4 с перфорацией, соединённые с нагнетающим вентилятором.

Порядок работы устройства. Почву размещают на сетчатой поверхности лотка тележки равномерным слоем толщиной 30 мм, включают привод тележки и излучатели, наблюдая за процессом обработки почвы, контролируют ее температуру; выключают излучатели и привод тележки, отбирают пробу почвы для микробиологического анализа [12, 13].

Для контроля температуры почвы в ходе обработки использовали термопары «Хромель-алюмель» или тип К с открытым спаем, представляющим собой «шарик» диаметром около 0,35 мм. Спай размещали в различных зонах тележки на разной глубине слоя почвы, который составлял 30 мм (рис. 1). Запись сигналов термопар выполняли компьютерной микропроцессорной 7-канальной системой,

включающей в себя микропроцессорный многоканальный контроллер с преобразованием выходного сигнала в цифровой сигнал USB порта персонального компьютера, персональный компьютер с установленной программой регистрации данных микропроцессорного контроллера. Частота опроса каждого канала термопары составляла 2 Гц.

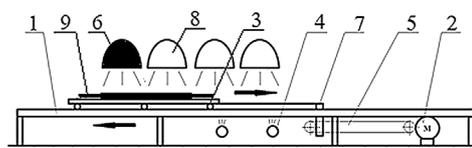


Рис. 1. Внешний вид и принципиальная схема установки для обеззараживания почвы:

1 – рама; 2 – электродвигатель; 3 – тележка; 4 – сопло; 5 – цепная передача; 6 – ультрафиолетовый излучатель; 7 – рычаг; 8 – инфракрасные излучатели; 9 – обрабатываемая почва

Fig. 1. View and schematic diagram of the unit for soil disinfection:

1 – frame; 2 – electric motor; 3 – trolley; 4 – nozzle; 5 – chain transmission; 6 – ultraviolet emitter; 7 – lever; 8 – infrared emitters; 9 – cultivated soil

В экспериментальной установке обеспечивается динамический режим волновой обеззараживающей обработки почвы инфракрасным излучением, ультрафиолетовым излучением или их сочетанием. Периодический нагрев и последующее охлаждение почвы интенсифицируют процесс обеззараживания и предотвращают перегрев почвы. Динамический режим волновой обеззараживающей обработки обеспечивает:

- максимальную сохраняемость биологического потенциала почвы, достигаемую «мягкими» динамическими тепловыми режимами обработки;

- низкие удельные затраты энергии на обработку (экологически безопасный ИК-нагрев и обработка ультрафиолетовым излучением);

- универсальность, низкую стоимость, низкие эксплуатационные затраты (ремонт, замена узлов, обслуживание).

3. Анализ содержания микроорганизмов в почве после обработки на экспериментальной установке. После обработки пробу почвы отбирали стерильной ложкой методом квадрата из четырех точек по углам и одной – в центре. Масса пробы составляла 300...400 г. Объединенную пробу почвы помещали в стерильную стеклянную банку, микробиологические исследования проводили в течение 1 ч после отбора материала по вышеописанной методике.

Результаты и их обсуждение. В ходе исследований реализовано 5 режимов обработок образцов почвы:

1 – обработка одним инфракрасным излучателем без механического перемешивания почвы (тепловая мощность инфракрасного излучателя – 1000 Вт; экспозиция – 18 мин; продолжительность обработки – 3 ч);

2 – обработка одним инфракрасным излучателем с механическим перемешиванием почвы через каждые 15 мин (тепловая мощность инфракрасного излучателя 1000 Вт, экспозиция 18 мин, продолжительность обработки 3 ч);

3 – обработка ультрафиолетовым излучателем (мощность ультрафиолетового излучения – 12,6 Вт; экспозиция – 6 мин; продолжительность обработки – 1 ч);

