

**Эффект соноплазменной обработки воды на бактериально-грибной комплекс микроорганизмов, типичных для тепличных хозяйств**

**Юлия Дмитриевна Сергеева<sup>1,2</sup>, Вероника Денисовна Волкова<sup>1</sup>, Терехова Вера Александровна<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>1</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н.Северцова РАН, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Вероника Денисовна Волкова, [letap.msu@gmail.com](mailto:letap.msu@gmail.com), [v\\_v\\_d\\_2000@mail.ru](mailto:v_v_d_2000@mail.ru)

**Аннотация.** Исследовали воздействие соноплазменного разряда (СПР) при обработке ирригационной воды тепличного хозяйства на бактериально-грибной комплекс микроорганизмов. Оценку чувствительности к СПР культивируемых бактерий и микроскопических грибов проводили при сравнении посевов на питательную среду Чапека проб необработанной (контроль) и одно- и двукратно обработанной СПР (30 кГц) воды из теплиц. Получены новые данные об устойчивости к соноплазменной обработке видов микроорганизмов, типичных для сточных вод тепличных хозяйств, в том числе представляющих опасность для патогенеза растений. Обработка соноплазменным разрядом ирригационных вод тепличного хозяйства более эффективна в отношении элиминации бактерий, чем плесневых грибов. Ингибирующее воздействие на пропагулы микроскопических плесневых грибов прямо пропорционально кратности обработки.

**Ключевые слова:** очистка воды, соноплазменный разряд, микроорганизмы, фитопатогены, бактерии, микромицеты

**The effect of sonoplasma water treatment on the bacterial-fungal complex of microorganisms typical of greenhouses**

**Sergeeva Y.<sup>1,2</sup>, Volkova V.<sup>1</sup>, Terekhova V.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences named after A.N. Severtsov, Moscow, Russia

Corresponding author: Volkova V., [letap.msu@gmail.com](mailto:letap.msu@gmail.com), [v\\_v\\_d\\_2000@mail.ru](mailto:v_v_d_2000@mail.ru)

**Abstract.** The effect of sonoplasma discharge (SPR) on the bacterial-fungal complex of microorganisms during the treatment of irrigation water from a greenhouse was studied. The sensitivity to SPR of cultured bacteria and microscopic fungi was

assessed by comparing crops on the Capek nutrient medium of samples of untreated (control) and single- and double-treated SPR (30 kHz) water from greenhouses. New data have been obtained on the resistance to sonoplasmic treatment of species of microorganisms typical of greenhouse wastewater, including those that pose a danger to plant pathogenesis. Sonoplasma discharge treatment of greenhouse irrigation waters is more effective in eliminating bacteria than mold fungi. The inhibitory effect on the propagules of microscopic fungi is directly proportional to the frequency of treatment.

**Keywords:** water purification, sonoplasmic discharge, microorganisms, phytopathogens, bacteria, micromycetes

### **Актуальность**

В настоящее время многие тепличные хозяйства переходят на замкнутую систему водоснабжения. Использование «оборотной воды» считается вкладом в устойчивость агропромышленного комплекса. Рециркуляция воды в тепличных системах обязательна для достижения нулевых выбросов воды и достижения целей Европейской водной рамочной директивы [6]. Одна из проблем заключается в том, что в оборотной воде могут присутствовать некоторые патогены, такие как вирусы, грибы и бактерии, и, следовательно, рециркуляция создает риск распространения патогенов через ирригационную систему.

Помимо риска патогенеза растений необходимо учитывать и проблемы, связанные с бесконтрольным накоплением биомассы сопутствующих микроорганизмов, в том числе, и токсигенных, которые, как правило, представлены в обогащенных питательными компонентами водных средах теплиц микроводорослями и дрожжами. Для обоснованных рекомендаций по использованию соноплазменной установки для очистки оборотной воды в тепличных комплексах необходимы исследования эффективности режимов соноплазменной обработки в отношении подавления микроорганизмов, рециркуляция которых представляет серьезную угрозу распространению болезней растений и нарушает баланс питательных веществ в ирригационных системах.

