

БИОПРЕПАРАТЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОЧВЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ОРГАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Л.В. Брындина, О.В. Бакланова, Н.М. Ильина

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронежский государственный университет инженерных технологий

Проведены исследования комбинированных биопрепаратов в качестве биосорбентов, полученных на основе осадков сточных вод (ОСВ) и активных углей (АУ) из растительного сырья для очистки почв от загрязнений гербицидами. Содержание органического вещества в осадке 57,3 %. Органическое вещество осадка сточных вод активизирует ферментативную активность почвы. Активность каталазы в образцах, обработанных комбинированными сорбентами, выше в 2,5–2,9 раза, чем в контрольных образцах почвы. Совместное использование ОСВ и активных углей из растительных остатков значительно ускоряет процесс разложения гербицида. Присутствие ОСВ повышает эффективность детоксикации гербицида (действующее вещество метсульфурон-метил) активными углями в 1,7 раза.

Ключевые слова: гербициды, биосорбенты, осадок сточных вод, активные угли из растительного сырья

Biopreparats for Soil Cleaning from Pollution Based on Organic Waste

L.V. Bryndina, O.V. Baklanova, N.M. Il'ina

Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov, 394087 Voronezh, Russia, Voronezh State University of Engineering Technologies, 394036 Voronezh, Russia

Studies have been carried out to obtain combined biopreparats obtained on the basis of sewage sludge (WWS) and activated carbon (AC) from plant materials for cleaning soils from contaminants with herbicides. The content of organic matter in the settled sludge is 57.3 %. The organic matter of sewage sludge activates its enzymatic activity. Catalase activity in samples treated with combined sorbents, 2.5 to 2.9 times higher than in control soil samples. The combined use of WWS and activated carbons from plant residues significantly accelerates the decomposition of the herbicide. The presence of WWS increases the efficiency of detoxification of the herbicide (active substance metsulfuron-methyl) with active carbons by 1.7 times.

Key words: herbicides, biosorbents, sewage sludge, activated carbons from plant materials

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-10-20-23

На фоне роста экологических проблем гербициды по-прежнему занимают ведущее место среди препаратов, применяемых для уничтожения сорных растений. Гербициды последних поколений отличаются высокой избирательной способностью, действуют на уникальные ферментные системы растений. Этим объясняется их высокая эффективность и в то же время опасность для окружающей среды. Несмотря на действующие строгие правила рабо-

ты с гербицидами, проблема снижения отрицательного влияния остатков гербицидов в почве сохраняется. Гербициды негативно воздействуют на микробиологический состав почвы, ее ферментативную активность. Последняя служит индикатором биологических процессов, протекающих в почве.

Для снижения концентрации загрязняющих веществ в почве рекомендуется внесение высоких доз органических удобрений, торфа и других органических ма-

териалов с высокой степенью поглотительной способности, применение различных сорбентов (активированных углей, цеолитов и препаратов на их основе), использование химических соединений, являющихся катализаторами процессов разложения гербицидов [1].

Поиски новых сорбентов для этих целей позволили нам обратить внимание на осадки сточных вод (ОСВ). В мировой практике широкое распространение получила утилизация ОСВ в ка-

честве органического удобрения (содержание органического вещества в них может достигать до 80 %) [2]. В Российской Федерации подобное решение не нашло столь масштабного применения и по-прежнему остается на уровне лишь научных разработок. А между тем очистные сооружения городов продолжают складировать ОСВ под открытым небом, ухудшая комфорт городской среды, загрязняя атмосферу и гидросферу, обостряя экологическую ситуацию.

Кроме этого, в последнее время большое внимание уделяется разработкам по получению активных углей (АУ) из отходов сельскохозяйственных культур. Рост объемов производства зерна приводит к увеличению растительных отходов (соломы), которые, как правило, запахиваются в землю. Рациональная утилизация растительных отходов для получения активных углей — перспективное направление получения новых функциональных материалов со специфическими свойствами [3, 4].

Цель работы — получение комбинированных биосорбентов на основе ОСВ и АУ из растительного сырья для очистки почв от загрязнений.

Исследовали ОСВ, образующиеся после очистки стоков мясоперерабатывающих предприятий актиномицетом *Str. chromogenes* s.g. 0832. Основные физико-химические характеристики состава ОСВ, определенные по стандартным методикам, представлены в работе [5].