4 – обработка комбинацией одного инфракрасного и одного ультрафиолетового излучателей с механическим перемешиванием через каждые 15 мин (тепловая мощность инфракрасного излучателя – 1000 Вт; мощность ультрафиолетового излучения – 12,6 Вт; экспозиция для каждого излучателя – по 6 мин; продолжительность обработки – 1 ч);

5 – обработка комбинацией батареи из трех инфракрасных излучателей и одного ультрафиолетового с механическим перемешиванием через каждые 15 мин (тепловая мощность одного инфракрасного излучателя – 1000 Вт; мощность

ультрафиолетового излучения – 12,6 Вт; экспозиция для инфракрасных излучателей – 18 мин, для ультрафиолетового – 6 мин; продолжительность обработки – 1 ч).

В ходе обработки почвы на экспериментальной установке осуществлялся контроль температуры. Временная термограмма для 4-го режима обработки приведена на рисунке 2. По оси абсцисс расположена ось времени (сек.), а по оси ординат – температура (°C), измеряемая каждой термопарой. По рисунку можно наблюдать период нагрева почвы и стационарный период обработки, при котором температура не превышает 50°C. Термограмма демонстрирует высокую степень равномерности теплового облучения почвы и соответственно равномерности процесса обеззараживания. Высокая степень равномерности тепловой обработки почвы позволяет получить энергоэффективную обработку с одновременным обеззараживающим эффектом.

Результаты определения микроорганизмов в образцах почвы приведены в таблице.

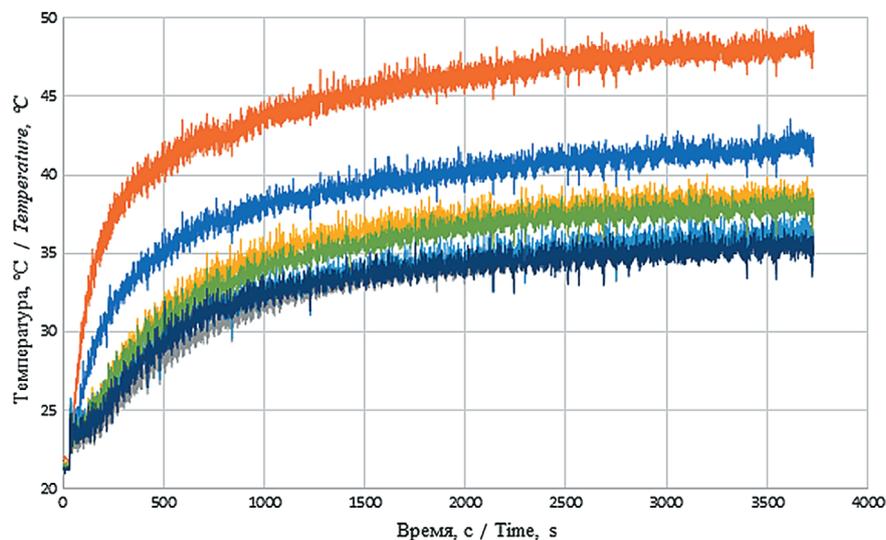


Рис. 2. Временная термограмма обработки почвы инфракрасным и ультрафиолетовым излучением для 4-го режима
Fig. 2. Temporary thermogram of soil treatment with infrared and ultraviolet radiation for Mode 4

Таблица

Результаты определения микроорганизмов в образцах почвы

Table

Results of determination of microorganisms in soil samples

Образцы почвы Soil samples	Влажность исследуемой почвы, % Moisture content of the studied soil, %	Разведение Dilution	Проба 1 Sample 1	Проба 2 Sample 2	Среднее значение Average value	Количество микроорганизмов в 1 г почвы Number of microorganisms in 1 g of soil	КОЕ в 1 г абсолютно сухой почвы CFU in 1 g of absolutely dry soil
Исходный Original	65	10^{-5}	261	217	239	$239 \cdot 10^5$	$6,0 \cdot 10^7$
1	60	10^{-5}	198	214	206	$206 \cdot 10^5$	$5,2 \cdot 10^7$
2	60	10^{-5}	47	35	41	$41 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^7$
3	65	10^{-5}	26	22	24	$24 \cdot 10^5$	$6,8 \cdot 10^6$
4	50	10^{-5}	10	8	9	$9 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^6$
5	30	10^{-5}	4	6	5	$5 \cdot 10^5$	$7,1 \cdot 10^5$

Согласно экспериментальным данным количество микроорганизмов значительно уменьшается при обеззараживании почвы комбинацией инфракрасного и ультрафиолетового излучений.

