

УДК 631

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ КАДМИЕМ НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО

© Е. И. Новоселова*, С. А. Башкатов

Башкирский государственный университет
Россия, Республика Башкортостан, 450076 г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32.

*Email: novoselova58@mail.ru

В работе приведены экспериментальные данные по влиянию различных концентраций кадмия на активность почвенных окислительно-восстановительных ферментов. Изучалось влияние кадмия в концентрациях 5, 10, 20, 40 мг/кг почвы на активность окислительно-восстановительных ферментов чернозема обыкновенного: каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы. Образцы анализировались через 3, 90, 180, 360 суток с начала опыта. Было установлено, что кадмий проявляет избирательное действие на изученные ферменты, т. е. при одной и той же концентрации он ингибирует активность одних ферментов и стимулирует активность других. С ростом концентрации кадмия активность каталазы, полифенолоксидазы – понижалась, пероксидазы – повышалась. Была показана высокая чувствительность изученных ферментов к низким концентрациям кадмия.

Ключевые слова: тяжелые металлы, загрязнение, кадмий, почвенные ферменты, каталаза, пероксидаза, полифенолоксидаза.

Кадмий относится к категории тяжелых металлов. Он поступает в почву в составе отходов, образующихся при добыче и переработке цинковых, свинцово-цинковых, медно-цинковых руд, с выхлопными газами автомобилей, в составе отходов, образующихся при переработке отработанных аккумуляторных батарей [1–3].

Кадмий накапливается в почве, аккумулируется в растениях [4, 5], передается по пищевым цепям и негативно влияет на здоровье человека и животных [6, 7]. Он ухудшает биологические свойства почв [8–10], меняет направленность биохимических процессов в почве, влияя на активность почвенных ферментов, играющих важнейшую роль в трансформации органического вещества и создании почвенного плодородия. Данный аспект проблемы изучен недостаточно.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились на черноземе обыкновенном среднесуглинистом (рН = 6.9; гумус общий 8.9%). Для проведения лабораторных опытов почва отбиралась из верхнего горизонта Апах. с глубины 0–20 см. Ее предварительно высушили, очистили от механических примесей, измельчили в фарфоровой ступке, просеяли через сито (3 мм), увлажнили до 60% от полной влагоемкости. В почву вносили кадмий из расчета 5, 10, 20, 40 мг/кг почвы в виде соли $Cd(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$, растворенной в воде. Соль уксусной кислоты для моделирования загрязнения почвы была выбрана в связи с ее хорошей растворимостью, способностью к быстрому и полному взаимодействию с почвенной массой. Образцы анализировались через 3, 90, 180, 360 суток с начала опыта.

Определение активности окислительно-восстановительных ферментов проводили по методам, описанным Ф. Х. Хазиевым [11]: активность

каталазы по А. Ш. Галстяну (1965); пероксидазы и полифенолоксидазы по Л. А. Карягиной, Н. А. Михайловской (1986).

Результаты и обсуждение

В почвенной биодинамике наибольшее значение имеют оксидоредуктазы и гидролазы. Из оксидоредуктаз наиболее распространенными являются каталаза, дегидрогеназы, полифенолоксидаза, пероксидаза [11]. Они играют важную роль в создании почвенного плодородия участвуя в окислительно-восстановительных процессах синтеза гумусовых компонентов.

Определение активности каталазы в образцах чернозема обыкновенного среднесуглинистого, загрязненных различными концентрациями кадмия, выявило снижение активности каталазы в течение всего периода наблюдения (рис. 1). Кадмий ингибировал активность каталазы уже при концентрации 5 мг/кг почвы, что свидетельствует о ее высокой чувствительности к загрязнению почв этим металлом. С ростом концентрации кадмия, активность каталазы снижалась.