АУ из растительного сырья (пшеница, рожь, овес) были получены Н.Л. Воропаевой с соавторами [6]. Их характеристика представлена в табл. 1.

Почвенные модельные образцы предварительно были загрязнены гербицидом (действующее вещество метсульфурон-метил), доза которого в почвенных образцах составляла 10 г/га. В загрязненные почвы вносили ОСВ, активные угли и комбинированные биосорбенты на их основе в количестве 10 %.

Комбинированные биосорбенты получали следующим образом. К ОСВ добавляли 3 % АУ и интенсивно перемешивали в течение 30 мин с помощью мешалки. Затем полученные сор-

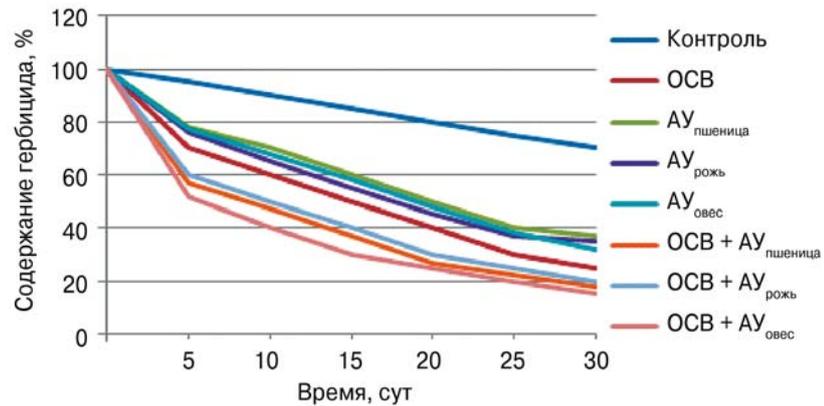


Рис. 1. Динамика деградации метсульфурон-метила

Fig. 1. The dynamics of the degradation of Metsulfuron methyl

бенты выдерживали без перемешивания 30 мин, после чего суспензию пропускали через сито с ячейками размером $0,5 \cdot 10^{-3}$ см для отделения жидкой фазы и сушили до конечной влажности 10 %.

Метсульфурон-метил определяли методом ВЭЖХ с использованием УФ детектора после его извлечения из образцов смесью ацетон—вода с последующей очисткой перераспределением между двумя несмешивающимися растворителями, на патронах, содержащих обращенную фазу С16, и на колонке с силикагелем.

Общую численность микроорганизмов определяли через 30 сут после высева образцов почвы на питательную среду (мясо-пептонный агар).

По истечении 30 сут оценивали массу тест-растения взвешиванием на электронных весах. Эффективность детоксикации почвы определяли по отношению массы тест-растения в опытных горшках к массе тест-растения в контроле (почва загрязнена гербицидом без введения ОСВ и АУ). В качестве тест-растения использовали подсолнечник.

Каталазную активность измеряли газометрическим методом

[7], заключающимся в определении количества кислорода, выделившегося при распаде пероксида водорода в единицу времени.

Определение каждой пробы проводили в 3-кратной повторности. Достоверность полученных экспериментальных данных проверяли с помощью пакета "Анализ данных" Microsoft Excel.

На поведение гербицидов в почве влияет целый комплекс факторов: адсорбция, разложение, миграция. Доминирующая роль в адсорбции гербицидов отводится органическому веществу почвы. Благодаря разнообразию его компонентного состава часть сорбированного почвой гербицида необратимо связывается и делает его недоступным для растений. Проведенный эксперимент показал, что полученные комбинированные биосорбенты значительно снижают содержание гербицида в почве (рис. 1). Обработка загрязненной почвы комбинированным сорбентом ОСВ+ АУ_{овес} уже на 5-е сутки снизило содержание гербицида до 50 %, а к 30-м суткам — в 6,7 раза от исходной концентрации. Такая же тенденция наблюдалась и при обработке комбинированными сорбентами с АУ_{пшеница} и АУ_{рожь} и составила к

Таблица 1. Характеристика активных углей из соломы сельскохозяйственных культур

Table 1. Characteristics of activated carbons from agricultural straw

Образец соломы	Суммарный объем пор, см ³ /г	Объем сорбционного пространства, см ³ /г	Насыпная плотность, г/дм ³
Пшеница	3,61	0,73	66,5
Рожь	3,42	0,62	70,0
Овес	3,97	0,44	72,5

