

УДК 546.73:632.1:546.815:633.16

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ КОБАЛЬТА НА СНИЖЕНИЕ ФИТО- И ЦИТОТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ИОНОВ СВИНЦА НА ПРОРОСТКИ ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО

© 2022 г. Н. В. Амосова^{1,*}, Л. Н. Комарова¹, Е. Р. Ляпунова¹,
Л. Н. Ульяненко¹, О. А. Мирзеабасов¹

¹ Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Обнинский институт атомной энергетики
249039 Обнинск, Калужская обл., тер. Студгородок, 1, Россия

*E-mail: amosovan@yandex.ru

Поступила в редакцию 30.08.2021 г.

После доработки 19.10.2021 г.

Принята к публикации 15.12.2021 г.

Изучено фитотоксическое и мутагенное действие ионов свинца и кобальта на проростки ячменя ярового сорта Жозефин. Оценена возможность снижения негативных эффектов влияния свинца при совместном присутствии в растворе для проращивания семян ионов кобальта. Семена ячменя (по 50 шт.) помещали в чашки Петри и замачивали в растворах гидроксида свинца ($Pb(OH)_2$) в концентрациях, соответствующих 0.1 ПДК для питьевой воды (0.0005 мг/л), 1 ПДК, 10 ПДК и 100 ПДК. Проращивание семян осуществляли в термостате при температуре 25°C в течение 2-х сут. Таким же образом проводили замачивание семян в растворах гидроксида кобальта ($Co(OH)_2$) в концентрациях, соответствующих 0.1 ПДК (0.001 г/л), 1 ПДК, 10 ПДК и 100 ПДК. При оценке совместного действия ионов тяжелых металлов раствор для замачивания семян содержал Pb^{2+} и Co^{2+} в концентрациях, соответствующих одним и тем же величинам ПДК. Повторность опыта четырехкратная. Критериями проявления фито- и цитотоксичности служили показатели энергии прорастания семян, частоты aberrантных клеток и митотический индекс – доля делящихся клеток от общего числа проанализированных. Полученные результаты сравнивали с результатами в контроле, где семена проращивали в дистиллированной воде. Содержание ионов свинца в растворе для проращивания семян ячменя приводило к значимому ($p < 0.05$) снижению энергии прорастания, уменьшению величины митотического индекса и увеличению частоты aberrантных клеток по сравнению с контролем уже при концентрации металла, равной 0.1 ПДК для питьевой воды. Присутствие ионов кобальта в растворе для проращивания семян также приводило к изменениям величины этих показателей, однако значимыми отличия с контролем были отмечены при концентрации ионов, равной 1 ПДК. Выявлено снижение негативных эффектов свинца при совместном его присутствии в растворе с ионами кобальта. При этом, чем больше была концентрация ионов тяжелых металлов, тем сильнее проявлялся компенсирующий эффект Co^{2+} . Установлено, что в присутствии ионов свинца количественный выход aberrантных клеток на единицу концентрации был в 2.14 раза больше по сравнению с совместным присутствием ионов двух металлов. Коэффициенты антагонизма, рассчитанные по показателю aberrантных клеток при раздельном и совместном присутствии металлов при концентрациях, равных 0.1, 1 и 10 ПДК, равнялись 0.19, 0.35 и 0.41. Высказано предположение о возможности использования кобальтсодержащих агрохимикатов (регуляторов роста растений, биодобавок, комплексных удобрений) в качестве агентов, снижающих токсическое действие тяжелых металлов, в частности, свинца.

Ключевые слова: ячмень, свинец, кобальт, фитотоксичность, мутагенность, сочетанное действие.

DOI: 10.31857/S0002188122030036

ВВЕДЕНИЕ

Различные виды современного производства (промышленные предприятия, теплоэлектростанции, автотранспорт, добыча полезных ископаемых и др.) являются мощными источниками загрязнения биосферы тяжелыми металлами (ТМ) [1]. Многие из них негативно влияют на жи-

вые организмы, и степень этого влияния необходимо оценивать, особенно в случаях, когда это касается вопросов качества продовольствия, например, при производстве сельскохозяйственной продукции [2]. Поглощение ионов ТМ из почвы или питательного раствора корневыми системами и транспорт через мембраны клеток осуществ-

ляется разными путями. Ионы ТМ поступают в основном путем пассивной диффузии, а конкуренция ионов в значительной мере может быть предсказана, исходя из их физико-химических характеристик и параметров среды, из которой ионы поступают в растение [3].