Визуализация процесса роста микроорганизмов в чашках Петри показана на рисунке 3 для каждого образца почвы, подверженного обеззараживающей обработке в соответствии с вышеуказанными режимами.

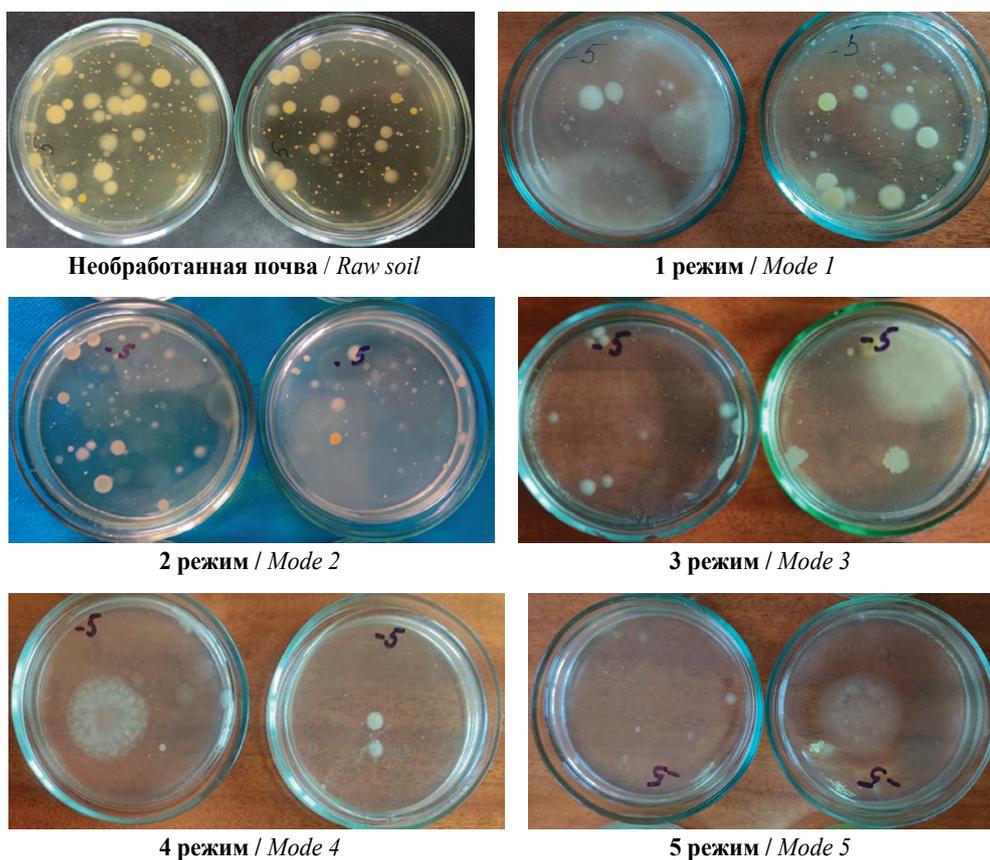


Рис. 3. Чашки Петри с микроорганизмами

Fig. 3. Petri dishes with microorganisms

Результаты исследований показывают, что режим обработки одним инфракрасным излучателем с механическим перемешиванием по отношению к режиму без перемешивания приводит к снижению количества микроорганизмов в почве на 84%. При этом обработка только ультрафиолетовым излучателем позволяет снизить количество микроорганизмов по сравнению с исходным показателем почти на 90%. Сочетание инфракрасного и ультрафиолетового излучений с одновременным трехкратным увеличением тепловой мощности излучения в течение 1 ч и экспозиции 18 мин для инфракрасных излучателей дает наилучший результат: снижение количества микроорганизмов составляет 98% [7].

