

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И КАЧЕСТВО СЕМЕННОГО ПОТОМСТВА РАСТЕНИЙ

Васильев Д.В.

*канд. биол. наук, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский
институт радиологии и агроэкологии,
249032, РФ, Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км*

THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL POLLUTION BY HEAVY METALS ON THE QUALITY OF SEED PLANT PROPERTY

Vasiliev D.V.

*candidate of Biology Sciences Russian Institute of Radiology and Agroecology,
249032, Russia, Kaluga Region, Obninsk, Kiev highway, 109 km*

Аннотация.

Работа посвящена изучению последствий загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами для семенного потомства растений. Показано, что небольшие концентрации тяжелых металлов в почвах, могут способствовать увеличению энергии прорастания и всхожести семян, а высокие концентрации способны снижать качество семенного потомства и оказывать генотоксическое воздействие. Избыток тяжелых металлов в почвах может являться лимитирующим для растений фактором, способным влияя на качество семенного потомства снижать стабильность популяций.

Abstract.

The work is devoted to studying the consequences of environmental pollution by heavy metals for seed progeny of plants. It is shown that small concentrations of heavy metals in soils can contribute to an increase in seed germination and germination energy, and high concentrations can reduce the quality of seed offspring and have a genotoxic effect. Excess heavy metals in soils may be a limiting factor for

plants, capable of affecting the quality of seed offspring and reduce the stability of populations.

Ключевые слова: тяжелые металлы, качество семян, цитогенетика, ячмень.

Keywords: Cytogenetics, zinc nitrate, barley, seed quality.

Введение. Загрязнение почв тяжелыми металлами является серьезной экологической проблемой [1, 2]. Благодаря широкому спектру механизмов адаптации к действию тяжелых металлов (ТМ) растения способны существовать даже в условиях сильного техногенного загрязнения. [3]. Однако опасность заключается не только в снижении жизненного потенциала растений, но и в существенном изменении жизнеспособности и качества потомства семян. О том насколько надежны механизмы защиты растений от избытка ТМ в почве, необходимо судить не только по показателям развития растений, но и по качеству их потомства. Несмотря на то, что существует много работ показывающих опасность для потомства растений техногенного загрязнения, детальных лабораторных исследований действия конкретных тяжелых металлов на потомство растений крайне мало и поэтому нет четкого понимания, какое влияние тяжелые металлы оказывают на семенное потомство растений.

Цель настоящего исследования – изучение последствий воздействия ТМ на материнские растения для их семенного потомства.

Материалы и методы. Исследования проведены на потомстве семян ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта «Зазерский-85», полученном от растений, выросших на: окультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве, (Жуковский район, Калужская обл.); черноземе типичном тяжелосуглинистом, (Медвенский район, Курская обл.); торфяной болотной низинной почве (Спас-Деменский район, Калужская обл.). В почвы был внесен водный раствор $Zn(NO_3)_2$. В воздушно-сухую дерново-подзолистую почву: 25, 50, 100, 150, 250 мг/кг. В воздушно-сухой чернозем: 50, 100, 250, 500, 750 мг/кг. В воздушно-сухую торфяную почву: 250, 500, 1000 мг/кг. Материнские растения

возделывали в вегетационных сосудах (объемом 5 дм³, на 5 килограмм абсолютно-сухой почвы) в 5-ти повторностях по 25 шт. на сосуд.

Полученные семена проращивались на бумажных фильтрах увлажненной дистиллированной водой в чашках Петри, в термостате при $t = 21^{\circ}\text{C}$. На седьмые сутки проращивания оценивали семенную всхожесть. Проростки длиной от 1 до 1,5 см, фиксировали в ацето-алкоголе (1:3). Давленные препараты окрашивались ацетоорсеином. Анализировалось в среднем 3 – 6 тысяч ана-телофаз на каждый вариант. Статистическую обработку полученных данных проводили в Excel 2007 методами вариационной статистики. По критерию Стьюдента оценивали достоверность отличий. Оптимальный объем выборки, определяли с помощью метода анализа эмпирических распределений [4].

