

Васильев Денис Владимирович,
Старший научный сотрудник, кандидат биологических наук,
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии
и агроэкологии национального исследовательского
центра «Курчатовский институт»
Vasiliev Denis Vladimirovich,
Senior Researcher, PhD in Biology,
Federal State Budgetary Institution "All-Russian Research Institut
of Radiology and Agroecology of the National Research
Center "Kurchatov Institute"

**ПОСЛЕДСТВИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
У ПРОРОСТКОВ И СЕМЕННОГО ПОТОМСТВА ЯЧМЕНЯ
EFFECTS OF HEAVY METAL EXPOSURE IN BARLEY
SEEDLINGS AND SEED PROGENY**

Аннотация. Изучено влияние свинца и цинка на ячмень. Загрязнение тяжелыми металлами негативно влияет на урожайность, качество семян и их генетическую стабильность, особенно на ранних стадиях. 2% раствор нитрата свинца значительно снижает всхожесть семян и активность клеточного деления. При низком содержании цинка в почве (менее чем в два раза ОДК) всхожесть семенного потомства повышается, но при его увеличении в 4–9 раз качество и жизнеспособность семян снижаются.

Abstract. The effect of lead and zinc on barley has been studied. Heavy metal pollution negatively affects crop yields, seed quality, and their genetic stability, especially in the early stages. A 2% solution of lead nitrate significantly reduces seed germination and cell division activity. With a low zinc content in the soil (less than two times the ODC), the germination of seed progeny increases, but with a 4-9-fold increase, the quality and viability of seeds decrease.

Ключевые слова: Ячмень, семена, свинец, цинк, всхожесть, цитогенетика.

Keywords: Barley, seeds, lead, zinc, germination, cytogenetics.

Загрязнение почв тяжёлыми металлами (ТМ) – это серьёзная экологическая проблема, существенно влияющая на эффективность и развитие сельского хозяйства. В России площадь земель, загрязнённых ТМ, превышает 3,6 млн гектаров, что подчёркивает важность изучения воздействия этих элементов на растения и их потомство. Особенно опасными являются цинк и свинец, которые относятся к первому классу опасности и могут вызывать токсическое воздействие на растения даже при низких концентрациях.

Исследования показывают, что загрязнение почв ТМ может вызывать нарушения в морфофизиологических и цитогенетических параметрах растений. При этом реакция растений на ТМ зависит от типа почвы, концентрации металла и стадии их развития. В отношении репродуктивной функции растений тяжёлые металлы могут негативно влиять на качество семян, их всхожесть и генетическую стабильность. Это требует проведения детальных исследований в данной области.

Целью этого исследования было изучить влияние свинца на морфофизиологические и цитогенетические параметры прорастающих семян ярового ячменя, а также оценка воздействия цинка на качество, жизнеспособность и генетическую стабильность семенного потомства ячменя, выращенного на разных типах почв.



Материалы и методы исследования. Для изучения влияния свинца на прорастающие семена ярового ячменя был использован 2% раствор $Pb(NO_3)_2$. Семена сорта Нур первой репродукции 2022 года проращивались в чашках Петри с добавлением раствора свинца. Контроль включал семена, проращиваемые в дистиллированной воде.

Для оценки воздействия цинка на семенное потомство ячменя сорта «Зазерский–85» были использованы дерново-подзолистая супесчаная окультуренная почва, чернозем типичный тяжелосуглинистый и болотная низинная почва. Водный раствор нитрата цинка ($Zn(NO_3)_2$) вносился в концентрациях: 250; 150; 100; 50; 25 миллиграмм на килограмм воздушно-сухой дерново-подзолистой супесчаной окультуренной почвы; 750; 500; 250; 100; 50 миллиграмм на килограмм воздушно-сухого чернозема типичного тяжелосуглинистого; 1000; 500; 250 миллиграмм на килограмм воздушно-сухой болотной низинной почвы. Семена для анализа качества семенного потомства отбирались из урожая ячменя, выращенного на этих почвах.

Проращивание семян проводилось в термостате MIR-253 («Sanyo», Япония) при постоянной температуре +20 °С. Всхожесть семян определялась на 7-е сутки после начала проращивания.

Для цитогенетического анализа из корешков проростков длиной около 1 см готовились временные давленные препараты окрашенные ацетоорсеином. Для анализа было рассмотрено от 3 до 6 тысяч анафаз на каждый вариант. При подсчете клеток с аномалиями митоза клетки с неразличимыми нарушениями исключались из анализа.