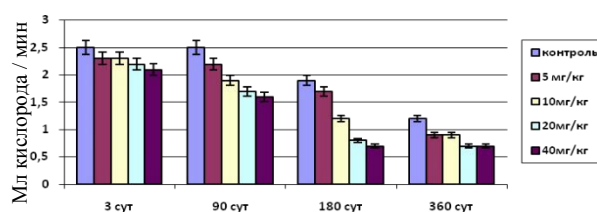


Рис. 1. Активность каталазы в черноземе обыкновенном, загрязненном различными концентрациями кадмия.

Ингибирование активности каталазы тяжелыми металлами (Fe, Cu, Zn, Mn, Pb) также было показано в исследованиях Н. Ф. Павлюковой и В. Н. Гришко [12], Е. И. Новоселовой и др. [10, 13]. Наблю-

даемое нами снижение активности, вероятно, связано с тем, что кадмий в почве находился в подвижном состоянии, так как вносился в нее в виде водного раствора соли. Как известно, уровень токсичности металлов прямо пропорционален уровню подвижности [14]. Подвижность кадмия может активизировать процесс вытеснения им двухвалентного железа из активного центра фермента. Тяжелые металлы обладают таким эффектом [15]. Другой причиной снижения активности каталазы может явиться то, что под действием тяжелых металлов происходят нарушения в структуре комплекса почвенных микроорганизмов, что находит отражение в изменении уровня ферментативной активности почвы [16, 17], в частности, в снижении активности каталазы. Как известно активность окислительно-восстановительных ферментов находится в корреляционной зависимости с микробиологическими процессами в почве [18]. Тяжелые металлы могут менять сродство фермента к субстрату, и переводить его из сорбированного на гранулах почвы в водорастворимое состояние, что сказывается на скорости реакции [19].

Ингибирование активности каталазы – это неблагоприятный процесс для почв, так как нарушается разложение перекиси водорода образующейся при биологическом окислении, окисление низкомолекулярных спиртов и нитритов [18].

Тяжелые металлы могут проявлять избирательное действие на ферменты, т. е. при одной и той же концентрации они ингибировали активность одних ферментов и не меняли активность других ферментов или снижали активность различных энзимов в неодинаковой степени [20].

В отличие от каталазы нами было установлено достоверное повышение активности пероксидазы через 3 и 90 суток при концентрации кадмия в почве 20 и 40 мг/кг почвы, на 180 и 360 суток уже при низкой концентрации 5 мг/кг почвы по сравнению с активностью фермента в образце почвы не подвергнутому загрязнению (рис. 2). Повышение активности пероксидазы наблюдалось также с ростом концентрации свинца в почве [13].

Можно предположить, что ингибирование активности каталазы ведущее к нарушению процессов разложения перекиси водорода в почве, могло стимулировать повышение активности пероксидазы вследствие того, что перекись водорода является не только субстратом для каталазы, но и одним из компонентов реакции для пероксидазы.

Повышение активности пероксидазы интенсифицировало окисление органических веществ в загрязненной кадмием почве.

Не выявлено достоверных изменений в активности полифенолоксидазы через трое суток после поступления кадмия в почву относительно контроля при всех используемых в эксперименте концентрациях. Отмечалась лишь тенденция к повышению ее активности (рис. 3). В последующие сроки наблюдения активность полифенолоксидазы сни-

жалась: на 90 сутки достоверно при концентрации кадмия 40 мг/кг почвы, на 180 и 360 сутки при концентрации кадмия 20 и 40 мг/кг почвы. Полифенолоксидаза относится к медьсодержащим ферментам, поэтому одним из механизмов снижения ее активности может быть процесс вытеснения кадмием меди из активного центра фермента. Снижение активности полифенолоксидазы ведет к нарушению процесса превращений органических соединений ароматического ряда в компоненты гумуса, что может приводить к снижению плодородия почв, подвергшихся загрязнению кадмием.

