

## БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ЗАЩИТЫ ПРИ НАКОПЛЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНИЗМАХ

ФГБОУ ВО «Тюменский государственный университет», 625003, Тюмень

*В настоящее время, в связи с загрязнением окружающей среды тяжелыми металлами, представляет большой интерес изучение процесса их накопления в растениях и их токсического действия на биохимические показатели. Поэтому целью работы был анализ изменений системы антиоксидантной защиты растений в условиях загрязнения почвы медью и цинком. Объектом исследования стали проростки овса посевного по 300 растений в каждом варианте опыта. Для проведения эксперимента песок равномерно загрязнялся сульфатами Cu и Zn в количестве 2 ПДК по их валовому содержанию в почве. Эксперимент продолжался 2 недели. Для реализации цели работы было проанализировано содержание Cu и Zn в растениях при загрязнении почвы тяжелыми металлами. Кроме того, проводился анализ содержания продуктов перекисного окисления липидов и активности пероксидазы, каталазы, содержания фенолов и флавоноидов, а также активности фотосинтетической системы клетки. Было установлено, что при загрязнении почвы медью и цинком в концентрации, соответствующей 2 ПДК, идет накопление металлов в растениях. Аккумуляция меди растениями была выше по сравнению с цинком, что может быть связано с большей миграционной способностью цинка. При комбинированном действии двух металлов выявлено их антагонистическое взаимодействие. Установлено повышение содержания продуктов перекисного окисления липидов в клетках, как следствие накопления тяжелых металлов растениями. В результате повышения содержания продуктов перекисного окисления липидов, было выявлено увеличение активности работы фотосинтетического аппарата и антиоксидантных систем (каротиноидов, каталазы, пероксидазы) в клетке. Снижение содержания фенолов и флавоноидов связано с использованием этих систем антиоксидантной защиты для нейтрализации процессов перекисного окисления липидов.*

**Ключевые слова:** овес посевной; тяжелые металлы; загрязнение почвы; антиоксиданты.

**Для цитирования:** Петухов А.С., Петухова Г.А. Биохимические механизмы защиты при накоплении тяжелых металлов в организмах. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(2): 114-117. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-2-114-117>

Petukhov A.S., Petukhova G.A.

### BIOCHEMICAL PROTECTIVE MECHANISMS IN THE ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN ORGANISMS

Tyumen State University, 625003, Tyumen, Russian Federation

*At present due to the environmental contamination by heavy metals there is a great interest to investigate the processes of their both accumulation in plants and toxic effect on biochemical indices. Therefore the objective of this research was the analysis of the alteration of the system of antioxidant protection of plants in conditions of soil contamination by copper and zinc. Research object were germinants of oat in amount of 300 plants in each variant of the experiment. For the performance of the experiment, the sand was equally contaminated by sulfates of Cu and Zn in concentration of 2 MPC on its gross content in soil. The experiment lasted for 2 weeks. For the implementation of the objective of research there was analyzed the content of both Cu and Zn in plants exposed to soil contamination. Additionally there was performed an analysis of as the content of lipids peroxidation products, phenols and flavonoids; as well the activity of peroxidase, catalase and photosynthetic system. Under the soil contamination by copper and zinc corresponding to 2 MPC the accumulation of heavy metals was established to be happening in plants. If compared copper accumulation was higher than zinc accumulation that can be explained by the high migration capability of zinc. Under combined impact of two metals there was revealed their antagonistic interaction. There was established an elevated content of lipids peroxidation products in cells as a sequence of the accumulation of heavy metals in plants. As a result of the elevation of the content of lipids peroxidation products there was revealed a raised activity of photosynthetic apparatus and antioxidant system (carotenoids, catalase and peroxidase) in the cell. The decrease of the content of phenols and flavonoids is related with the usage of this system of antioxidant protection for the neutralization of lipids peroxidation processes.*

**Keywords:** oat (*Avena Sativa*); heavy metals; soil contamination; antioxidants.

**For citation:** Petukhov A.S., Petukhova G.A. Biochemical protective mechanisms in the accumulation of heavy metals in organisms. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2017; 96(2): 114-117. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-2-114-117>

**For correspondence:** Galina A. Petukhova, MD, PhD, DSci., professor of the Department of ecology and genetics of the Tyumen state university, 625003, Tyumen, Russian Federation. E-mail: [gpetuhova1@mail.ru](mailto:gpetuhova1@mail.ru)

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgement.** The study had no sponsorship.

