

7. Костин Ю.В. О методике ооморфологических исследований и унификации описаний оологических материалов // Методика исследования продуктивности и структуры видов птиц в пределах их ареалов. – Вильнюс, 1977. – С. 14–22.
8. Мекленбурцев Р.Н. Ласточковые // Птицы Советского Союза / под ред. Г.П. Дементьева, Н.А. Гладкова. – М.: Сов. наука, 1954. – Т. 6. – С. 729–741.
9. Мяндр Р. Внутрипопуляционная изменчивость птичьих яиц. – Таллин, 1988. – С. 196.
10. Портенко Л.А. Фауна Анадырского края. Птицы // Тр. Науч.-исслед. ин-та полярного земледелия, животноводства и промыслового хоз-ва. – 1939. – Т. 5. – Ч. 1 – С. 5–211.
11. Рябицев В.К. Птицы Урала, Приуралья и Западной Сибири: справочник-определитель. – Екатеринбург, 2001. – 608 с.
12. Савченко А.П. Миграции наземных позвоночных Центральной Сибири и проблемы экологической безопасности: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Улан-Удэ, 2009. – 50 с.
13. Степанян Л.С. Конспект орнитологической фауны России и сопредельных территорий (в границах СССР как исторической области). – М.: Академкнига, 2003. – С. 362–364.
14. Dickinson E.C., Dekker R.W. Systematic notes on Asian birds. 13. A preliminary review of the Hirundinidae // Zool. Verh. Leiden – 2001. – P. 127–144.
15. Handbook of the birds of the World. – 2004. – Vol. 9. – P. 647–648.
16. Pleistocene evolution of closely related sand martins *Riparia riparia* and *R. diluta* / A. Pavlova, R.M. Zink, S. Drovetski [et al.] // Molecular Phylogenetics and Evolution. – 2008. – Vol. 48. – P. 61–73.
17. Loskot V.M. New subspecies of Pale Sand Martin, *Riparia diluta* (Sharpe & Whyatt), from the Altai and Middle Siberia (Aves: Hirundinidae) // Zoosystematica Rossica. – 2001. – Vol. 9. – P. 461–462.
18. Loskot V.M. Systematic notes on Asian birds. 61. New data on taxonomy and nomenclature of the Common Sand Martin *Riparia riparia* (Linnaeus, 1758) and the Pale Sand Martin *R. diluta* (Sharpe & Wyatt, 1893) // Zool. Med. Leiden. – 2006. – Vol. 80. – P. 213–223.



УДК 633.1:632.12

Е.Н. Еськова, И.С. Коротченко

#### ВЛИЯНИЕ ГУМАТА НАТРИЯ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕСТ-КУЛЬТУРЫ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Исследованиями авторов статьи установлено, что характер и сила воздействия тяжелых металлов на рост растений определяются в первую очередь их концентрацией в корнеобитаемой среде. При наличии высокой концентрации они ингибируют ростовые процессы. Использование в качестве детоксиканта тяжелых металлов гумата натрия улучшает все показатели начального роста ярового ячменя, причем более эффективной оказывается концентрация гумата 0,30 г/кг почвы.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, кадмий, свинец, детоксикант, гумат натрия, морфометрические показатели.

Е.Н. Eskova, I.S. Korotchenko

#### THE SODIUM HUMATE INFLUENCE ON THE TEST-CULTURE MORPHOMETRIC INDICES IN THE CONDITIONS OF SOIL POLLUTION BY HEAVY METALS

It is established by the authors' research that the nature and strength of the heavy metals influence on the plant growth are primarily determined by their concentration in the root environment. In the presence of high concentrations they inhibit the growth processes. The use of sodium humate heavy metals as detoxicant improves all the indicators of spring barley primary growth, and more effective is the humate concentration 0,30 g/kg of soil.

**Key words:** heavy metals, cadmium, lead, detoxicant, sodium humate, morphometric indices.

**Введение.** Техногенное загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами – одна из наиболее острых экологических проблем [2]. Значительное увеличение содержания тяжелых металлов в окружающей среде сопровождается их накоплением в растениях, что оказывает негативное влияние на рост, развитие и продуктивность [1, 7–9, 12–15].