Результаты и обсуждение. Энергия прорастания, характеризующая дружность всходов семян, является важной характеристикой для сельскохозяйственных растений. Многочисленные эксперименты с растениями разных жизненных форм (травами, кустарниками, деревьями) показали, что при увеличении степени техногенного загрязнения мест произрастания материнских растений, у их семенного потомства может наблюдаться уменьшение энергии прорастания и всхожести семян [5, 6]. У потомства лебеды раскидистой, с увеличением степени техногенного загрязнения, наблюдалось снижение лабораторной всхожести - в 1,8 раза и длины корней - в 1,3 раза по сравнению с контролем [7]. У черники миртолистной и брусники обыкновенной, сформировавшихся при разных уровнях загрязнения среды обитания отходами цинкоплавильного завода, всхожесть семян была снижена в 8–15 раз [8]. У ольховника кустарникового [9] повышенное содержание кадмия в почве снижало всхожесть, а при концентрации 0,57 г / т почвы потомство семян теряло жизнеспособность.

Ряд тяжелых металлов может быть необходимым микроэлементом для растений, и при низких концентрациях они могут улучшать ростовые характеристики семенного потомства [10, 11]. Так семена кровохлебки лекарственной, полученные на почвах загрязненных ТМ, развивались лучше, чем у контрольных растений [12]. Семена ромашки аптечной, образовавшиеся в условиях загрязнения ТМ, характеризовались более высокой энергией прорастания и лабораторной всхожестью по сравнению с контролем [13]. Показатели жизнеспособности потомства голубики, черники, брусники

[14, 15] и березы пушистой [16] были стабильными при разных уровнях химического загрязнения. Статистически значимое увеличение всхожести наблюдалось также на семенах, полученных от растений ячменя сорта Зазерский 85, выращенных на торфяных и дерново-подзолистых почвах, загрязненных Zn, в концентрациях 25 - 250 мг/кг. (Рис. 1).

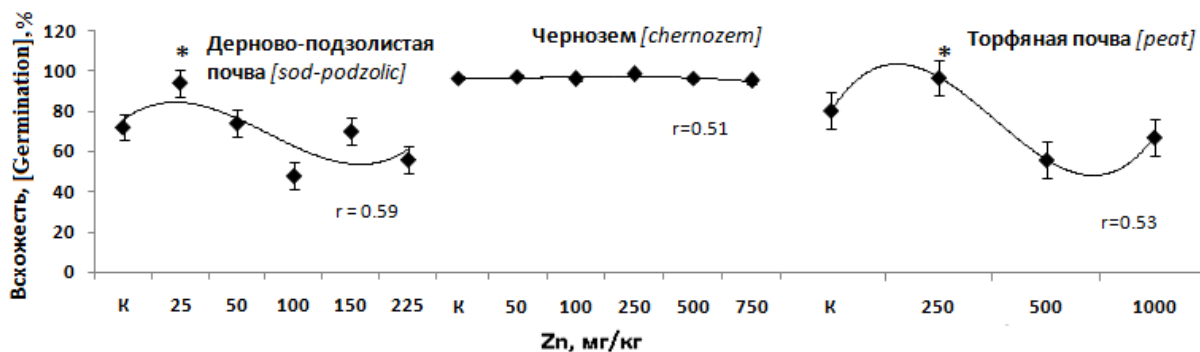


Рисунок 1. Всхожесть семян ячменя полученных на почвах загрязненных $Zn(NO_3)_2$. Примечание. * – статистически значимо отличие от контроля.

Figure 1. Germination of barley seeds obtained on soils contaminated with Zn (NO_3)₂. Note. * - statistically significant difference from control.