Митотическая активность рассчитывалась как соотношение числа делящихся клеток к общему количеству клеток, включая интерфазные.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием MS Excel. Оптимальный объем выборки определялся методом статистического анализа эмпирических распределений. Экспериментальные данные проверялись на нормальное распределение с помощью критерия Колмогорова–Смирнова и на наличие выбросов по Q-критерию Диксона. При нормальном распределении данных значимость различий между вариантами определялась с помощью критерия Стьюдента, в противном случае использовался U-критерий Манна-Уитни.

Результаты исследования и обсуждение. Всхожесть семян является важным показателем их качества. Ячмень, выращенный на почвах с повышенным содержанием цинка, демонстрирует снижение всхожести (коэффициент корреляции варьируется от 0,51 до 0,59) при увеличении концентрации металла в трех типах почв. Тем не менее, малые дозы цинка (от 25 до 250 мг на килограмм воздушно-сухой почвы) могут положительно влиять на всхожесть семян. Этот эффект особенно заметен у потомства ячменя, выращенного на дерново-подзолистых и торфяных почвах, и подтверждается статистическими данными. Улучшение всхожести на слабозагрязненных почвах объясняется тем, что цинк является необходимым микроэлементом для ячменя, который влияет на развитие его генеративных органов [1].

Кроме того, исследования продемонстрировали, что тяжелые металлы способны снижать митотическую активность клеток. Например, под воздействием 2% раствора $Pb(NO_3)_2$ было зафиксировано значительное снижение митотической активности, что указывает на негативное влияние свинца на клеточные процессы (рисунок 1).



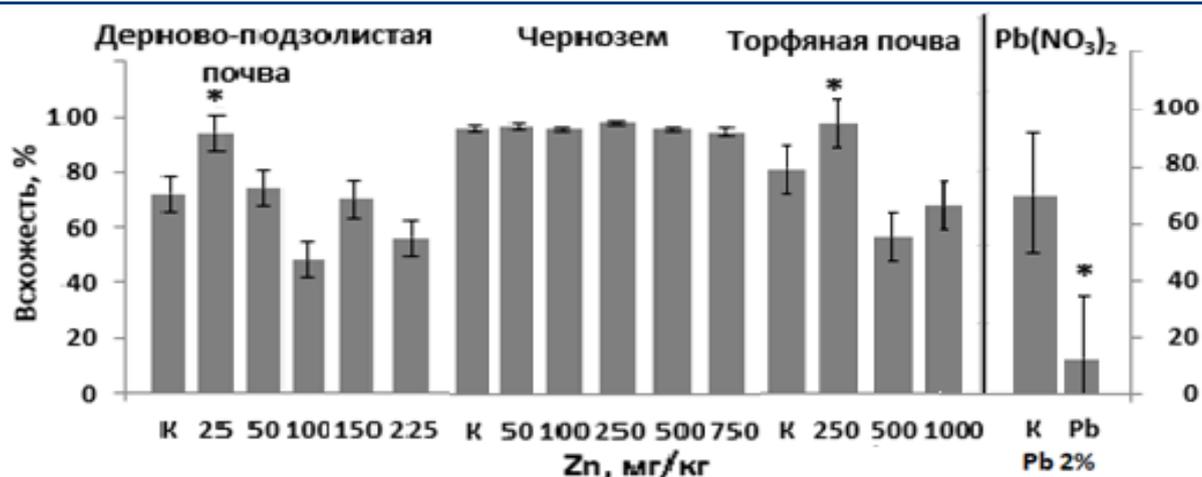


Рисунок 1. Всхожесть семян ячменя.

Примечание. * – отличие от контроля статистически значимо.

Начальные проявления влияния ТМ на потомство растений наблюдаются на субклеточном уровне. Данные цитогенетического анализа демонстрируют статистически значимое ($p < 0.05$) повышение частоты цитогенетических аномалий в корневой меристеме проросших семян при воздействии свинца (рис. 1).

Обнаружено статистически значимое ($p < 0.05$) увеличение частоты цитогенетических аномалий в корневой меристеме семян, произошедших от растений, выращенных на чернозёме и дерново-подзолистой почве с повышенным содержанием цинка (в 4–7 раз выше значений ОДК для этих типов почв) [2]. На торфянистой болотной почве также наблюдается тенденция к росту числа цитогенетических нарушений при концентрациях цинка, превышающих значения ОДК в 9 раз (рисунок 2). Следует подчеркнуть, что на дерново-подзолистых почвах частота цитогенетических нарушений возрастает при меньших концентрациях цинка, чем на чернозёме или торфяной почве, что связано с более высокой доступностью этого микроэлемента для растений.

