

КАВИТАЦИОННОЕ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ЖИДКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

М.А. Промтов¹, А.Е. Иванова², А.Ю. Степанов¹, А.В. Алёшин¹

*Кафедра «Техносферная безопасность», ФГБОУ ВПО «ТГТУ» (1);
факультет почвоведения, ФГБОУ ВПО «Московский государственный
университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва (2);
mahp@tambov.ru*

Представлена членом редколлегии профессором Н.Ц. Гатаповой

Ключевые слова и фразы: дезинфекция; кавитация; многофакторное воздействие; органические удобрения; роторный импульсный аппарат; фитопатогенные грибы.

Аннотация: Показана возможность дезинфекции жидких органических удобрений на основе торфа методом многофакторной обработки в роторных импульсных аппаратах. В результате импульсной многофакторной, преимущественно кавитационной обработки, произошло уменьшение общей численности бактерий и грибных спор, снижение уровня присутствия жизнеспособных грибных колониеобразующих единиц.

В настоящее время перспективны безреагентные методы очистки жидкостей благодаря своей экологичности. Безреагентные методы очистки воды не загрязняют природную среду химическими веществами, не оказывают вредного или раздражающего воздействия на организм человека при контакте с очищенной водой. Одним из перспективных методов очистки воды является обработка воды в кавитационных реакторах [1–5].

При кавитационном воздействии на воду разрушаются коллоиды и частицы, внутри которых могут содержаться бактерии. Тем самым болезнетворные организмы лишаются защиты перед другими химическими и физическими воздействиями кавитации. Бактерицидное действие кавитации прямо пропорционально ее интенсивности, кратности или времени обработки. Воздействие кавитации на водные растворы сводится к расщеплению молекул воды в кавитационных пузырьках. Действие кавитации на воду приводит к изменению ее физико-химических свойств: увеличению рН, электропроводности воды, увеличению числа свободных ионов и активных радикалов, структуризации и активации молекул [6].

Воздействие кумулятивных струй жидкости, локальные пульсации давления и температуры при схлопывании кавитационных микропузырьков способны вызывать гибель бактерий, что может использоваться при обеззараживании жидких продуктов и растворов [1–5]. При интенсивном воздействии ударных волн в вод-

ных растворах было показано уменьшение численности в тысячи раз санитарно значимых представителей семейства *Enterobacteriaceae* – грамтрицательных бактерий *Echerichia coli* и *Salmonella* sp.

Одной из проблем при производстве жидких органических удобрений (ОУ) из торфа и сапропеля является присутствие в растворе готовой продукции живых клеток бактерий и спор грибов, свободноплавающих и иммобилизованных на остатках частиц исходного материала. Некоторые виды грибов могут проявлять фитопатогенные свойства. При длительном хранении ОУ такие микроорганизмы способны активно расти и размножаться. Их развитие и накопление продуктов жизнедеятельности могут приводить к снижению качества готовой продукции.

Обработку жидкого органического удобрения из торфа (ОУ) проводили на роторных импульсных аппаратах (РИА) РИА-200 и РИА-250 при импульсном многофакторном воздействии. Технологические комплексы на базе РИА разработаны и изготовлены в научно-исследовательской лаборатории «Энергосберегающие импульсные технологии и оборудование» ТамбГТУ.

Роторный импульсный аппарат оказывает на гетерогенную жидкость многофакторное воздействие:

- механическое воздействие на частицы гетерогенной среды, заключающееся в ударных, срезающих и истирающих нагрузках и контактах с рабочими частями РИА;

- гидродинамическое воздействие, выражающееся в гидродинамической кавитации, больших сдвиговых напряжениях в жидкости, развитой турбулентности, пульсациях давления и скорости потока жидкости;

- гидроакустическое воздействие на жидкость осуществляется за счет интенсивной импульсной кавитации, ударных волн и нелинейных акустических эффектов.

Жидкие ОУ обрабатывали в РИА-200 и в РИА-250 при пятикратном прохождении жидкости через аппарат, то есть при пяти циклах многофакторного воздействия. В РИА-200 гидродинамическое воздействие на жидкость было основным фактором (гидродинамическая кавитация), в РИА-250 – гидроакустическое воздействие (импульсная гидроакустическая кавитация).

Пробы для микробиологических анализов отбирали из исходных, необработанных органических удобрений и удобрений, обработанных в РИА. Влияние многофакторной обработки оценивали по изменению содержания клеток бактерий и спор грибов, и по изменению численности и состава жизнеспособных микроскопических грибов в образцах ОУ до и после обработки.