Большинство тяжелых металлов не являются необходимыми для растений, однако они могут ими активно поглощаться, накапливаться и по пищевым цепям поступать в организм человека [5, 12, 17]. Опасность металлов усугубляется еще и тем, что они обладают кумулятивным действием и сохраняют токсические свойства в течение длительного времени [11, 16]. Наиболее опасными среди них считаются свинец и кадмий [1, 3, 4, 6].

Одним из способов предотвращения неблагоприятного воздействия тяжелых металлов является использование детоксицирующих препаратов. В качестве детоксикантов могут выступать органические вещества как прекрасные инактиваторы тяжелых металлов в почве. Они повышают буферность почвы, способствуют снижению концентрации солей в почвенном растворе, уменьшению фитотоксичности многовалентных тяжелых металлов и препятствует поступлению их в растения. Внесение в почву детоксиканта способствует улучшению условий произрастания растений. Одним из таких веществ может служить гумат натрия.

**Цель исследований.** Оценка влияния гумата натрия на морфометрические показатели тест-культуры в условиях загрязнения почв кадмием и свинцом.

**Объекты и методы исследований.** Для исследования фитотоксичности почв, загрязненных кадмием и свинцом в качестве тест-культуры, был использован яровой ячмень сорта Красноярский 80.

Оценка влияния тяжелых металлов и гумата натрия на морфометрические параметры ярового ячменя проводилась в лабораторных условиях с использованием вегетационных сосудов, наполненных почвой (чернозем выщелоченный). Для закладки опыта использовали почву пахотного слоя, взятую с полей СПК «Зыковский». Перед закладкой опыта по результатам агрохимического анализа почва имела следующие характеристики: гумус – 7,7 %, рН<sub>KCl</sub> – 7,5, сумма обменных оснований – 42 мг-экв/100 г, подвижный фосфор – 300 мг/кг, обменный калий – 150 мг/кг, ЕКО – 57,6 мг-экв/100 г почвы.

Тяжелые металлы в концентрации от 1 до 5 ПДК вносили в опытные варианты в виде хорошо растворимых солей (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>Pb, 3CdSO<sub>4</sub>\*8H<sub>2</sub>O. Расчет концентрации проводили согласно данным ПДК [6]. В качестве детоксиканта тяжелых металлов использовали гумат натрия в дозе 0,15 и 0,3 г на 1 кг почвы. После внесения необходимых ингредиентов почва инкубировалась в течение 7 дней. Объектами служили 30 семян в одном сосуде, все опыты проводили в 4 повторностях. По истечении 10 сут после появления дружных всходов проводили измерение длины и биомассы ростков и корней.

Статистическую обработку осуществляли при помощи пакета Microsoft Excel 97 для Windows и компьютерного пакета статистических программ «Snedecor».

**Результаты исследований и их обсуждение.** При выращивании ярового ячменя под действием ионов кадмия и свинца наблюдалось усиление ингибирования ростовых процессов с увеличением концентрации тяжелых металлов.

Снижение средней длины проростка кадмий и свинец начали вызывать в концентрации от 2 до 5 ПДК, причем значимые (P<0,01) изменения наблюдались только от 3 ПДК (табл. 1). Отличия от фона при загрязнении свинцом в концентрации 3 ПДК составило 5,9 %; 4 ПДК – 13,6; 5 ПДК – 16,2 %. В варианте с кадмием угнетение при 3 ПДК составило 5,3 %, при 4 ПДК – 12,4, а при 5 ПДК – 17,8 %.

Внесение гумата натрия как детоксиканта тяжелых металлов оказало положительное воздействие на величину средней длины проростка как в варианте с кадмием, так и в варианте со свинцом. Двойная концентрация гумата натрия оказалась более эффективной, так как увеличение средней длины проростка возросло в среднем на 14–16 %, а концентрация детоксиканта 0,15 г/кг почвы способствовала в среднем увеличению показателя лишь на 5–7 %.