Список использованных источников

1. Микаелян Г.А., Нурметов Р.Д. Основы оптимального проектирования производственных процессов в овощеводстве. Способы и методы обеззараживания почвы в теплицах. М.: Росинформагroteх, 2005. С. 443-448. EDN: QKXKUZ.
2. Баранов Л.А., Бурнаев М.Г. Устройство для электротермической обработки почвы защищенного грунта // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». 2007. № 20 (92). С. 46-49. EDN: KWUPRZ.
3. Кабалоев Т.Х. Энергетические режимы и технические средства обеззараживания почвы в защищенном грунте: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Зерноград, 2005. 38 с. EDN: NIKRD.
4. Поспелова И.Г., Возмищев И.В., Ниязов А.М., Дородов П.В., Владыкин И.Р. Автономная система электроснабжения установки для обеззараживания поверхностей ИК-излучением в защищенном грунте // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69, № 2 (47). С. 20-24. EDN: QOTCGP
5. Мобильная термическая установка: патент RU2064228 C1 / С.Н. Шахматов, Н.В. Цугленок, А.Л. Лазуренко; заявл. 16.06.1992; опубл. 27.07.1996. EDN: PFMJLS.
6. Устройство для обеззараживания почвы ИК-излучением: патент RU197880 U1 / И.Г. Поспелова, И.В. Возмищев, А.М. Ниязов,

Выводы

1. В зависимости от режимов обработки почвы количество микроорганизмов уменьшается на 14...98%. Комбинацией инфракрасного и ультрафиолетового излучений можно достичь максимального обеззараживания почвы 98%.
2. Снижение содержания микроорганизмов в почве вследствие неионизирующего излучения является основой для установления конструктивных и технологических параметров и режимов работы разрабатываемых машин для обработки почвы в устройствах защищенного грунта.

References

1. Mikaelyan G.A., Nurmetov R.D. Methods and methods of soil disinfection in greenhouses. Fundamentals of optimal design of production processes in vegetable growing. Moscow: Rosinformagrotekh, 2005. P. 443-448. (In Rus.)
2. Baranov L.A., Burnaev M.G. Device for the electrothermal tillage of protected soil. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Series: Energetika*. 2007; 20(92): 46-49. (In Rus.)
3. Kabaloev T.Kh. Energy regimes and technical means of soil disinfection in protected soil: Self-review of DSc (Eng) thesis. Zernograd, 2005. 38 p. (In Rus.)
4. Pospelova I.G., Vozmishchev I.V., Niyazov A.M., Dorodov P.V., Vladykin I.R. Autonomous power supply system for surface disinfection by infrared radiation in protected ground. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovaniye v APK*. 2022; 69(2): 20-24
5. Shakhmatov S.N., Tsuglenok N.V., Lazurenko A.L. Mobile thermal installation: patent RU2064228 C1; applied on Jun 16, 1992; issued on July 27, 1996. (In Rus.)
6. Pospelova I.G., Vozmishchev I.V., Niyazov A.M., Novoselov I.M. Device for soil disinfection IR-radiation: patent RU197880 U1; applied on Dec 13, 2019; issued on Jun 06, 2020. (In Rus.)
7. Pospelova I.G., Vospishchev I.V., Vladykin I.R., Shakirov R.R., Kondratieva N.P. Device for soil disinfection with mechanical treatment:

И.М. Новоселов; заявл. 13.12.2019; опубл. 03.06.2020, Бюл. № 16. EDN: EQQKJP.