Условия стерильности в производственных условиях соблюдать крайне сложно. Микроорганизмы попадают в субстрат при транспортировке и хранении, аэрогенно, с посевным материалом, переносятся на руках, ногах и одежде рабочих. Большую опасность для тепличных хозяйств представляют возбудители вирусных, микоплазменных, бактериальных и грибных заболеваний. Среди бактерий это, прежде всего, представители родов *Xanthomonas*, *Pseudomonas*, *Erwinia*, *Corynebacterium* и др. [2,4,5].

Среди грибов большую опасность для продукции агрокомплексов представляют: *Cladosporium cladosporioides* (кладоспориоз, или бурая оливковая пятнистость), *Alternaria* sp. (альтернариоз, или сухая пятнистость листьев), *Plectosphaerella cucumerina* (пятнистость листьев), *Fusarium* sp. (фузариоз, увядание или трахеомикоз), *Botrytis cinerea* (серая гниль), *Sclerotinia sclerotiorum* (белая гниль), *Stagonosporopsis cucurbitacearum* (син. *Didymella bryoniae*) (аскохитоз, или черная стеблевая гниль), *Verticillium dahlia* (увядание) [3].

Цель работы заключалась в выявлении устойчивости бактериально-грибного комплекса микроорганизмов ирригационных вод тепличного хозяйства к обработке воды с помощью соноплазменного разряда.

### **Материалы и методы**

Соноплазменная технология, использованная в данной работе, объединяет ультразвуковую кавитацию и низкотемпературную плазму. Плазма возбуждается с помощью переменного напряжения частотой 30 кГц непосредственно в водной среде с использованием кавитирующих пузырьков в качестве газоразрядных микрокамер. Воду из теплицы, содержащую органические загрязнители и микроорганизмы, подвергали обработке при двух режимах, на установке Института общей и неорганической химии им. Курнакова РАН, согласно методике, описанных в статье [1].

Для анализа элиминации бактериального и грибного загрязнения в исследуемой воде тепличного хозяйства проводили микробиологический посев проб из необработанной СПР и обработанной жидкости, предоставленной сотрудниками производственного тепличного комплекса.

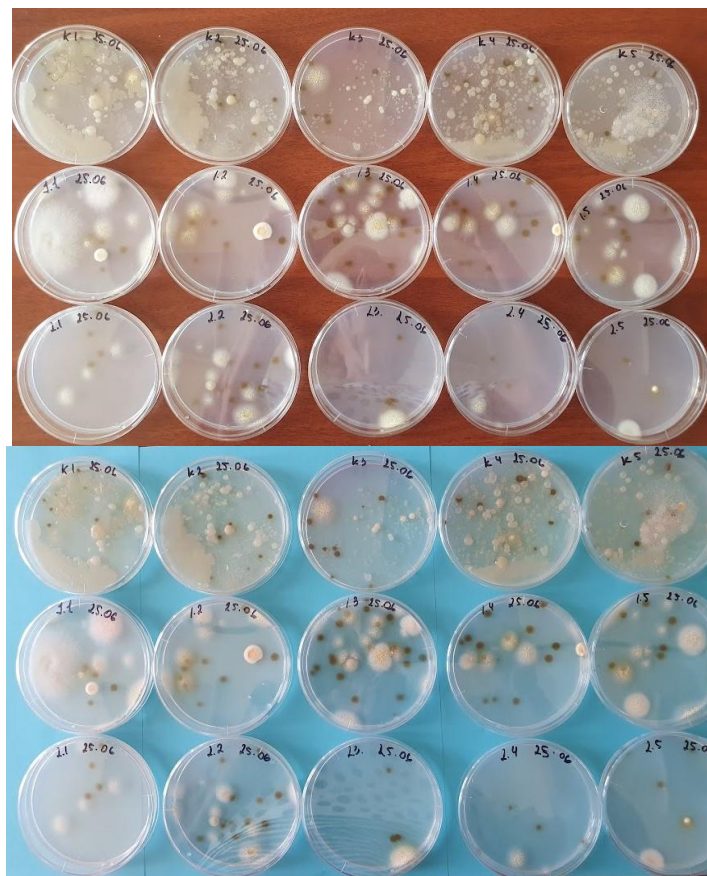
Для исследования воздействия СПР в двух режимах – одно- и двукратной обработки при 30 кГц – проводили оценку структуры комплексов культивируемых видов грибов методом посева на агаризованную среду Чапека стандартного состава: в 1 л дистиллированной воды содержалось  $\text{NaNO}_3$  – 3,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 1.0,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0.5,  $\text{KCl}$  – 0.5,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0.01, сахароза – 30.0, агар-агар – 15.0 г. Из каждой пробы брали аликвоты 0.1 мл для посева на чашку Петри со средой Чапека. Культивирование проводили в термостате при 23-24°C.