Таблица 1

**Влияние тяжелых металлов (ТМ) и гумата натрия на среднюю длину проростка ярового ячменя**

ТМ	Вариант опыта	Доза гумата Na, г/кг почвы	Доза внесения в почву ТМ				
			1 ПДК	2 ПДК	3ПДК	4 ПДК	5 ПДК
Средняя длина проростка (фон – 208,5±0,16), мм							
Pb	Без детоксиканта	–	208,7±0,10	208,3±0,62	206,4±0,34**	201,7±0,88**	174,7±1,01**
	Гумат натрия	0,15	209,1±0,29	208,7±0,29	206,9±0,39*	206,5±0,37**	188,3±0,43**
		0,3	209,4±0,29	209,1±0,22	207,8±0,17	209±0,46 <sub>aa</sub>	201,9±0,33**
Cd	Без детоксиканта	–	208,6±0,23	208,3±0,34	206,5±0,38*	200,4±0,54**	171,3±0,81**
	Гумат натрия	0,15	208,8±0,36	208,5±0,29	206,9±0,35*	204,6±0,47**	184,5±1,23**
		0,3	209,1±0,26	209±0,12	208±0,36	208,4±0,31	198,3±1,09**

\* Значения достоверны при P<0,05; \*\* P<0,01 (в качестве контроля выступает фон).

Возрастающие дозы тяжелых металлов вызывают у растений в первую очередь замедление роста корней [10, 12]. Это связано с тем, что корни являются первым барьером на пути транспорта металлов из почвы в растение, и именно корень берет на себя основную функцию по их аккумуляции и детоксикации.

Так, в случае внесения в почву токсикантов происходит достоверная ( $P \leq 0,01$ ) депрессия средней длины корня уже с концентрации 2 ПДК кадмия и 3 ПДК свинца (табл. 2). Наибольшее снижение наблюдается при высокой концентрации кадмия от 18 до 31 %, свинца – от 19 до 28 %.

При загрязнении почвы кадмием гумат натрия в концентрации 0,15 г/кг приводит к увеличению данного показателя при 1 ПДК на 1,5 %, при 2 ПДК – на 2,7, при 3 ПДК – на 5,4, при 4 ПДК – на 11,7, при 5 ПДК – на 28,4 % по сравнению с вариантом без детоксиканта (табл. 2). При использовании двойной концентрации гумата натрия средняя длина корня увеличивается почти в 1,5 раза, поэтому эта концентрация и является более эффективной. Сходные тенденции стимулирующего действия детоксиканта выявлены и при загрязнении почвы свинцом.

Таблица 2

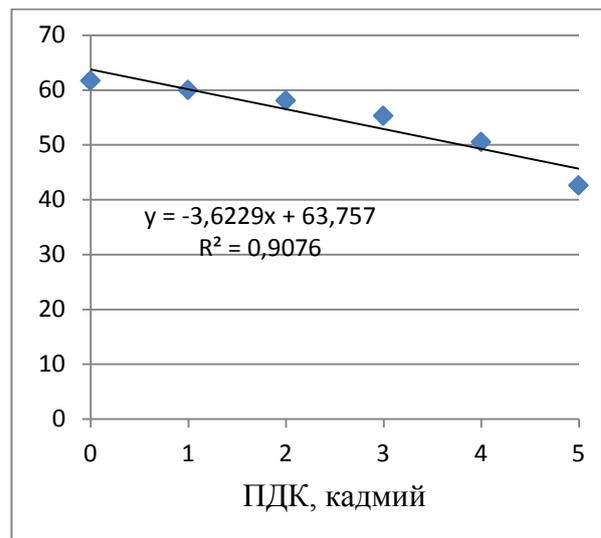
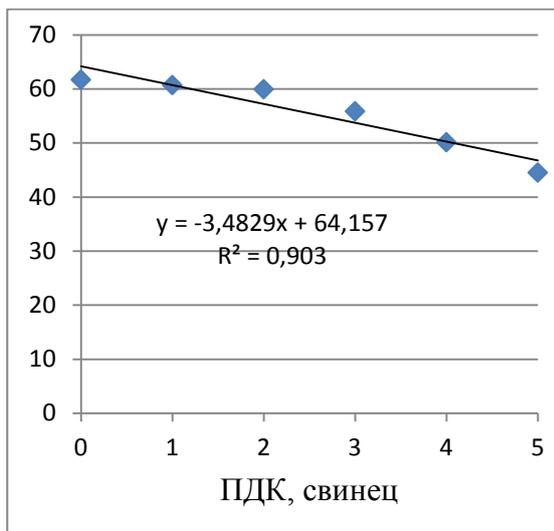
## Влияние тяжелых металлов (ТМ) и гумата натрия на среднюю длину корня ярового ячменя