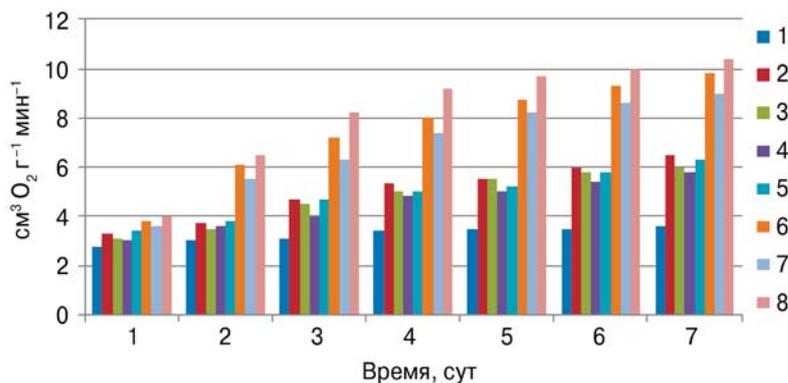


Рис. 2. Изменение каталазной активности: 1 – почва (контроль); 2 – почва + ОСВ; 3 – почва + АУ_{пшеница}; 4 – почва + АУ_{рожь}; 5 – почва + АУ_{овес}; 6 – почва + ОСВ + АУ_{пшеница}; 7 – почва + ОСВ + АУ_{рожь}; 8 – почва + ОСВ + АУ_{овес}

Fig. 2. Change in catalase activity: 1 – soil (control); 2 – soil + WWS; 3 – soil + AC_{wheat}; 4 – soil + AC_{rye}; 5 – soil + AC_{oat}; 6 – soil + WWS + AC_{wheat}; 7 – soil + WWS + AC_{rye}; 8 – soil + WWS + AC_{oat}

Таблица 2. Эффективность детоксикации почвы комбинированными биосорбентами

Table 2. The effectiveness of soil detoxification combined biosorbents

Сорбент	Зеленая масса тест-культуры, г	Эффективность детоксикации гербицида, %
Почва (контроль)	1,1	100,0
Почва + ОСВ	4,2	381,8
Почва + АУ _{пшеница}	3,8	345,5
Почва + АУ _{рожь}	3,6	327,3
Почва + АУ _{овес}	3,9	354,6
Почва + ОСВ + АУ _{пшеница}	6,3	572,7
Почва + ОСВ + АУ _{рожь}	6,0	545,5
Почва + ОСВ + АУ _{овес}	6,5	590,9

5-м суткам 68 и 47 % соответственно. Дegrадация гербицида в контрольном образце была намного ниже и к 30-м суткам эксперимента снизилась лишь на 30 %. Полученные результаты подтверждают данные зарубежных авторов [8].

Дegrадация гербицида объясняется тем, что ОСВ содержит органическое вещество, которое благоприятно влияет на биологические свойства почвы, активизирует её ферментативную активность. Синтез гумусовых веществ, а также интенсивность

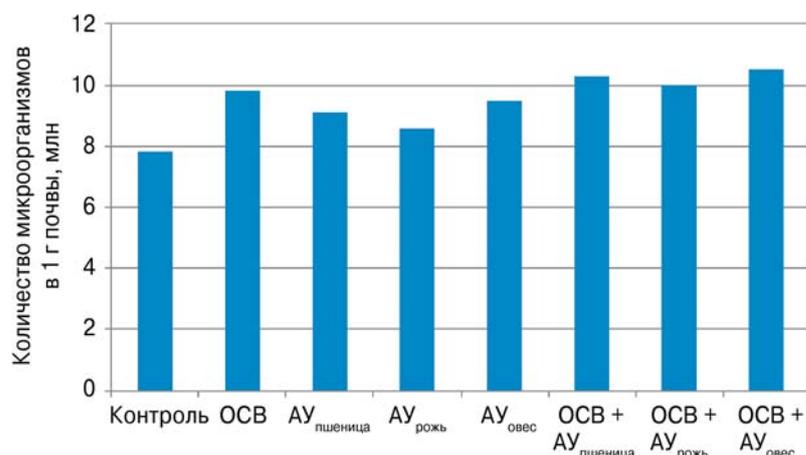


Рис. 3. Общее количество бактерий в почвах после обработки биосорбентами

Fig. 3. The total number of bacteria in the soil after treatment with biosorbents

биохимических процессов в клетках живых организмов зависят от скорости протекания в почве окислительно-восстановительных реакций, т.е. от активности оксидоредуктаз. Изменение ферментативной активности почвы позволяет установить способность биохимической трансформации ксенобиотиков с помощью ферментов. Эти природные катализаторы обладают высокой чувствительностью к специфичным компонентам загрязнителей. Отмечена прямая зависимость между интенсивностью "дыхания" почвы и активностью каталазы.