Учет числа колониеобразующих единиц (КОЕ, тыс./мл) и оценку разнообразия по культурально-морфологическим типам (КМТ) колоний осуществили на 10-е сутки роста. Для оценки разнообразия использовали индекс Шеннона, рассчитанный на основании числа культурально-морфологических типов грибных колоний. Контролем служила сточная вода из теплиц без обработки СПР.

Исследование влияния СПО на бактерии и культивируемые микромицеты в сточной воде тепличного хозяйства проводили после одно- и двукратной обработки СПР (с частотой 30 кГц).

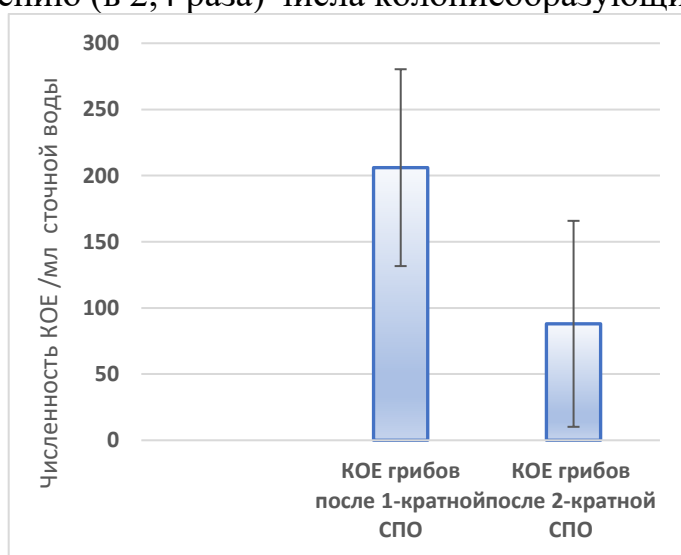
### **Полученные результаты и их обсуждение**

При микробиологическом посеве проб воды, необработанной СПР, на среду Чапека обилие бактерий и грибов было достаточно велико. Из-за газонного роста бактерий (рисунок 1) учет численности грибных колоний в этом варианте был затруднителен.



**Рисунок 1.** Внешний вид колоний бактерий и плесневых грибов, высеянных из сточной воды теплиц: на обеих подложках верхний ряд – без обработки СПР; средний ряд – после однократной СПР, нижний ряд – после двукратной СПР.

Уже однократная обработка СПР привела к элиминации подавляющей части бактериальных клеток. (при этом грибы сохранили свою жизнеспособность. Повторная обработка сточной воды привела к еще большему снижению (в 2,4 раза) числа колониеобразующих единиц грибов (рисунок 2).



**Рисунок 2.** Численность колониеобразующих единиц (КОЕ) плесневых грибов в сточной воде теплиц без с обработкой СПР (среднее знач. КОЕ/мл и станд. откл.).

Разнообразие колоний по культурально-морфологическим типам (КМТ) было невелико: индекс Шеннона (H) для комплекса грибов в воде после ее 1-кратной обработки СПР составил 0,68, а после 2-кратной – 0,89. Небольшое увеличение значений H после второй обработки СПР, скорее всего, объясняется практически полной элиминацией бактерий, которые создают конкуренцию грибам в сообществе микроорганизмов, препятствуют развитию колоний микромицетов. Среди выросших колоний грибов велика доля гиалиновых мицелиальных форм, к которым относятся большинство фитопатогенных видов рода *Fusarium*, с меньшей частотой встречались колонии *Penicillium* spp., *Trichoderma* spp. Пигментированные (меланизированные) колонии представлены были неспороносящим мицелием, с большой вероятностью эти колонии могут представлять фитопатогенов *Cladosporium* spp. или *Alternaria* spp.