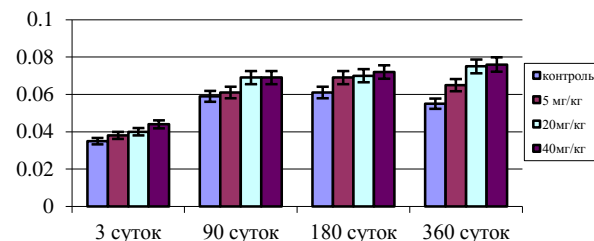


Рис. 2. Активность пероксидазы (1,4 п-бензохинона / 1г почвы за 30 мин.) в черноземе обыкновенном, загрязненном различными концентрациями кадмия.

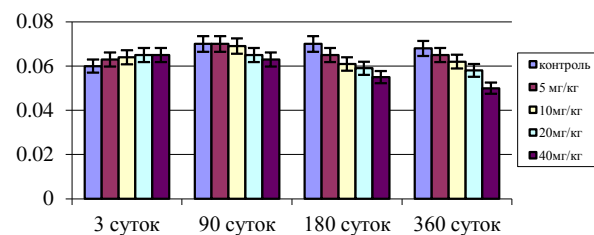


Рис. 3. Активность полифенолоксидазы (1,4 п-бензохинона / 1г почвы за 30 мин.) в черноземе обыкновенном, загрязненном различными концентрациями кадмия.

Выводы

Внесение в почву кадмия меняло направленность протекания в ней биохимических процессов. С ростом концентрации кадмия затормаживались процессы разложения перекиси водорода, превращения соединений ароматического ряда в компоненты гумуса, интенсифицировались процессы окисления органических веществ почв вследствие снижения активности каталазы, полифенолоксидазы и повышения активности пероксидазы. В этом проявилось избирательное действие кадмия на изученные ферменты, т. е. при одной и той же концентрации он ингибировал активность одних ферментов и стимулировал активность других. Изученные окислительно-восстановительные ферменты показали высокую чувствительность к низким концентрациям кадмия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Понизовский А. А., Студеникина Т. А. Поглощение ионов меди (II) почвой и влияние на него органических компонентов почвенных растворов // Почвоведение. 1997. №7. С. 850–859.