Результаты проведенных исследований показали, что активность каталазы при внесении ОСВ была выше во всех образцах почвы на протяжении всего эксперимента (рис. 2), что подтверждает положительное влияние ОСВ на почвенную микрофлору. Можно отметить, что решающее воздействие на активность фермента каталазы оказывает обогащение почвы органическим веществом. Уровень обогащенности почвы каталазой в образцах, обработанных комбинированными сорбентами, был выше в 2,5–2,9 раза в сравнении с контрольным образцом почвы. С внесением ОСВ в почву поступают дополнительно микроорганизмы, которые активно включаются в биохимический цикл почвенного сообщества. Благодаря этому происходит разложение вредных веществ и повышается процесс самоочищения.

Следует отметить, что по-прежнему остается открытым вопрос о влиянии гербицидов на почвенную микрофлору. Имеются противоречивые сведения о реакции микроорганизмов на гербициды. Ряд авторов [9] отмечает, что применяемые гербициды в оптимальных дозах не угнетают почвенную микрофлору. Другие — напротив, утверждают о замедлении роста микроорганизмов [10]. Поэтому нами были проведены исследования почвенной микрофлоры после ее восстановления биосорбентами. Результаты эксперимента представлены на рис. 3. Общее количество бактерий в почвенном образце с гербицидом было самым низким, что

подтверждает данные о снижении биологической активности почвы после обработки гербицидами. Наибольшее повышение уровня биологической активности отмечается в почвенных образцах, обработанных комбинированными биосорбентами. Количество бактерий увеличилось на 28–35 % в сравнении с контролем. Следует отметить, что во всех опытах обработка сорбентами сглаживала гербицидную нагрузку на микробиоту почвы.

Результаты полученных экспериментальных данных объясняют прирост зеленой массы подсолнечника на почвах с биосорбентами. Комбинация ОСВ с АУ из овса показала самую вы-

сокую эффективность детоксикации гербицида (табл. 2). В сравнении с контролем она была выше в 5,9 раза. Следует отметить, что на почвах, в которые вносились только ОСВ или АУ, зеленая масса тест-культуры была ниже на 40 %, чем при обработке почвы комбинированными сорбентами.

Совместное использование ОСВ и активных углей из растительных отходов значительно ускоряло процесс разложения гербицида, стимулировало жизнедеятельность почвенных микроорганизмов. Присутствие ОСВ усиливает биологическую трансформацию питательных веществ для растений, повышает эффективность детоксикации

гербицида АУ в 1,7 раза. Вместе с тем модификация с АУ из соломы овса по сравнению с модифицированными препаратами с АУ из соломы ржи и пшеницы способствовала более высокой скорости деградации метсульфурон-метила.

Проведенные исследования показали потенциальную возможность применения разработанных биопрепаратов в детоксикации почв от гербицидов. Установлена высокая скорость деградации загрязнителя в присутствии ОСВ, что обеспечивает возможность использования комбинированных биосорбентов в технологиях биоремедиации почв, загрязненных данным гербицидом.