Received: 14 January 2016

Accepted: 13 May 2016

### Введение

Высокий уровень развития промышленного производства приводит к поступлению в окружающую среду тяжелых металлов (ТМ), которые накапливаются в почвах, поступают в растения и мигрируют по пищевым цепям к человеку [1]. Токсическое

действие ТМ проявляется в снижении жизнедеятельности, что связано с уровнем функционирования клеток и скоростью протекания в них биохимических процессов. Под действием ТМ увеличивается содержание продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) и активизируется работа защитных систем в клетках. О влиянии ТМ на биохимический статус культурных и дикорастущих растений известно из ряда работ [2, 3, 4]. Однако работа систем биохимической защиты имеет свою специфику, и ответные реакции зависят как от концентрации токсиканта, так и от типа действующего агента [5]. При комплексном загрязнении невозможно вычлнить ответную реакцию организма на отдель-

**Для корреспонденции:** Петухова Галина Александровна, д-р биол. наук, проф. каф. экологии и генетики Тюменского государственного университета, 625003, Тюмень. E-mail: [gpetuhova1@mail.ru](mailto:gpetuhova1@mail.ru)

Таблица 1

## Содержание Cu и Zn в овсе посевном после проращивания загрязненным песке

Вариант эксперимента	Содержание Cu, мг/кг		Содержание Zn, мг/кг	
	подземная часть	надземная часть	подземная часть	надземная часть
К	2,58	2,46	18,94	31,12
O1 (Cu)	20,88	9,16	14,28	13,60
O2 (Zn)	2,34	3,68	57,36	65,77
O3 (Cu + Zn)	25,83	7,48	64,33	45,84

ный химический реагент. В связи с этим представляло интерес изучить ответные биохимические реакции растений на такие распространенные загрязнители, как медь и цинк.

Целью работы был анализ изменения системы антиоксидантной защиты растений в условиях загрязнения почвы медью и цинком. Для реализации этой цели было проанализировано содержание Cu и Zn в растениях при загрязнении почвы ТМ. Кроме того, проводился анализ содержания продуктов ПОЛ и активности пероксидазы, каталазы, содержания фенолов и флавоноидов, а также активности фотосинтетической системы клетки.

## Материал и методы

Объектом исследования стали проростки овса посевного, как стандартный объект в биотестировании. Эксперимент проводили в 10 повторностях, по 30 экземпляров в каждой повторности; 300 растений в каждом варианте опыта. Для проведения эксперимента песок, широко применяемый в рекультивации загрязненных земель, равномерно загрязнялся солями тяжелых металлов в количестве 2 ПДК по их валовому содержанию в почве [6]. Было поставлено 4 варианта опыта:

- 1) Контроль – семена овса были посажены в почву без внесения тяжелых металлов;
- 2) O1 (Cu) – овес находился в почве, загрязненной  $\text{CuSO}_4$  в концентрации, соответствующей 2 ПДК (110 мг/кг);
- 3) O2 (Zn) – овес находился в почве, загрязненной  $\text{ZnSO}_4$  в концентрации, соответствующей 2 ПДК (200 мг/кг);
- 4) O3 (Cu + Zn) – овес находился в почве, загрязненной  $\text{CuSO}_4$  (110 мг/кг) и  $\text{ZnSO}_4$  (200 мг/кг).

Эксперимент продолжался 2 недели. После проращивания овса было определено содержание Cu и Zn в растениях методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии [7]. Кроме того, определялось содержание в растениях пигментов фотосинтеза и каротиноидов спектрофотометрическим методом в спиртовых экстрактах, продуктов ПОЛ спектрофотометрическим методом в гептановом экстракте [8, 9]. Содержание фенолов оценивали титрованием водного экстракта перманганатом калия, а флавоноидов – методом цветной реакции с хлоридом алюминия [10, 11]. Активность пероксидазы изучали методом спектрофотометрического определения продуктов окисления гваякола, а каталазы – колориметрическим методом по стандартным методикам [12, 13]. Была проведена стандартная статистическая обработка с расчетом среднего значения ( $M$ ), ошибки среднего значения ( $m$ ) и достоверности различий по  $t$ -критерию Стьюдента [14], а также выполнен анализ корреляционных связей с использованием программы Statistica 10.