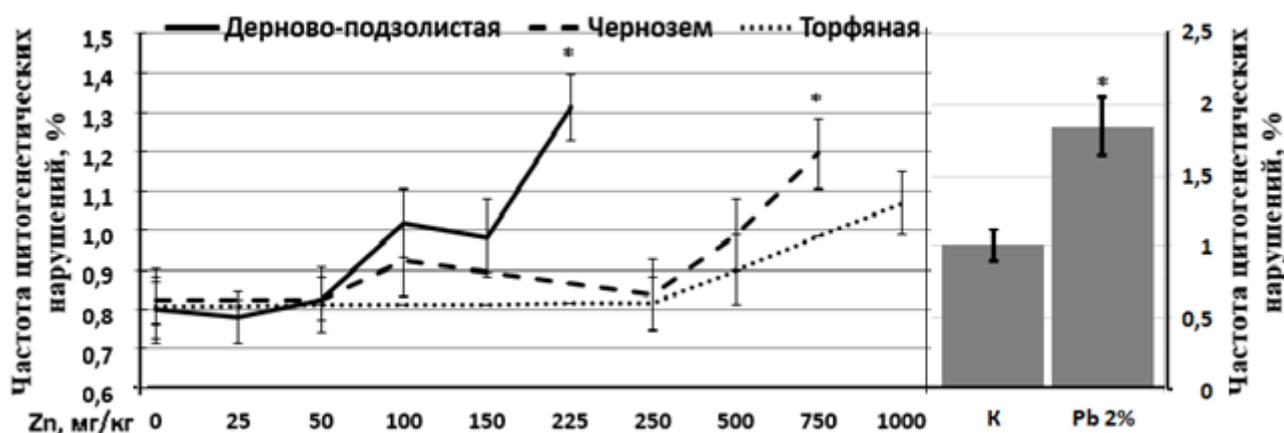


Рисунок 2. Частота цитогенетических нарушений. * – отличие статистически значимо

Определение основного генотоксичного фактора является ключевой задачей полевых исследований. В цитогенетических опытах можно сделать предположение о том, какой именно агент вызвал увеличение частоты aberrаций, на основе анализа спектра нарушений [3]. Известно, что тяжелые металлы часто приводят к росту доли aberrаций, вызванных сбоями в работе митотического аппарата [4]. Исследование спектра нарушений показало, что повышение



концентрации цинка в почве способствует увеличению числа аберраций, связанных с дефектами митотического аппарата. Статистически значимое изменение наблюдалось на дерново-подзолистой почве уже при концентрации цинка 250 мг/кг. Аналогичную тенденцию можно отметить и при воздействии свинца.

Выводы. Исследование выявило, что стрессовые факторы, связанные с загрязнением почвы тяжелыми металлами, существенно влияют на развитие растений и качество их семян. Было обнаружено, что 2% раствор нитрата свинца значительно снижает всхожесть семян и активность клеточного деления.

Установлено, что высокие концентрации цинка, превышающие ОДК в 4-9 раз, негативно сказываются на семенах ячменя, увеличивая частоту генетических нарушений и уменьшая всхожесть. Однако небольшие дозы цинка, напротив, могут способствовать повышению всхожести, так как цинк является важным микроэлементом для растений.

Эти результаты подчеркивают необходимость разработки оптимальных стандартов содержания тяжелых металлов в сельскохозяйственных почвах для поддержания генетической устойчивости и жизнеспособности культурных растений.

Список литературы:

1. Štofejová, L.; Fazekaš, J.; Fazekašová, D. Analysis of Heavy Metal Content in Soil and Plants in the Dumping Ground of Magnesite Mining Factory Jelšava-Lubeník (Slovakia). Sustainability 2021, 13, pp. 2-13.
2. Алексахин Р.М., Фесенко С.В., Гераськин С.А., Филипас А.С., Удалова А.А., Анисимов В.С., Селезнева Е.М., Ульяненко Л.Н., Круглов С.В., Мирзоев Э.Б., Белова Н.В., Бакалова О.Н., Дикарев В.Г., Исамов Н.Н. Методика оценки экологических последствий техногенного загрязнения агроэкосистем. М., 2004.
3. Larcher, W. Physiological Plant Ecology / W. Larcher. Springer 2003. P. 513.
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.