Для изучения индуцированного ТМ мутагенеза наиболее адекватными признаны цитогенетические тест-системы. цитогенетические тест-системы. Они дают мало заведомо ложных результатов [17], позволяют выявлять самые ранние и наиболее серьезные последствия антропогенного воздействия. Исследования [18, 19] показывают увеличение числа цитогенетических нарушений у семенного потомства растений, выращенных в условиях химического загрязнения. Так, у семенного потомства березы повислой произрастающей в центре г. Воронеж, где наблюдается сильное загрязнение такими металлами, как медь, цинк, свинец, кадмий в концентрациях более 1,5 - 2 ОДК, отмечалось статистически значимое увеличение в 3-5 раз числа цитогенетических нарушений в корневой меристеме проростков [20].

У ячменя сорта Зазерский 85 статистически значимое ($p < 0.05$) увеличение числа цитогенетических нарушений наблюдалось в корневой меристеме проростков полученных на черноземе и дерново-подзолистых почвах с концентрациями цинка в 4

– 7 раз выше значений ОДК для данных типов почв [21]. Тенденция к увеличению цитогенетических aberrаций также наблюдалась на торфяной почве (табл. 1).

Таблица 1.

Частота aberrантных клеток и спектр нарушений в корневой меристеме проростков семян ячменя

Вариант	АК, %	Относительный вклад aberrаций разных типов, %		
		хроматидные	хромосомные	геномные
Дерново-подзолистая почва				
0 мг/кг	0,80 ± 0,07	17,95 ± 0,05	46,15 ± 0,07	35,90 ± 0,06
25 мг/кг	0,78 ± 0,07	4,00* ± 0,03	58,00 ± 0,08	38,00 ± 0,07
50 мг/кг	0,82 ± 0,08	10,00 ± 0,07	41,67 ± 0,08	48,33 ± 0,08
100 мг/кг	1,02 ± 0,09	12,28 ± 0,06	38,60 ± 0,08	49,12 ± 0,07
150 мг/кг	0,98 ± 0,10	14,55 ± 0,08	36,36 ± 0,07	49,09 ± 0,07
225 мг/кг	1,31*** ± 0,08	11,67 ± 0,05	31,67 ± 0,06	56,67** ± 0,05
Чернозем типичный тяжелосуглинистый				
0 мг/кг	0,82 ± 0,06	24,05 ± 0,06	34,18 ± 0,06	41,77 ± 0,06
50 мг/кг	0,83 ± 0,06	16,42 ± 0,07	52,24 ± 0,07	31,34 ± 0,05
100 мг/кг	0,92 ± 0,10	21,67 ± 0,05	43,33 ± 0,11	35,00 ± 0,09
250 мг/кг	0,84 ± 0,10	18,64 ± 0,09	27,12 ± 0,09	54,24 ± 0,09
500 мг/кг	0,99 ± 0,12	22,45 ± 0,07	28,57 ± 0,10	48,98 ± 0,08
750 мг/кг	1,19* ± 0,13	26,23 ± 0,08	16,39 ± 0,05	57,38 ± 0,10
Торфяная болотная низинная почва				
0 мг/кг	0,81 ± 0,09	17,72 ± 0,05	32,91 ± 0,06	49,37 ± 0,06
250 мг/кг	0,81 ± 0,07	17,91 ± 0,07	28,36 ± 0,06	53,73 ± 0,07
500 мг/кг	0,90 ± 0,09	25,00 ± 0,06	19,12 ± 0,07	55,88 ± 0,08
1000 мг/кг	1,07 ± 0,10	15,79 ± 0,07	24,56 ± 0,07	59,65 ± 0,07

Примечание. ВК – число просмотренных ана-телофазных клеток; АК – aberrантные клетки; * – отличие от контроля статистически значимо: * - $p < 5\%$, ** – $p < 1\%$, *** – $p < 0,1\%$.

При проведении исследований природных популяций часто возникает необходимость определения основного неблагоприятного фактора. Это можно сделать, изучая спектр нарушений, так как соотношение типов мутаций под влиянием факторов различной природы может сильно различаться [22, 23]. Считается, что химические мутагены вызывают в основном генные мутации, а действие тяжелых металлов характеризуется преобладанием митотических нарушений [24]. Так, при исследовании сосны из зеленой зоны Бийска было показано, что в районе возле ТЭЦ-1, что в районе ТЭС-1, где в спектре загрязнения присутствует большое количество тяжелых металлов, на наиболее загрязненном участке наблюдался высокий процент нарушений митоза в виде геномных мутаций [18].