## Результаты

Модельное загрязнение песка Cu и Zn в количестве 2 ПДК приводило к накоплению тяжелых металлов в тканях овса посевного (табл. 1): суммарное содержание Cu в растениях в варианте O1 было повышено в 6 раз относительно контроля, а суммарное содержание Zn в варианте O2 – в 2,5 раза. Стоит отметить, что по абсолютным значениям цинк содержится в овсе в больших количествах, но относительно контроля меди при загрязнении почвы аккумулируется больше. В варианте комбинированного воздействия двух металлов (O3) содержание Cu и Zn в надземной части овса было

## Содержание продуктов ПОЛ и пигментов фотосинтеза в клетках овса в условиях загрязнения песка Cu и Zn

Вариант эксперимента	Содержание диеновых конъюгатов усл. ед./мг липидов	Содержание основания Шиффа, усл. ед./мг липидов	Содержание хлорофиллов А и В, мг/100 г	Содержание каротиноидов, мг/100 г
К	5,32 ± 0,24	0,54 ± 0,02	12,18 ± 0,44	8,32 ± 0,59
O1 (Cu)	6,27 ± 0,21*	1,30 ± 0,37*	20,30 ± 0,17*	12,50 ± 0,17*
O2 (Zn)	6,55 ± 0,06*	1,52 ± 0,34*	16,63 ± 0,45*	12,51 ± 0,17*
O3 (Cu + Zn)	6,26 ± 0,19*	1,20 ± 0,13*	19,01 ± 1,58*	12,81 ± 0,05*

Примечание. \* – статистически достоверные различия между контролем и вариантом опыта (при  $p \leq 0,05$ ).

снижено относительно моновариантов на 22% и 43% соответственно. В подземной части овса антагонизма по содержанию меди и цинка не наблюдается.

Транслокация тяжелых металлов из почвы в растения приводит к изменению биохимических показателей жизнедеятельности клеток. Увеличение содержания оснований Шиффа и диеновых конъюгатов по сравнению с контролем наблюдалось во всех вариантах опыта (табл. 2), причем в варианте O3 оно не отличалось от моновариантов, что связано с несущественным отличием содержания Cu и Zn в овсе в данном варианте по сравнению с вариантами O1 и O2.

Было показано, что высокое содержание Cu и Zn в песке усиливало процесс фотосинтеза у растений. Суммарное содержание хлорофилла А и В во всех вариантах опыта было увеличено по сравнению с контролем, причем в варианте O2 в меньшей степени. Содержание каротиноидов во всех вариантах эксперимента было выше контрольного уровня.

Усиление реакции ПОЛ в ответ на загрязнение привело к активизации пероксидазы и каталазы (табл. 3) во всех вариантах опыта по сравнению с контролем. Однако содержание других важных в жизни растений антиоксидантов – фенолов и флавоноидов (табл. 3) было снижено относительно контроля в зависимости от варианта опыта от 3 до 10 раз.

## Обсуждение

Загрязнение почвы тяжелыми металлами приводит к их миграции по почвенному профилю и транслокации в ткани растений, что было зафиксировано по результатам опыта (табл. 1). Уменьшение содержания Cu и Zn в тканях овса из варианта комбинированного действия O3 может быть объяснено взаимодействием поллютантов, причем в данном случае их антагонизмом, в силу конкуренции в метаболизме овса, что согласуется с данными литературы [15]. Антагонизм Cu и Zn в подземной части овса не наблюдается, поскольку, возможно, в надземной и подземной части растений функционируют разные системы антиоксидантной защиты, и накопление тяжелых металлов происходит различными способами и с различной скоростью. Меньшая аккумуляция Zn, по сравнению с Cu, предположительно, может быть объяснена большей миграционной способностью Zn.