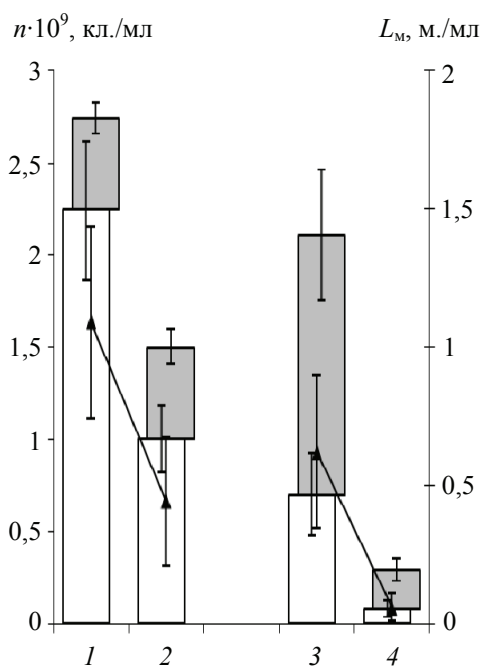


Рис. 1. Содержание клеток бактерий и актиномицетного мицелия в пробах ОУ по данным люминесцентной микроскопии: 1, 2 – до и после обработки в РИА-250 соответственно; 3, 4 – до и после обработки в РИА-200 соответственно; ■ – кокки; □ – палочки

Подсчет содержания бактериальных клеток, грибного мицелия и спор осуществляли прямым люминесцентным методом на микроскопе Carl Zeiss Axioskop 2 plus с использованием красителя акридин оранжевого из разведения 1:10. Образцы просматривали в трехкратной повторности препаратов по 30 полей зрения в каждом при 320-кратном увеличении для подсчета содержания грибных спор и мицелия, при 800-кратном увеличении для подсчета содержания бактериальных клеток и актиномицетного мицелия.

Присутствие жизнеспособных культивируемых микроскопических грибов в образцах ОУ до и после обработки проводили методом посева на две питательные среды: стандартно используемую для выделения микромицетов минеральную среду Чапека (Ч) с добавлением стрептомицина [7] и селективную для выделения фитопатогенных грибов среду – крахмало-глюкозный агар (КГА) с добавлением бенгальского розового [8]. Использовали разведение 1:10. Посевы проводили в двукратной повторности проб из каждой пробы и трехкратной повторности чашек Петри на каждую среду для каждой пробы. Посевы инкубировали при температуре 25 °С в течение 12–14 дней для остальных. Далее проводили учет посевов – оценивали общую численность грибных колониеобразующих единиц (КОЕ) на чашках Петри, видовой состав, частоту встречаемости (как отношение числа повторностей, где вид выделялся к общему числу повторностей для образца) и относительное обилие (долю в общей численности) выделенных видов грибов [7].

Отдельно был проведен эксперимент по оценке возможности обеззараживания ОУ с помощью кавитационной обработки от фитопатогенных грибов. Для этого образцы ОУ заражали споровой суспензией гриба *Fusarium solani* (Mart.) Sacc в конечной концентрации 10^2 КОЕ/мл: в 20 л ОУ вносили 3 мл суспензии

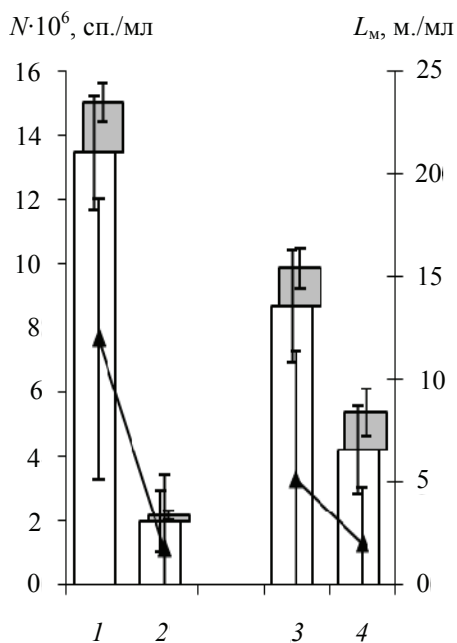


Рис. 2. Содержание спор и мицелия грибов в пробах ОУ по данным люминесцентной микроскопии: 1, 2 – до и после обработки в РИА-250 соответственно; 3, 4 – до и после обработки в РИА-200 соответственно; ■ – споры $d > 3$ мкм; □ – споры $d < 3$ мкм; ▲ – мицелий, м./мл