ТМ	Вариант опыта	Доза гумата Na, г/кг почвы	Доза внесения в почву ТМ				
			1 ПДК	2 ПДК	3 ПДК	4 ПДК	5 ПДК
Средняя длина корня (фон – 61,7±0,17), мм							
Pb	Без детоксиканта	–	60,7±0,88	59,9±0,96	55,8±1,02**	50,1±0,78**	44,5±1,16**
	Гумат натрия	0,15	61,0±0,54	60,5±1,09	59,6±0,47	58,0±0,45**	57,3±0,66**
		0,3	66,4±0,84**	65,4±0,62**	64,9±0,82**	64,0±0,58*	63,9±0,92
Cd	Без детоксиканта	–	60,0±0,63	58,1±0,26**	55,3±0,32**	50,5±0,68**	42,6±0,89**
	Гумат натрия	0,15	60,9±0,22	59,7±0,45**	58,3±0,22**	56,4±0,64**	54,7±0,74**
		0,3	61,4±0,32	60,9±0,37	60,6±0,31	60,0±0,80	59,9±0,94

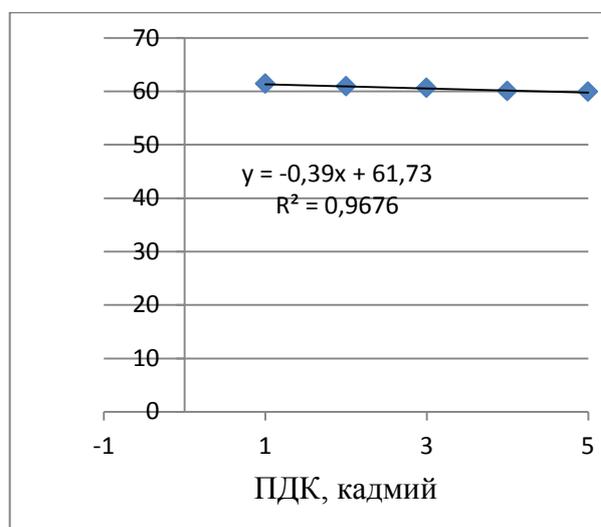
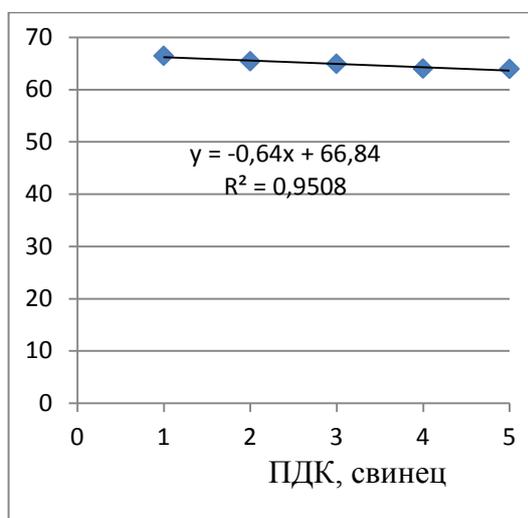
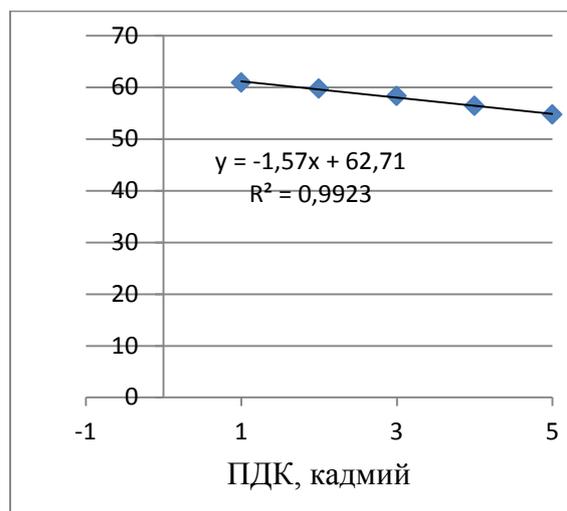
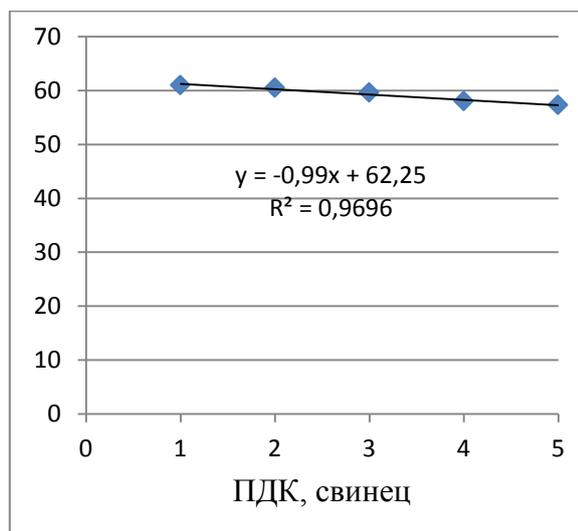
\* Значения достоверны при  $P \leq 0,05$ ; \*\* $P \leq 0,01$  (в качестве контроля выступает фон).