Таблица 3

## Активность антиоксидантных систем в клетках овса при загрязнении песка Cu и Zn

Вариант эксперимента	Активность пероксидазы, отн. ед./л г	Активность каталазы, мкат/мл	Содержание фенолов, мг/10 мл экстракта	Содержание флавоноидов, г/100 г
К	337,5 ± 7,80	143,0 ± 7,70	113,6 ± 0,20	0,107 ± 0,050
O1 (Cu)	560,6 ± 8,85*	473,0 ± 9,00	19,47 ± 0,13*	0,011 ± 0,002*
O2 (Zn)	506,1 ± 15,6*	209,0 ± 11,0	11,23 ± 0,21*	0,012 ± 0,002*
O3 (Cu + Zn)	349,2 ± 11,1	638,0 ± 14,3	38,27 ± 0,42*	0,032 ± 0,004*

Примечательно, что в подземной части растения металлов накапливалось больше, чем в надземной части, так как корень находится в прямом контакте с загрязнителями почвы и является первым органом на пути тяжелых металлов в остальную часть растения [16], то есть выполняет барьерную функцию.

Процесс накопления тяжелых металлов в тканях растений может вызвать ряд изменений на биохимическом уровне. Так, к примеру, содержание продуктов перекисного окисления липидов является одним из важнейших биохимических показателей, отражающих степень повреждения клеточных мембран. Как показал проведенный эксперимент, аккумуляция растениями тяжелых металлов привела к смещению окислительно-восстановительного равновесия в клетках растений (табл. 2), что было зарегистрировано по высокому содержанию диеновых конъюгатов и оснований Шиффа.

Известно, что ионы переходных металлов переменной валентности являются катализаторами перекисного окисления липидов [17]. В нашем эксперименте, действие Cu это подтверждает. Увеличение содержания продуктов ПОЛ в варианте O2 может быть связано с косвенным воздействием цинка – снижением активности различных ферментов, приводящему к нарушению обмена веществ.

Из литературы [18] известно, что аккумуляция растениями тяжелых металлов приводит к уменьшению содержания пигментов фотосинтеза. В свою очередь, полученные нами данные могут быть объяснены следующим. Токсический стресс, зафиксированный по увеличению содержания продуктов ПОЛ, создавал необходимость для растений синтезировать больше органических веществ, что и было отмечено по возросшему содержанию пигментов фотосинтеза. Можно предположить, что при дальнейшем продолжении эксперимента, содержание тяжелых металлов в растениях бы возросло, и стимуляция фотосинтетического процесса овса сменилась угнетением.

Возможно, что в ходе стресса, обусловленного транслокацией тяжелых металлов из почвы, у проростков овса была необходимость расходовать флавоноиды и другие фенольные соединения для предотвращения перекисного окисления липидов (табл. 3). В отличие от содержания каротиноидов и активности пероксидазы, содержание фенолов и флавоноидов, а также активность каталазы в варианте O3 по сравнению с моновариантами была повышена, что говорит о специфическом функционировании различных антиоксидантных систем в условиях токсического стресса. Воздействие Cu на активность пероксидазы и каталазы было более выражено по сравнению с действием Zn, что может быть связано с большей аккумуляцией Cu овсом.

Анализ корреляционных связей установил, что между накоплением Cu в овсе и содержанием суммы пигментов фотосинтеза, а также активности каталазы существует тесная прямая зависимость:  $r = 0,93$ ;  $r = 0,87$  для накопления Cu в надземной части,  $r = 0,81$ ;  $r = 0,98$  для накопления Cu в подземной части соответственно. Полученные результаты говорят о непосредственном влиянии транслокации Cu на функционирование каталазы и фотосинтетической системы, и, как следствие, по всей видимости, их наиболее важным вкладом в механизмы биохимической адаптации овса посевного в условиях загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. Между аккумуляцией Zn и биохимическими показателями жизнедеятельности овса сильных корреляционных связей выявлено не было, что связано с меньшим накоплением Zn в тканях овса, по сравнению с контролем, и, возможно, с меньшим токсическим действием Zn.