2. Бутовский М. Э. Загрязнение урбанизированной территории тяжелыми металлами // *Экология и промышленность России*. 2011. №12. С. 55–56.
3. Чимитдоржиева Г. Д., Нимбуева А. З., Бодеева Е. А. Тяжелые металлы (медь, свинец, никель, кадмий) в органической части серых лесных почв Бурятии // *Почвоведение* 2012. №2. С. 166.
4. Джугарян О. А. Фитоиндикация и биомониторинг загрязнения промышленных территорий Армении // Тез. IX междунар. Симпоз. по биоиндикаторам «Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга», 17–21 сентября 2001 г., Сыктывкар, Республика Коми, Россия. 2001. С. 51.
5. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение // *Почвоведение*. 2007. №9. С. 1112–1119.
6. Вермель А. Е. Раннее выявление профессиональных болезней. Женева, 1988. 297 с.
7. Клинская Е. О. Содержание свинца, цинка, никеля и кадмия в почвах города Биробиджана и оценка их влияния на здоровье населения // *Землепользование*. 2010. Т. 2. №1(4). С. 1027–1031.
8. Галиулин Р. В., Галиулина Р. А. Ферментативная индикация загрязнения почв тяжелыми металлами // *Агрохимия*. 2006. №11. С. 84–96.
9. Пляскина О. В., Ладонин Д. В. Загрязнение городских почв тяжелыми металлами // *Почвоведение*. 2009. №7. С. 877–875.
10. Новоселова Е. И., Турьянова Р. Р., Рахматуллина А. А., Шарифуллина Л. Н. Ферментативная активность как показатель загрязнения почв тяжелыми металлами // Матер. 6 Всерос. Научно-практ. конф. с междунар. участием «Экологические проблемы промышленных городов». Саратов, 2013. Ч. 1. С. 249–252.
11. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
12. Павлюкова Н. Ф., Гришко В. Н. Содержание в почвах тяжелых металлов и изменение активности окислительно-восстановительных ферментов // Матер. Междунар. научно-практ. Конф. посвящ. 70-летию образования кафедры почвоведения Иркутского гос. Ун-та «Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем». 8–12 октября 2001г. Иркутск, 2001. С. 140–141.
13. Новоселова Е. И., Турьянова Р. Р., Гандалипова Э. И. Влияние загрязнения свинцом на ферментативную активность чернозема обыкновенного // *Современный научный вестник*. Серия: Биологические науки. Медицина. Ветеринария. №31 (227). 2014. С. 19–24.
14. Кузьмина И. В., Гладкова Е. Д., Зинченко Н. А. Влияние автотранспорта на окружающую среду // *Экология и промышленность России*. 2011. №7. С. 42–44.
15. Николаев Л. А. Металлы в живых организмах. М.: Просвещение. 1986. 127 с.
16. Матвеев Н. М., Павловский В. А., Прохорова Н. В. Экологические основы аккумуляции тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Самарский ун-т. 1997. 230 с.
17. Серегин И. В., Кожевникова А. Д. Роль тканей корня и побега в транспорте и накоплении кадмия, свинца, никеля и стронция // *Физиология растений*. 2008. Т. 55. С. 3–26.
18. Минеев В. Г., Егоров В. С. Баланс меди, цинка и марганца в дерново-подзолистых почвах с разными уровнями содержания подвижного фосфора // *Агрохимия*. 1997. №8. С. 5–9.
19. Кочетков И. А., Лазарева И. О. Влияние некоторых загрязнителей на показатели биологической активности почвы // *Междунар. Межведомствен. Сб. науч. Тр. «Вопросы экологии и охраны природы в лесостепной и лесной зонах»*. Самара, 1999. С. 160–165.
20. Мироненко Е. В., Понизовский А. А. Математическая модель для описания химических равновесий в почвах с участием тяжелых металлов, низкомолекулярных органических и фульвокислот // Тез. докл. Тяжелые металлы в окружающей среде. Пушино 15–18 октября 1996г. Пушино: ОНТИ НЦБИ, 1996. С. 153–154.

Поступила в редакцию 11.11.2014 г.

THE EFFECT OF CADMIUM POLLUTION ON THE ENZYMATIC ACTIVITY OF ORDINARY CHERNOZEM SOIL

© E. I. Novoselova*, S. A. Bashkatov

*Bashkir State University
32 Zaki Validi St., 450076 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.*

Phone: +7 (347) 229 96 71.

**Email: novoselova58@mail.ru*

Cadmium belongs to the heavy metals category. Entering the soil, this metal accumulates in it and affects its biological properties. Under the action of cadmium changing the orientation of the biochemical processes in the soil due to changes in the activity of soil enzymes, playing a major role in transformation of organic matter and the creation of soil fertility. Therefore, the aim of our research was to study the effect of different concentrations of cadmium on the activity of soil redox enzymes. We have investigated in the laboratory the effects of cadmium at concentrations of 5, 10, 20, 40 mg/kg on the activity of redox enzymes of ordinary Chernozem soil: catalase, peroxidase, polyphenoloxidase by the methods described F. X Hasievim (2005). The Samples were analyzed after 3, 90, 180, 360 days from the start of the experiment. It was found that cadmium exerts a selective effect on the studied enzymes, i.e., when the same concentration it inhibits the activity of some enzymes and stimulates the activity of the other. With increasing concentration of cadmium catalase activity, polyphenoloxidase decreased, peroxidase was increased. The high sensitivity of the studied enzymes to low concentrations of cadmium was shown.

Keywords: *heavy metals, pollution, cadmium, soil enzymes, catalase, peroxidase, polyphenoloxidase.*

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at bulletin_bsu@mail.ru if you need translation of the article.