По результатам регрессионного анализа установлена прямая зависимость средней длины корней ячменя от концентрации тяжелых металлов (свинца и кадмия), внесенных в почву (рис.). Причем эта зависимость носит линейный характер с высоким значением коэффициента детерминации (в варианте со свинцом  $R^2 = 0,903$ , с кадмием  $R^2 = 0,907$ ). Еще более тесная положительная корреляция наблюдается между дозой детоксиканта и длиной корней ячменя (рис.).

На показатели биомассы проростков ярового ячменя большее негативное воздействие оказали также повышенные дозы тяжелых металлов (табл. 3–4). Присутствие свинца в почве в концентрации 5 ПДК привело к снижению средней массы проростка на 30,5 %, а массы корня на 62 % по сравнению с контролем. При загрязнении кадмием в такой же концентрации средняя масса проростка уменьшилась на 32,4%, а средняя масса корня практически в 3 раза.



Зависимость средней длины корня ярового ячменя от концентрации тяжелых металлов и дозы гумата натрия



Окончание рис.

Таблица 3

Влияние тяжелых металлов (ТМ) и гумата натрия на среднюю массу проростка ярового ячменя

ТМ	Вариант опыта	Доза гумата Na, г/кг почвы	Доза внесения в почву ТМ				
			1 ПДК	2 ПДК	3 ПДК	4 ПДК	5 ПДК
Средняя масса проростка (фон – 0,256±0,002), мг.							
Pb	Без детокси-канта	–	0,252±0,001*	0,248±0,001**	0,229±0,001**	0,209±0,001**	0,178±0,001**
	Гумат натрия	0,15	0,254±0,001	0,251±0,001**	0,237±0,001**	0,220±0,001**	0,212±0,001**
		0,30	0,258±0,001	0,257±0,001	0,256±0,001	0,254±0,001	0,250±0,001**
Cd	Без детокси-канта	–	0,250±0,006	0,238±0,003**	0,220±0,008**	0,196±0,001**	0,173±0,001**
	Гумат натрия	0,15	0,254±0,001	0,246±0,001	0,232±0,001**	0,212±0,001**	0,208±0,001**
		0,30	0,258±0,002	0,254±0,001	0,244±0,001*	0,230±0,008**	0,223±0,001**

\*Значения достоверны при  $P \leq 0,01$ ; \*\*  $P \leq 0,05$  (качестве контроля выступает фон).