Между аккумуляцией Cu и Zn и содержанием продуктов ПОЛ не было установлено тесной корреляционной связи, что обусловлено действием антиоксидантных систем овса. В свою очередь, анализ корреляционных связей показал, что между содержанием продуктов ПОЛ и суммой пигментов фотосинтеза ( $r = 0,75$ ;  $0,78$ ), содержанием каротиноидов ( $r = 0,93$ ;  $0,96$ ), активностью пероксидазы ( $r = 0,71$ ), существует прямая взаимозависимость. Это говорит об активации биохимических систем защиты овса в условиях стресса. Однако между содержанием продуктов ПОЛ и содержанием фенолов ( $r = -0,99$ ;  $r = -0,99$ ) и флавоноидов ( $r = -0,97$ ;  $-0,97$ ) существует тесная обратная связь. Возможно, это связано с теми механизмами использования фенолов и флавоноидов, которые были описаны ранее. Ответная реакция антиоксидантных систем была не однонаправленная, поскольку

ку между содержанием каротиноидов и содержанием фенолов и флавоноидов наблюдалась тесная обратная связь ( $r = -0,95$ ;  $-0,96$ ) соответственно.

## Выводы

1. При загрязнении почвы медью и цинком в концентрации, соответствующей 2 ПДК, идет накопление металлов в растениях.

2. Аккумуляция меди растениями была выше по сравнению с цинком. При комбинированном действии двух металлов выявлено их антагонистическое взаимодействие.

3. Установлено повышение содержания продуктов ПОЛ в клетках, как следствие накопления тяжелых металлов растениями.

4. Выявлено увеличение активности работы фотосинтетического аппарата и антиоксидантных систем (каротиноидов, каталазы, пероксидазы) в клетке.

5. Снижение содержания фенолов и флавоноидов связано с использованием этих систем антиоксидантной защиты для нейтрализации процессов ПОЛ.

6. Накопление в растениях тяжелых металлов и изменение в работе антиоксидантных систем свидетельствует об опасности загрязнения среды для консументов, получающих загрязнители по пищевым цепочкам в нарастающих количествах.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.  
**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Литература

1. Башкин В.Н., Касимов Н.С. *Биогеохимия*. М.: Научный мир; 2004.
2. Масленников П.В. Реакция антиоксидантной системы чины приморской (*Lathyrus maritimus bigel.*) на действие ионов кадмия. *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2013; (11-1): 67–70.
3. Фазлиева Э.Р., Киселева И.С. Биохимические реакции растений *Tussilago Farfara L.* Из природных местообитаний с разным уровнем техногенного загрязнения на избыток меди в среде. *Известия Тульского государственного университета. Естественные науки*. 2011; (3): 246–56.
4. Ли Т.К., Лу Л.Л., Жу Е., Гупта Д.К., Ислам Е., Янг Х.Е. Антиоксидантная система в корнях двух контрастных экотипов *Sedum Alfredii* при повышенных концентрациях цинка. *Физиология растений*. 2008; 55(6): 886–94.
5. Корнилов А.Л. *Биохимические показатели и содержание тяжелых металлов в растениях береговой линии водоемов г. Тюмени в условиях антропогенного загрязнения*: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Тюмень; 2014.
6. Мукатанов А.Х. *Вопросы эволюции и районирования почвенного покрова Республики Башкортостан*. Уфа: Гилем; 1999.
7. *Методика определения содержания тяжелых металлов в золе растений*. М.: Высшая школа; 1990.
8. Шульгин И.А., Ничипорович А.А. Хлорофилл. В кн.: Шульгин И.А., Ничипорович А.А. *Расчет содержания пигментов с помощью номограмм*. Минск: Наука и техника; 1974: 127–36.
9. Шведова А.А., Полянский Н.Б. Метод определения конечных продуктов перекисного окисления липидов в тканях – флуоресцирующих шиффовых оснований. В кн.: Бурлакова Е.Б., ред. *Исследование синтетических и природных антиоксидантов in vitro и in vivo*. М.: Наука; 1992: 72–3.
10. Федорова А.И. *Практикум по экологии и охране окружающей среды*. М.: ВЛАДОС; 2001.
11. Третьяков Н.Н., Кошкин Е.И., Новиков Н.Н. *Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений*. М.: Колос; 2000.
12. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П., Перуанский Ю.В., Луковникова Г.А., Иконникова М.И. *Методы биохимического исследования растений*. Ленинград: Агропромиздат; 1987.
13. Корюк М.А., Иванова Л.И., Майорова Н.О., Токарев В.Е. Метод определения активности каталазы. *Лабораторное дело*. 1988; (1): 16–9.
14. Лакин Г.Ф. *Биометрия*. М.: Просвещение; 1980.
15. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. *Микроэлементы в почвах и растениях*. Пер. с англ. М.: Мир; 1989.
16. Петухова Г.А. *Механизмы устойчивости организмов к нефтяному загрязнению среды*. Тюмень: ТюмГУ; 2008.
17. Марри Р., Греннер Д., Мейес П., Родуэлл В. *Биохимия человека*. Том 1. М.: Мир; 1993.
18. Полевой В.В. *Физиология растений*. М.: Высшая школа; 1989.