Анализ спектра цитогенетических нарушений у семенного потомства ячменя сорта Зазерский 85 также выявил тенденцию к увеличению доли геномных нарушений при увеличении концентрации Zn в почвах. При концентрации 250 мг/кг воздушно-сухой дерново-подзолистой почвы доля геномных нарушений была статистически значимо выше, чем в контроле (табл. 3).

Выводы. Тяжелые металлы, способны существенно изменять жизнеспособность и качество семенного потомства. В больших концентрациях они снижают всхожесть и энергию прорастания семян. Небольшие концентрации некоторых металлов, являющихся жизненно необходимыми для растений могут положительно влиять на жизнеспособность и всхожесть семенного потомства.

Действие тяжелых металлов на семенное потомство может не проявляться в их фенотипе но на генетическом уровне они могут оказывать мутагенное воздействие, увеличивая частоту цитогенетических нарушений.

У семенного потомства, полученного на почвах загрязненных ТМ, в спектре цитогенетических нарушений может наблюдаться повышенное число геномных нарушений.

Таким образом, избыток тяжелых металлов в почвах может являться лимитирующим для растений фактором, способным влияя на качество семенного потомства снижать стабильность популяций.

Список литературы:

1. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. / Новосибирск: Наука. Сиб. Отделение, 1991. 151с.
2. Villiers F., Ducruix C., Hugouvieux V. et al. Investigating the plant response to cadmium exposure by proteomic and metabolomic approaches // *Proteomics*. 2011. V. 11. P. 1650–1663. doi. 10.1002/pmic.201000645
3. Yang X., Feng Y., He Z. L., Stoffella P. J. Molecular mechanisms of heavy metal hyperaccumulation and phytoremediation // *J. Trace Elem. Med. Biol.* 2005. V. 18. P. 339–353. doi. 10.1016/j.jtemb.2005.02.007
4. Гераськин С.А., Фесенко С.В., Черняева Л.Г., Санжарова Н.И. Статистические методы анализа эмпирических распределений коэффициентов накопления радионуклидов растениями // *Сельскохозяйственная биология*. 1994. № 1. С. 130 – 137.
5. Веселкин Д. В. Изменение численности всходов и подроста *Piceae obovata* Ledeb. и *Abies sibirica* Ledeb. в темнохвойных южно-таежных лесах в условиях загрязнения выбросами Среднеуральского медеплавильного завода (Свердловская обл.) // *Растительные ресурсы*. 2004. № 1. С. 28—38.
6. Киреева Н. А., Мифтахова А. М., Кузахметов Г. Г. Рост и развитие сорных растений в условиях техногенного загрязнения почвы // *Вестник Башкирского ун-та*. 2001. № 1. С. 32—34.
7. Прокопьев И.А., Филиппова Г.В., Шеин А.А. Влияние техногенного загрязнения пылью, содержащей тяжелые металлы, на семенное потомство лебеды раскидистой // *Физиология растений*, 2012, Т 59, № 2, С. 238–243 doi.10.7868/s0869803116050040
8. Лянгузова И. В., Комалетдинова Э. М. Влияние загрязнения почвы никелем и медью на всхожесть семян и развитие всходов трех видов р. *Vaccinium* L. в условиях вегетационного опыта // *Растительные ресурсы*. 2003. Т. 39, № 3. С. 88—92
9. Журавская А.Н., Артамонова С.Ю., Филиппова Г.В. Радионуклиды и тяжелые металлы в системе «радиоактивные отвалы, грунт, растение» и их влияние на семенное потомство ольховника кустарникового (*Dushekia fruticosa* (Rupr) Pouzar) // *сибирский экологический журнал*, № 2, 2012г. С. 295-303 doi.10.7868/s0869803116050040
10. Siedlecka, A., Some aspects of interactions between heavy metals and plant mineral nutrients. *Acta Soc. Bot. Pol.*, 1995, V. 64, P. 65–272. doi.10.5586/asbp.1995.035
11. Lindsay, W. L., Zinc in soils and plant nutrition. *Adv. Agron.*, 1972. Т. 24, 147 p.
12. Хантемирова Е. В. Реакция травянистой растительности на выбросы медеплавильного завода (ценогические и популяционные аспекты): автореф. канд. биол. наук. Екатеринбург, 1997. 27 с.
13. Прокопьев И.А., Филиппова Г.В., Шеин А.А., Габьшев Д.В. Влияние городского техногенного загрязнения на морфологические, биохимические характеристики и семенную продуктивность ромашки аптечной // *Экология*. 2014. № 1. С. 22–29. doi. 10.7868/s0367059713060097