Под влиянием тяжелых металлов уменьшаются длина главного корня и количество боковых корней, отмирают корневые волоски и снижается биомасса корней [14]. В наших экспериментах с увеличением концентрации свинца и кадмия в почве наблюдалось значительное (по сравнению с фоном) снижение подземной биомассы (табл. 4). Использование детоксиканта привело к повышению обоих показателей, причем при применении двойной концентрации гумата натрия показатели возросли почти вдвое по сравнению с вариантами без использования мелиоранта.

Таблица 4

## Влияние тяжелых металлов (ТМ) и гумата натрия на среднюю массу корней ярового ячменя

ТМ	Вариант опыта	Доза гумата Na, г/кг почвы	Доза внесения в почву ТМ				
			1 ПДК	2 ПДК	3 ПДК	4 ПДК	5 ПДК
Средняя масса корня (фон – 0,045±0,002), мг							
Pb	Без детоксиканта	–	0,0420±0,001*	0,040±0,001**	0,035±0,001**	0,026±0,001**	0,017±0,001**
	Гумат натрия	0,15	0,044±0,001	0,042±0,002*	0,039±0,001**	0,035±0,001**	0,033±0,001**
		0,30	0,049±0,001	0,048±0,001	0,046±0,001	0,045±0,001	0,044±0,001
Cd	Без детоксиканта	–	0,040±0,009	0,034±0,074*	0,029±0,001	0,020±0,001	0,014±0,001
	Гумат натрия	0,15	0,043±0,003	0,039±0,001	0,036±0,001	0,029±0,001	0,027±0,001
		0,30	0,047±0,001	0,046±0,001	0,044±0,002	0,042±0,001	0,039±0,001

\*Значения достоверны при  $P \leq 0,01$ ; \*\* $P \leq 0,05$  (в качестве контроля выступает фон).

**Заключение.** Таким образом, характер и сила воздействия тяжелых металлов на рост растений определяются в первую очередь их содержанием в корнеобитаемой среде. В относительно низких концентрациях они могут незначительно стимулировать ростовые процессы, тогда как в присутствии высоких ингибируют их. Использование в качестве детоксиканта тяжелых металлов, гумата натрия улучшало все показатели начального роста ярового ячменя, причем более эффективной оказалась концентрация гумата 0,30 г/кг почвы.

## Литература

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
2. Башкин В.Н., Касимов Н.С. Биогеохимия. – М.: Научный мир, 2004. – 648 с.
3. Важенин И.Г. Почва как активная система самоочищения от токсического воздействия тяжелых металлов – ингредиентов техногенных выбросов // Химия в сельском хозяйстве. – 1982. – № 3. – С. 3–5.
4. Добровольский В.В. Биосферные циклы тяжелых металлов и регуляторная роль почвы // Почвоведение. – 1997. – № 4. – С. 431–441.
5. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.
6. Кабата-Пендиас А., Кабата-Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
7. Ковда В.А., Золотарева Б.И., Скрипниченко И.И. О биологической реакции растений на тяжелые металлы в среде // Докл. АН СССР. – 1979. – Вып. 247. – № 3. – С. 766–768.
8. Коньшева Е.Н. Влияние детоксикантов тяжелых металлов на зерновые культуры в ювенильный период развития // Вестн. КрасГАУ. – 2010. – Вып. 5. – С. 65–69.
9. Коротченко И.С., Кириенко Н.Н. Детоксикация тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu) в системе «почва–растение» в лесостепной зоне Красноярского края / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2012. – 250 с.
10. Мельничук Ю.П. Влияние ионов кадмия на клеточное деление и рост растений. – Киев: Наукова думка, 1990. – 148 с.
11. Минеев В.Г., Макарова А.И., Гришина Г.А. Тяжелые металлы и окружающая среда в условиях современной интенсивной химизации. Сообщение 1. Кадмий // Агрохимия. – 1981. – № 5. – С. 146–154.
12. Нестерова А.Н. Действие тяжелых металлов на корни растений. 1. Поступление свинца, кадмия и цинка в корни, локализация металлов и механизмы устойчивости растений // Биол. науки. – 1989. – № 9. – С. 72–86.
13. Первунина Р.И., Зырин Н.Г. Влияние кадмия на рост и развитие ячменя. – М.: Гидрометеоздат, 1980.