7. Устройство для обеззараживания почвы с механической обработкой: патент RU205568 U1 / И.Г. Поспелова, И.В. Возмищев, И.Р. Владыкин, Р.Р. Шакиров, Н.П. Кондратьева; заявл. 20.04.2021; опубл. 21.07.2021, Бюл. № 21. EDN: PVKGGK.

8. Апарин Б.Ф. Почвоведение: Учебник. М.: Академия, 2012. 256 с.

9. Завалий А.А., Алдошин Н.В., Воложанинов С.С., Волобуев Д.Д., Щиголов С.В. Технологии и машины для физических методов воздействия на почву, семена и растения // Агроинженерия. 2021. № 6 (106). С. 11-19. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-6-11-19>

10. Debaeke Ph., Casadebaig P., Flenet F., Langlade N. Sunflower crop and climate change: vulnerability, adaptation, and mitigation potential from case-studies in Europe. *OCL*. 2017; 24 (1): D102. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016052>

11. McCartney L., Lefsrud M.G. Protected agriculture in extreme environments: A review of controlled environment agriculture in Tropical, Arid, Polar, and Urban Locations. *Applied Engineering in Agriculture*. 2018; 34 (2): 455-473. <https://doi.org/10.13031/aea.12590>

12. Shin C.S., Kim K.U. CO₂ Emissions by Agricultural Machines in South Korea. *Applied Engineering in Agriculture*. 2018; 34 (2): 311-315. <https://doi.org/10.13031/aea.11796>

13. Мудрецова-Висс К.А., Дедюхина В.П., Масленникова Е.В. Основы микробиологии: Учебник. М.: Издательский Дом ФОРУМ, 2020. 384 с.

Критерии авторства

Воложанинов С.С., Алдошин Н.В., Завалий А.А., Воложанинова Н.В., Щиголов С.В. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент и подготовили рукопись. Воложанинов С.С., Алдошин Н.В., Завалий А.А., Воложанинова Н.В., Щиголов С.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 05.09.2022

Одобрена после рецензирования 23.09.2022

Принята к публикации 13.10.2022

patent RU N205568; applied on Apr 20, 2021; issued on July 21, 2021. (In Rus.)

8. Aparin B.F. Soil science: study manual for educational institutions of secondary vocational education. Moscow, Akademia, 2012. 256 p. (In Rus.)

9. Zavaliiy A.A., Aldoshin N.V., Volozhaninov S.S., Volobuev D.D., Shchigolev S.V. Technologies and machines for physical methods of influencing soil, seeds, and plants. *Agricultural Engineering*. 2021; 6: 11-19. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-6-11-19> (In Rus.)

10. Debaeke Ph., Casadebaig P., Flenet F., Langlade N. Sunflower crop and climate change: vulnerability, adaptation, and mitigation potential from case-studies in Europe. *OCL*. 2017; 24 (1): D102. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016052>

11. McCartney L., Lefsrud M.G. Protected agriculture in extreme environments: A review of controlled environment agriculture in Tropical, Arid, Polar, and Urban Locations. *Applied Engineering in Agriculture*. 2018; 34 (2): 455-473. <https://doi.org/10.13031/aea.12590>

12. Shin C.S., Kim K.U. CO₂ Emissions by Agricultural Machines in South Korea. *Applied Engineering in Agriculture*. 2018. 34 (2): 311-315. <https://doi.org/10.13031/aea.11796>

13. Mudretsova-Viss K.A., Dedyukhina V.P., Maslennikova E.V. Fundamentals of microbiology: study manual. Moscow, Izdatelskiy Dom FORUM, 2020. 384 p. (In Rus.)

Contribution

S.S. Volozhaninov, N.V. Aldoshin, A.A. Zavaliiy, N.V. Volozhaninova and S.V. Shchigolev performed theoretical studies and, based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. S.S. Volozhaninov, N.V. Aldoshin, A.A. Zavaliiy, N.V. Volozhaninova and S.V. Shchigolev have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

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

The article was received 05.09.2022

Approved after reviewing 23.09.2022

Accepted for publication 13.10.2022