## References

1. Bashkin V.N., Kasimov N.S. *Biogeochemistry [Biogeokhimiya]*. Moscow: Nauchnyy mir; 2004. (in Russian)

2. Maslennikov P.V. Response of sea pea (*Lathyrus maritimus* bigel.) antioxidant system to effect of cadmium ions. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2013; (11-1): 67–70. (in Russian)
3. Fazlieva E.R., Kiseleva I.S. Biochemical response of Tussilago Farfara L. from natural habitats with different level of anthropogenic pollution to copper excess in environment. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki*. 2011; (3): 246–56. (in Russian)
4. Li T.K., Lu L.L., Zhu E., Gupta D.K., Islam E., Jang H.E. Antioxidant system in roots of *Sedum Alfreidii* from two contrast ecotypes by elevated concentrations of zinc. *Fiziologiya rasteniy*. 2008; 55(6): 886–94. (in Russian)
5. Kornilov A.L. *Biochemical indexes and heavy metals concentration in the plants of Tyumen pond coastline by anthropogenic contamination*: Diss. Tyumen'; 2014. (in Russian)
6. Mukatanov A.Kh. *Problems of Evolution and Regionalization of Soil Cover Republic Bashkortostan [Voprosy evolyutsii i rayonirovaniya pochvennogo pokrova Respubliki Bashkortostan]*. Ufa: Gilem; 1999. (in Russian)
7. *Method of Assessment Heavy Metals Concentration in Ashes of Plants [Metodika opredeleniya soderzhaniya tyazhelykh metallov v zole rasteniy]*. Moscow: Vysshaya shkola; 1990. (in Russian)
8. Shul'gin I.A., Nichiporovich A.A. Chlorophyll. In: Shul'gin I.A., Nichiporovich A.A. *Calculation of Pigments Concentration with the Help of Nomogram [Raschet soderzhaniya pigmentov s pomoshch'yu nomogram]*. Minsk: Nauka i tekhnika; 1974: 127–36. (in Russian)
9. Shvedova A.A., Polyanskiy N.B. Method of assessment concentration of eventual lipid peroxidation products in tissues – fluorescent Schiff bases. In: Burlakova E.B., ed. *Research of Synthetic and Natural Antioxidants in vitro and in vivo [Issledovanie sinteticheskikh i prirodnnykh antioksidantov in vitro i in vivo]*. Moscow: Nauka; 1992: 72–3. (in Russian)
10. Fedorova A.I. *Ecology and Environmental Protection Tutorial [Praktikum po ekologii i okhrane okruzhayushchey sredy]*. Moscow: VLADOS; 2001. (in Russian)
11. Tretyakov N.N., Koshkin E.I., Novikov N.N. *Physiology and Biochemistry of Agricultural Plants [Fiziologiya i biokhimiya sel'skokhozyaystvennykh rasteniy]*. Moscow: Kolos; 2000. (in Russian)
12. Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P., Peruanskiy Yu.V., Lukovnikova G.A., Ikonnikova M.I. *Methods of Plants Biochemical Research [Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy]*. Leningrad: Agropromizdat; 1987. (in Russian)
13. Korolyuk M.A., Ivanova L.I., Mayorova N.O., Tokarev V.E. Method of catalase activity assessment. *Laboratornoe delo*. 1988; (1): 16–9. (in Russian)
14. Lakin G.F. *Biometrics [Biometriya]*. Moscow: Prosveshchenie; 1980. (in Russian)
15. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace Elements in Soils and Plants*. Boca Raton: CRC Press, inc; 1984.
16. Petukhova G.A. *Mechanisms of Organisms Tolerance to Environmental Oil Pollution [Mekhanizmy ustoychivosti organizmov k neflyanomu zagryazneniyu sredy]*. Tyumen': TyumGU; 2008. (in Russian)
17. Murray R.K., Granner D.K., Mayes P.A., Rodwell V.W. *Harper's Biochemistry, 21st edition*. Norwalk, Connecticut: Appleton & Lange, a Publishing Division of Prentice Hall; 1988.
18. Polevoy V.V. *Physiology of Plants [Fiziologiya rasteniy]*. Moscow: Vysshaya shkola; 1989. (in Russian)

Поступила 14.01.16  
Принята к печати 13.05.16

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2017

УДК 614.77:628.47

Ерёмин В.Н., Решетников М.В., Шешнев А.С.