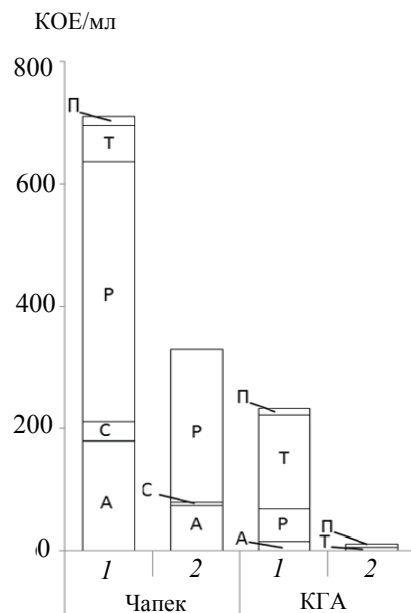


Рис. 3. Численность жизнеспособных КОЕ микроскопических грибов в пробах ОУ, выявленные методом посева на питательные среды Чапека и КГА: 1, 2 – до и после обработки в РИА-250 соответственно; А – *Aspergillus*; С – *Clonostachys*; Р – *Penicillium*; Т – *Trichoderma*; П – прочие

**Видовой состав и показатели
структуры сообществ культивируемых
микроскопических грибов
в исследованных образцах ОУ**

Вид	Образец	ОУ до обработки	ОУ после обработки на РИА-250
<i>Acremonium</i> sp.		13/1,4	–
<i>Aspergillus flavus</i>		50/18,3	13/1,6
<i>Aspergillus versicolor</i>		–	13/12,5
<i>Clonostachys rosea</i>		13/2,8	13/1
<i>Eupenicillium</i> sp.		–	25/7
<i>Penicillium aurantiogriseum</i>		50/22,5	38/25,3
<i>Penicillium griseofulvum</i>		38/6	–
<i>Penicillium janthinellum</i>		13/2,5	13/6,3
<i>Penicillium simplicissimum</i>		–	13/6,3
<i>Penicillium spinulosum</i>		25/15	25/2,6
<i>Trichoderma atroviride</i>		63/29,8	13/6,3
Стерильный темноокрашенный мицелий		13/1,8	13/6,3
Выделено видов		9	10

Примечание: в числителе – частота встречаемости вида; в знаменателе – относительное обилие вида, %.

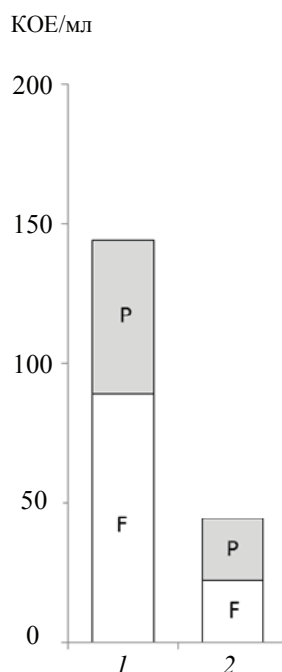


Рис. 4. Численность жизнеспособных КОЕ микроскопических грибов в образце ОУ, зараженном спорами фитопатогенного гриба *Fusarium solani* (усредненные данные посевов на питательные среды Чапека и КГА): 1, 2 – до и после обработки в РИА-200 соответственно; ■ – *Penicillium*; □ – *Fusarium*

в концентрации 10^6 КОЕ/мл. Жизнеспособность спор гриба в зараженных образцах ОУ до и после обработки на РИА-250 оценивали по способности к росту на питательных средах Чапека и КГА, учитывали численность выросших колоний гриба через 7–10 суток инкубации при температуре 25°C.

После пяти циклов обработки органических удобрений в роторных импульсных аппаратах РИА-250 и РИА-200 выявлено снижение численности бактерий в 2–10 раз, что показано методом прямой люминесцентной микроскопии (рис. 1). Импульсная многофакторная обработка приводила и к снижению численности грибных спор, особенно мелких размеров (диаметром < 3 мкм), но почти не влияла на численность более крупных спор и содержание грибного мицелия (рис. 2).

Результатом импульсной многофакторной обработки в РИА-250 явилось снижение в 2 раза численности способных к росту КОЕ – спор и фрагментов мицелия – культивируемых микроскопических грибов (рис. 3). Видовое разнообразие грибов после обработки сохранялось, существенного изменения таксономического состава содержащихся в образцах микромицетов не отмечено (таблица). В структуре выделенных из ОУ грибных комплексов – как до, так и после обработки – преобладали по частоте встречаемости и/или относительному обилию виды *Penicillium aurantiogriseum* и *Aspergillus flavus*, как типичные выделялись *Penicillium spinulosum*, *Penicillium janthinellum*, *Trichoderma atroviride*. В тоже время после импульсной многофакторной обработки установлено снижение уровня присутствия ряда видов, в том числе доминирующих. Например, показано су-

шественное сокращение частоты встречаемости и численности жизнеспособных (то есть способных к росту) КОЕ вида *Trichoderma atroviride* (см. рис. 3, таблица).