REFERENCES

1. Ponizovskii A. A., Studenikina T. A. *Pochvovedenie*. 1997. No. 7. Pp. 850–859.
2. Butovskii M. E. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2011. No. 12. Pp. 55–56.
3. Chimitdorzhieva G. D., Nimbueva A. Z., Bodeeva E. A. *Pochvovedenie* 2012. No. 2. Pp. 166.
4. Dzhugaryan O. A. Tez. IX mezhdun. Simpoz. po bioindikatoram «Sovremennyye problemy bioindikatsii i biomonitoringa», 17–21 sentyabrya 2001 g., Syktyvkar, Respublika Komi, Rossiya. 2001. Pp. 51.
5. Il'in V. B. *Pochvovedenie*. 2007. No. 9. Pp. 1112–1119.
6. Vermel' A. E. Rannee vyavlenie professional'nykh boleznei [Early Detection of Occupational Diseases]. Zheneva, 1988.
7. Klinskaya E. O. *Zemlepol'zovanie*. 2010. Vol. 2. No. 1(4). Pp. 1027–1031.
8. Galiulin R. V., Galiulina R. A. *Agrokimiya*. 2006. No. 11. Pp. 84–96.
9. Plyaskina O. V., Ladonin D. V. *Pochvovedenie*. 2009. No. 7. Pp. 877–875.
10. Novoselova E. I., Tur'yanova R. R., Rakhmatullina A. A., Sharifullina L. N. *Mater. 6 Vseros. Nauno-prakt. konf. s mezhd. uchatiem «Ekologicheskie problemy promyshlennykh gorodov»*. Saratov, 2013. Ch. 1. Pp. 249–252.
11. Khaziev F. Kh. *Metody pochvennoi enzimologii* [Methods of Soil Enzymology]. Moscow: Nauka, 2005.
12. Pavlyukova N. F., Grishko V. N. *Mater. Mezhdunar. nauchno-praktich. Konf. posvyashch. 70-letiyu obrazovaniya kafedry pochvovedeniya Irkut-skogo gos. Un-ta «Pochva kak svyazuyushchee zveno funktsionirovaniya prirodnykh i antropogenno-preobrazovannykh ekosistem»*. 8–12 oktyabrya 2001g. Irkut-sk, 2001. Pp. 140–141.
13. Novoselova E. I., Tur'yanova R. R., Gandalipova E. I. *Sovremennyyi nauchnyi vestnik. Seriya: Biologicheskie nauki. Meditsina. Veterinariya*. No. 31 (227). 2014. Pp. 19–24.
14. Kuz'mina I. V., Gladkova E. D., Zinchenko N. A. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2011. No. 7. Pp. 42–44.
15. Nikolaev L. A. *Metally v zhivykh organizmakh* [Metals in Living Organisms]. Moscow: Prosveshchenie. 1986.
16. Matveev N. M., Pavlovskii V. A., Prokhorova N. V. *Ekologicheskie osnovy akumul'yatsii tyazhelykh metallov sel'skokhozyaistvennykh rasteniyami v lesostepnom i stepnom Povolzh'e* [Ecological Bases of Accumulation of Heavy Metals in Agricultural Plants in the Forest-steppe and Steppe Volga Region]. Samara: Samarskii un-t. 1997.
17. Seregin I. V., Kozhevnikova A. D. *Fiziologiya rastenii*. 2008. Vol. 55. Pp. 3–26.
18. Mineev V. G., Egorov V. S. *Agrokimiya*. 1997. No. 8. Pp. 5–9.
19. Kochetkov I. A., Lazareva I. O. *Mezhdunar. Mezhdunar. Sb. nauch. Tr. «Voprosy ekologii i okhrany prirody v lesostepnoi i lesnoi zonakh»*. Samara, 1999. Pp. 160–165.
20. Mironenko E. V., Ponizovskii A. A. Tez. dokl. Tyazhelye metally v okruzhayushchei srede. Pushchino 15–18 oktyabrya 1996g. Pushchino: ONTINTsBI, 1996. Pp. 153–154.

Received 11.11.2014.