## ВЛИЯНИЕ ПОЛИГОНОВ ЗАХОРОНЕНИЯ ОТХОДОВ В САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ НА САНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» Минобрнауки РФ, 410012, Саратов

*Мониторинг окружающей среды в районах расположения полигонов захоронения отходов включает осуществление контроля за санитарным состоянием почв. Основным источником поступления загрязняющих веществ в почвы являются в том числе твердые частицы из аэрозольных выбросов от функционирования полигонов, переносимые на близлежащие территории. В пределах зон влияния трех крупнейших в Саратовской области полигонов захоронения отходов (Александровский, Гусельский в г. Саратове и Балаковский в г. Балаково) отобрано 152 пробы почв. По результатам определения в почвах концентраций валовых и подвижных форм тяжелых металлов первого (Zn, Cd, Ni) и второго классов опасности (Cu, Cr, Pb) проведен анализ коэффициентов опасности  $K_0$  и суммарных коэффициентов загрязнения  $Z_c$ . Выполнена оценка санитарно-гигиенического состояния почв и степени опасности загрязнения. Наиболее контрастные площадные особенности распределения коэффициента опасности  $K_0$  в почвах характерны для подвижных форм тяжелых металлов. Для всех трех изученных объектов устойчиво выделяется опасное и площадное загрязнение почв ассоциацией Ni и Cu. Опасность загрязнения почв валовыми формами тяжелых металлов минимальна. Коэффициент суммарного загрязнения  $Z_c$  превышает допустимый уровень по подвижным формам тяжелых металлов только для почв, окружающих Балаковский полигон. В зонах воздействия полигонов захоронения отходов расположены обрабатываемые земли с неблагоприятным санитарно-гигиеническим состоянием почв. В районе Гусельского объекта подвижными формами Ni и Cu опасно загрязнены почвы обрабатываемых сельскохозяйственных угодий. В окрестностях Балаковского полигона захоронения отходов значительные площади частных садоводческих хозяйств опасно загрязнены подвижными формами Ni, Cu и Zn.*

**Ключевые слова:** почвы; полигон захоронения отходов; тяжелые металлы; Саратовское Поволжье.

**Для цитирования:** Ерёмин В.Н., Решетников М.В., Шешнев А.С. Влияние полигонов захоронения отходов в Саратовской области на санитарное состояние почв. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(2): 117–121. DOI: <http://dx.doi.org/10.1882/0016-9900-2017-96-2-117-121>

Eremin V.N., Reshetnikov M.V., Sheshnev A.S.

IMPACT OF WASTE LANDFILLS IN THE SARATOV REGION ON THE SANITARY CONDITION OF THE SOIL

Saratov State University, Saratov, 410012, Russian Federation

*Monitoring of environment in regions of the location of waste landfills includes the implementation of the control over a sanitary condition of soils. The main origins of the spread of pollutants into soils are the solid particles from aerosol emissions from the functioning of landfills transmitted to surrounding territories. Within zones of the impact of three largest waste landfills in the Saratov region (Aleksandrovsky, Guselsky in the city of Saratov and Balakovsky in the city of Balakovo) there were taken 152 soil samples. According to results of the estimation in soil concentration of gross and motile forms of heavy metals of the first (Zn, Cd, Ni) and the second danger classes (Cu, Cr, Pb) there was performed the analysis of coefficients of danger-  $K_0$  and total coefficients of pollution -  $Z_c$ . There was executed the assessment of both a sanitary and hygienic condition of soils and degree of danger of pollution. The most contrast areal features of the distribution of the danger coefficient -  $K_0$  in soils are characteristic for motile forms of heavy metals. For all three*