14. Комалетдинова Э. М., Лянгузова И. В. Жизнеспособность семян трех видов р. *Vaccinium* в условиях промышленного загрязнения // Экологическая ботаника: наука, образование, прикл. аспекты : междунар. науч. конф. : тез. докл. Сыктывкар, 2002. С. 135—136.
15. Лянгузова И. В., Мазная Е. А. Влияние атмосферного загрязнения на репродуктивную способность дикорастущих ягодных кустарничков сосновых лесов Кольского полуострова // Растительные ресурсы. 1996. Т. 32, № 4. С. 14—22.
16. Васильев Д.В., Анисимов В.С., Анисимова Л.Н., Фригидова Л.М., Фригидов Р.А. Влияние загрязнения почв цинком на ячмень сорта Зазерский 85 и его семенное потомство // Агрохимия. 2019. № 8. С. 60-69. doi.10.1134/s000218811908012x
17. Grant W.F., Owens E.T. Lycopersicon assays of chemical/radiation genotoxicity for the study of environmental mutagenesis // Mutation research. 2002. V. 511. Suppl. 3. P. 207-237. doi.10.1016/s1383-5742(02)00011-x
18. Егоркина Г.И., Валетова Е.А. Цитогенетическое изучение сосны обыкновенной в городских лесах г. Бийска // Ползуновский вестник, 2004, № 2. - С.110-П5
19. Машкина О. С., Калаев В. Н., Мурая Л. С., Леликова Е. С. Цитогенетические реакции семенного потомства сосны обыкновенной на комбинированное антропогенное загрязнение в районе Новолипецкого металлургического комбината // Экологическая генетика, том VII, № 3, 2009г., С. 17-29.
20. Вострикова Т.В. Эколого-физиологическая реакция семенного потомства древесных растений на стресс // Вестник ВГУ, серия: география. геоэкология, 2010, № 1, с. 87-91 doi.10.17308/geology.2018.1/1469
21. ГН 2.1.7.2511-09 «Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве». Москва, 2009. С. 1 – 6.
22. Фогель Ф., Мотульски А. Генетика человека. 1990. Т. 2., Москва: Мир, 378 с.
23. Geraskin S.A., Dikarev V.G., Dikareva N.S., Vasiliyev D.V., Oudalova A.A., Alexakhin R.M., Zimina L.M., Zimin V.L., Blinova L.D. Bioindication of the anthropogenic effects on micropopulations of pinus sylvestris, l. in the vicinity of a plant for the storage and processing of radioactive waste and in the Chernobyl NPP zone // Journal of Environmental Radioactivity. 2003. Т. 66. № 1 – 2. pp. 171 – 180. doi.10.1016/s0265-931x(02)00122-4
24. Гераськин С.А., Сарапульцева Е.И. Цаценко Л.В. Глазер В.М. Абишев С.К. Смирнова С.Г. Замулаева И.А. Комарова Л.Н. Степченкова Е.И. Инге-Вечтомов С.Г. Ким А.И. Крутенко Д.В. Евсеева Т.И. Михайлова Г.Ф. Амосова Н.В. Биологический контроль окружающей среды: генетический мониторинг М.: Академия, 2010. 208 с.