После кавитационной обработки образцов ОУ, содержащих споры фитопатогенного гриба *Fusarium solani*, было выявлено уменьшение уровня присутствия жизнеспособных спор этого гриба. Согласно результатам посева на питательные среды, численность жизнеспособных КОЕ *Fusarium solani* до обработки соответствовала внесенному уровню и снижалась после обработки зараженного образца в РИА-200 (рис. 4).

Таким образом, эффективность дезинфицирующего действия импульсной многофакторной обработки, преимущественно кавитационной, в РИА-200 и РИА-250 жидких органических удобрений была подтверждена сокращением общего содержания клеток бактерий, спор и мицелия грибов, а также уменьшением численности жизнеспособных, то есть способных к росту микроскопических грибов.

Список литературы

1. Промтов, М.А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов / М.А. Промтов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 861–869.
2. Arrojo, S. A Parametrical Study of Disinfection with Hydrodynamic Cavitation / S. Arrojo, Y. Benito, A. Martinez // Science Direct. Ultrasonics Sonochemistry. – 2007. – No. 15. – P. 903–908.
3. Milly, P.J. Inactivation of Food Spoilage Microorganisms by Hydrodynamic Cavitation to Achieve Pasteurization and Sterilization of Fluid Foods / P.J. Milly, R.T. Toledo, M.A. Harrison, D. Armstead // Journal of Food Science. – 2007. – Vol. 72, No. 9. – P. 414–422.
4. Effect of Hydrodynamic Cavitation on Zooplankton: a Tool for Disinfection / Subhash Shivram Sawant et al. // Biochem. Eng. J. – 2008. – No. 42(3). – P. 320–328.
5. Loraine, G. Disinfection of Gram – Negative and Gram – Positive Bacteria using DYNAJETS Hydrodynamic Cavitating Jets / G. Loraine, G. Chahine, C.-T. Hsiao, P. Aley // Ultrasonics and Sonochemistry. – 2012. – No. 19. – P. 710–717.
6. Промтов, М.А. Машины и аппараты с импульсными энергетическими воздействиями на обрабатываемые вещества : учеб. пособие / М.А. Промтов. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 136 с.
7. Методы почвенной микробиологии и биохимии : учеб. пособие / под ред. Д.Г. Звягинцева. – М. : Изд-во МГУ, 1991. – 304 с.
8. Семенов, С.М. Лабораторные среды для актиномицетов и грибов : справочник / С.М. Семенов. – М. : Агропромиздат, 1990. – 240 с.

Cavitation Disinfection of Liquid Organic Fertilizers

М.А. Promtov¹, А.Е. Ivanova², А.Ю. Stepanov¹, А.В. Aleshin¹

Department “Technosphere Safety”, TSTU (1); mahp@tambov.ru;

Department of Soil Science, Moscow State University named after M.V. Lomonosov (2)

Key words and phrases: cavitation; disinfection; multifactor effects; organic fertilizers; phytopathogenic fungi; rotary pulse device.

Abstract: The paper demonstrates the possibility of disinfection of liquid organic peat-based fertilizers by multifactor processing method for rotary pulse devices. Multifactor pulse, mainly cavitation treatment results in decrease in the total number of bacteria and the fungal spores as well as reduction in the presence of viable fungal colony-forming units.

Kavitationsdesinfektion der flüssigen organischen Dünger

Zusammenfassung: Es ist die Möglichkeit der Desinfektion der flüssigen organischen Dünger aufgrund des Torfes von der Methode der multifaktoriellen Bearbeitung in den Rotorimpulsapparate gezeigt. Infolge der impulsartigen, multifaktoriellen Kavitationsbearbeitung ist die Verkleinerung der allgemeinen Anzahl der Bakterien und der Pilzsporen, die Senkung des Niveaus der Anwesenheit der lebensfähigen kolonialbildenden Pilzeinheiten geschehen.

Décontamination de cavitation des engrais organiques liquides

Résumé: Est montrée la possibilité de la décontamination de cavitation des engrais organiques liquides à la base de la tourbe par la méthode du traitement multifacteur dans les appareils rotors d'impulsion. A l'issue du traitement multifacteur d'impulsion de préférence de cavitation a eu lieu la diminution de la quantité générale des microbes et des spores, la baisse du niveau de la présence des micro-organismes viables, capables de former des colonies.

Авторы: *Промтов Максим Александрович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность», декан факультета «Международного образования», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; *Иванова Анна Евгеньевна* – кандидат биологических наук, научный сотрудник факультета почвоведения, ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», г. Москва; *Степанов Андрей Юрьевич* – ассистент кафедры «Техносферная безопасность»; *Алёшин Андрей Владимирович* – магистрант кафедры «Техносферная безопасность», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Борщев Вячеслав Яковлевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».