### Заключение

На основании полученных данных можно заключить, что для полной элиминации бактерий достаточно 1-кратной обработки воды соноплазменным разрядом (30 кГц) сточной воды, тогда как для полного устранения грибных пропагул недостаточно и 2-кратной обработки.

Работа выполнена в рамках проекта Минобрнауки N 075-15-2024-546.

### Список источников

1. Abramov V.O., Abramova A.V., Cravotto G., Nikonov R.V., Fedulov I.S., Ivanov V.K. Flow-mode water treatment under simultaneous hydrodynamic cavitation and plasma //Ultrasonics Sonochemistry.2021. Т.70. С. 105323. doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105323.
2. Ахатов А. К., Ахатов Е. А. Наиболее вредоносные болезни овощных культур в современных тепличных комбинатах //Гавриш. 2014. № 3. С. 16-23.
3. Барейко А. А., Сидоренко А. В., Валентович Л. Н., Пилипчук Т. А., Купцов В. Н., Титок М. А., Коломиец, Э. И. ПЦР-диагностика грибов-возбудителей болезней огурца и томата //Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты. 2019. С. 200-215.
4. Быкова Г. А., Белых Е. Б. Особенности защиты овощных культур в теплицах от бактериозов //Защита и карантин растений. 2011. № 3. С. 32-35.
5. Горичева В. А., Динкова В. С. Бактериальные болезни томата в условиях юга России. //Овощеводство-от теории к практике. 2021. С. 18-20.
6. Медведева А. Плазменный дезинфектор воды для теплиц протестировали на самых распространенных патогенах. [Электронный ресурс] // AgroXXI.ru. 18.12.2023. URL: <https://www.agroxxi.ru/selhoztehnika/novosti/plazmennyi-dezinfektor-vody->

### References

1. Abramov V.O., Abramova A.V., Cravotto G., Nikonov R.V., Fedulov I.S., Ivanov V.K. Flow-mode water treatment under simultaneous hydrodynamic cavitation and plasma //Ultrasonics Sonochemistry.2021. Vol. 70. P. 105323. doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105323.
2. Akhatov A. K., Akhatov E. A. The most harmful diseases of vegetable crops in modern greenhouse plants //Gavrish. 2014. №. 3. PP. 16-23.
3. Bareiko A. A., Sidorenko A.V., Valentovich L. N., Pilipchuk T. A., Kuptsov V. N., Titok M. A., Kolomiets, E. I. PCR diagnostics of fungi-pathogens of cucumber and tomato diseases //Microbial biotechnologies: fundamental and applied aspects. 2019. P. 200-215.
4. Bykova G. A., Belykh E. B. Features of protection of vegetable crops in greenhouses from bacterioses //Protection and quarantine of plants. 2011. №. 3. P. 32-35.
5. Goricheva V. A., Dinkova V. S. Bacterial diseases of tomatoes in the conditions of southern Russia. //Vegetable growing- from theory to practice. 2021. P. 18-20.
6. Medvedeva A. Plasma water sanitizer for greenhouses was tested on the most common pathogens. [Electronic resource] // AgroXXI.ru . 18.12.2023. URL: <https://www.agroxxi.ru/selhoztehnika/novosti/plazmennyi-dezinfektor-vody-dlja-teplic-protestirovali-na-samyh-rasprostranennyh-patogenah.html> (accessed 30.11.2024)

### Информация об авторах

**Ю.Д. Сергеева** – студентка 2 курса магистратуры факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова;

**В.Д. Волкова** – аспирант 1-го года обучения факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова;

**В.А. Терехова** – доктор биологических наук, профессор факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова;

### Information about the authors

**Y.D. Sergeeva** – 2nd year graduate student of the Faculty of Soil Science of Lomonosov Moscow State University;

**V.D. Volkova** – post-graduate student of the 1st year of study at the Faculty of Soil Science of Lomonosov Moscow State University;

**V.A. Terekhova** – Doctor of Biological Sciences, Professor, Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University.