Литература

1. Куликова Н.А., Лебедева Г.Ф. Гербициды и экологические аспекты их применения: учеб. пособие. М., Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2010. 152 с.
2. Julen Urrea, Itziar Alkorta, Anders Lanzén, Iker Mijangos, Carlos Garbisu. The application of fresh and composted horse and chicken manure affects soil quality, microbial composition and antibiotic resistance. *Applied Soil Ecology*. 2019.V. 135. P. 73–84. [Электронный ресурс] URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139318308205#> (дата обращения 27.06.10).
3. Javier Pallarés, Ana González-Cencerrado, Inmaculada Arauzo. Production and characterization of activated carbon from barley straw by physical activation with carbon dioxide and steam. *Biomass and Bioenergy*. 2018.V. 115. P. 64–73.
4. Jianzhong Cheng, Xinqing Lee, Weichang Gao, Yi Chen, ... Yuan Tang. Effect of biochar on the bioavailability of difenoconazole and microbial community composition in a pesticide-contaminated soil. *Applied Soil Ecology*. 2017. P. 185–192.
5. Брындина Л.В., Платонов А.Д., Бакланова О.В. Биодоброения на основе осадков сточных вод как катализаторы трансформационных процессов почвы. *Экология и промышленность России*. 2019. Т. 23. № 1. С.42–45.
6. Мухин В.М. и др. Получение активных углей из первичных отходов сельскохозяйственных культур и перспективы их применения. *Успехи в химии и химической технологии*. 2015. Т. XXIX. № 8. С. 96–98.
7. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М., Наука, 2005. 252 с.
8. Bengtsson G., Carlsson C. Degradation of dissolved and sorbed 2,4-dichlorophenol in soil columns by suspended and sorbed bacteria. *Biodegradation*. 2001. V. 12. № 6. P. 419–432.
9. Влияние гербицидов на микрофлору и микробиологические процессы в почве. [Электронный ресурс] URL: <http://www.activestudy.info/vliyanie-gerbicidov-na-mikrofloru-i-mikrobiologicheskie-processy-v-pochve/> (дата обращения 27.06.10).
10. Ушаков Р.Н. Активность почвенных микроорганизмов — показатель устойчивости земледелия. *Земледелие*. 2006. № 1. С. 14–15.

References

1. Kulikova N.A., Lebedeva G.F. Gerbitsidy i ekologicheskie aspekty ikh primeneniya: ucheb. posobie. M., Knizhnyi dom "LIBROKOM", 2010. 152 s.
2. Julen Urrea, Itziar Alkorta, Anders Lanzén, Iker Mijangos, Carlos Garbisu. The application of fresh and composted horse and chicken manure affects soil quality, microbial composition and antibiotic resistance. *Applied Soil Ecology*. 2019.V. 135. P. 73–84. [Электронный ресурс] URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139318308205#> (дата обращения 27.06.10).
3. Javier Pallarés, Ana González-Cencerrado, Inmaculada Arauzo. Production and characterization of activated carbon from barley straw by physical activation with carbon dioxide and steam. *Biomass and Bioenergy*. 2018.V. 115. P. 64–73.
4. Jianzhong Cheng, Xinqing Lee, Weichang Gao, Yi Chen, ... Yuan Tang. Effect of biochar on the bioavailability of difenoconazole and microbial community composition in a pesticide-contaminated soil. *Applied Soil Ecology*. 2017. P. 185–192.
5. Bryndina L.V., Platonov A.D., Baklanova O.V. Bioudobreniya na osnove osadkov stochnykh vod kak katalizatory transformatsionnykh protsessov pochvy. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2019. T. 23. № 1. S.42–45.
6. Mukhin V.M. i dr. Poluchenie aktivnykh uglei iz pervichnykh otkhodov sel'skokhozyaistvennykh kul'tur i perspektivy ikh primeneniya. *Uspekhi v khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2015. T. XXIX. № 8. S. 96–98.
7. Khaziev F.Kh. Metody pochvennoi enzimologii. M., Nauka, 2005. 252 s.
8. Bengtsson G., Carlsson C. Degradation of dissolved and sorbed 2,4-dichlorophenol in soil columns by suspended and sorbed bacteria. *Biodegradation*. 2001. V. 12. № 6. P. 419–432.
9. Vliyanie gerbitsidov na mikrofloru i mikrobiologicheskie protsessy v pochve. [Elektronnyi resurs] URL: <http://www.activestudy.info/vliyanie-gerbicidov-na-mikrofloru-i-mikrobiologicheskie-processy-v-pochve/> (data obrashcheniya 27.06.10).
10. Ushakov R.N. Aktivnost' pochvennykh mikroorganizmov — pokazatel' ustoichivosti zemledeliya. *Zemledelie*. 2006. № 1. S. 14–15.

Л.В. Брындина – д-р с.-х. наук, доцент, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 394087 Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева 8, e-mail: bryndinv@mail.ru • О.В. Бакланова – аспирант • Н.М. Ильина – канд. техн. наук, Воронежский государственный университет инженерных технологий, 394036 Россия, г. Воронеж, проспект Революции 19

L.V. Bryndina – Dr. of Sciences of Agriculture, Associate Professor, Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov, 394087 Russia, Voronezh, Timiryazev Str. 8, e-mail: bryndinv@mail.ru • O.V. Baklanova – Post-graduate Student • N.M. Il'ina – Cand. Sci. (Eng.), Voronezh State University of Engineering Technologies, 394036 Russia, Voronezh, Revolution Ave. 19