- С. 79–85.
14. Серегин И.В., Иванов В.Б. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения // Физиология растений. – 2001. – Т. 48. – С. 606–612.
  15. Таланова В.В., Титов А.Ф., Боева Н.П. Влияние свинца и кадмия на проростки ячменя // Физиология и биохимия культурных растений. – 2001. – Т. 33. – № 1. – С. 33–37.
  16. Ягодин Б.А., Виноградова С.Б., Говорина В.В. Кадмий в системе почва–удобрения–растения–животные организмы и человек // Агрехимия. – 1989. – № 5. – С. 118–129.
  17. Cadmium accumulation in crops /C.A. Grant, W.T. Buckley, L.D. Bailey [et al.] // Can. J. Plant Sci. – 1998. – Vol. 78. – P. 1–17.



УДК 631.47

И.С. Коротченко, Н.Н. Кириенко

### ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО, ЗАГРЯЗНЕННОГО МЕДЬЮ

*В статье дана оценка ферментативной активности чернозема выщелоченного при модельном загрязнении медью. В результате проведенных исследований авторам удалось установить прямую зависимость между концентрацией загрязняющего вещества и степенью уменьшения активности ферментов – каталазы, уреазы, инвертазы, протеазы в почве.*

**Ключевые слова:** чернозем выщелоченный, ферментативная активность почв, каталаза, инвертаза, уреазы, протеазы, тяжелые металлы, медь.

I.S. Korotchenko, N.N. Kiriyenko

### THE ENZYMATIC ACTIVITY OF THE LEACHED CHERNOZEM POLLUTED BY COPPER

*The assessment of the leached chernozem enzymatic activity in the model pollution by copper is given in the article. As a result of the conducted research the authors were able to establish the direct relationship between pollutant concentration and the degree of the enzyme activity reduction – catalase, urease, invertase, protease in the soil.*

**Key words:** leached chernozem, soil enzymatic activity, catalase, invertase, urease, protease, heavy metals, copper.

---

**Введение.** Одной из важных проблем современной экологии является загрязнение почв тяжелыми металлами, которое отражается практически на всех компонентах биосферы. Тяжелые металлы, попав в атмосферу, почву или водоемы, включаются в природный круговорот веществ и удаляются очень медленно при выщелачивании, эрозии и дефляции, а также потреблении растениями.

Основными источниками загрязнения тяжелыми металлами являются предприятия черной и цветной металлургии, горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, тепловые электростанции, транспорт. При оценке экологического состояния окружающей среды большую роль играет изучение почвенного покрова [8].

Проблема мониторинга почв актуальна в настоящее время, так как остро стоит вопрос о сохранении почвенного плодородия. Согласно литературным данным, наиболее информативными интегральными характеристиками биологической активности почвы, а следовательно, плодородия последней, является активность почвенных ферментов.

Ферментативный анализ почв широко использовался при изучении сильного промышленного загрязнения сосновых насаждений на территории Уральского региона и лесов Сибири, в зонах техногенного загрязнения в Украине, а также при определении плодородия пахотных почв в Белоруссии [1].

Однако в большинстве научных работ нет достоверных данных об изменении показателей нитрифицирующей активности, выделении углекислого газа, активности ряда ферментов даже при значительном содержании тяжелых металлов в почве [12].

Активность ферментов каталазы, инвертазы, протеазы, дегидрогеназы, полифенолоксидазы, сульфатредуктазы, уреазы, нитратредуктазы изучалась в работах ряда исследователей [1, 3, 6] и, по некоторым данным, является наиболее универсальным биоиндикатором состояния почвенных экосистем, поскольку