Свинец широко распространен в компонентах среды [4], относится к 1-му классу опасности по классификации Международного комитета по проблемам окружающей среды. Вещества этого класса оказывают чрезвычайно вредное воздействие на окружающую среду, самостоятельно не разлагаются. Из атмосферы свинец чаще всего в форме оксидов попадает в почву, где постепенно растворяется, переходя в гидроксиды, карбонаты или катионную форму. Механизм транспорта по ксилеме растений для ионов Pb, Zn, Mg и Co имеет общий характер [5]. По данным литературы, свинец связывается с сульфгидрильными группами ферментов и подавляет их активность или может замещать другие металлы, являющиеся кофакторами важных ферментов, что также приводит к подавлению их активности [6]. Несмотря на имеющиеся в литературе данные, биологическая роль свинца в жизнедеятельности организмов пока не доказана [7].

Кобальт относится к числу металлов с потенциальными мутагенными и канцерогенными свойствами [8], относится ко 2-му классу опасности. Вещества этого класса сильно нарушают экосистему, разлагаются более 30 лет. Вместе с тем в ионной форме Co в живых организмах участвует во многих неспецифических биохимических реакциях (карбоксилирования и декарбоксилирования, гидролиза пептидных связей, гидролиза фосфорных эфиров, переноса фосфатных групп), активируемых Mn, Mg, Zn, Ni, Fe, Ca и может быть заменен ионами этих металлов. Через влияние на ферментные системы кобальт участвует в обмене амидов в растениях, регулирует нуклеиновый обмен, активирует фотохимическую активность хлоропластов, а также стимулирует клеточную репродукцию листьев растений [9]. Кроме того, он участвует в гормональной регуляции [10] и способен усиливать действие ауксина, стимулирующего процессы растяжения и деления клеток.

Сочетанное содержание 2-х или нескольких металлов может оказывать на живые организмы отличные как по силе воздействия, так и его направленности эффекты. Например, при сочетанном действии таких пар металлов как Zn и Co, Cr и Co, Co и Cu в низких концентрациях ($n \times 10^{-6}$ – $n \times 10^{-4}$ М) на клетки ряски малой (*Lemna minor* L.) отмечены антагонистические токсические эффекты по сравнению с их индивидуальным воз-

действием [11], что объясняется физико-химическими свойствами металлов (ионный радиус, степень окисления) и их конкуренцией за места связывания в молекулах и путем поступления в клетку. К сожалению, исследования на сельскохозяйственных культурах (или семенах сельскохозяйственных культур) малочисленны, используемые сочетания элементов носят во многом теоретический характер, а выбранные концентрации в экспериментальных исследованиях не привязаны к реальным загрязнениям хозяйственной сферы [12].

Для снижения негативных последствий действия ТМ все шире применяют препараты, обладающие полифункциональными свойствами и оказывающие влияние не только на ростовые процессы, но и на устойчивость растений к различным стресс-факторам внешней среды [13]. Такие вещества, как правило, обладают физиологической активностью и, различаясь по цели действия и/или способу применения, воздействуют на физиологические и метаболические процессы в растениях, способствуют реализации генетического потенциала и лучшему усвоению питательных веществ. К одним из таких веществ относят кобальтсодержащие удобрения (сернокислый кобальт $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (20–21%), хлористый кобальт $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (24.8%), нитрат кобальта $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (20.3%) [14] или комплексные удобрения, содержащие кобальт в хелатной форме. Ранее в наших работах [15, 16] были рассмотрены вопросы полиэлементного воздействия ионов ТМ и оценены риски с учетом возможного взаимовлияния металлов и развития процессов синергизма или антагонизма. Однако сведения о том, как действуют ионы свинца в концентрациях, соответствующих разным величинам ПДК, в присутствии ионов кобальта на развитие проростков семян ячменя и цитогенетические показатели в доступной литературе отсутствуют [17].

Цель работы – изучение влияния ионов свинца в различных концентрациях на морфофункциональные и цитогенетические показатели проростков ячменя ярового пивоваренного сорта Жозефин и оценка возможности модификации негативных эффектов за счет влияния ионов кобальта.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования был выбран ячмень яровой (*Hordeum vulgare* L.), сорт Жозефин (пивоваренный), включенный в Государственный реестр в 2008 г., заявитель – селекционно-семеноводческая фирма “Secobra Recherches”, Франция.

Токсические агенты – соединения свинца и кобальта. Для оценки токсического действия ионов свинца семена ячменя (по 50 шт.) помещали в чашки Петри и замачивали в 30 мл раствора гидроксида свинца $Pb(OH)_2$ в концентрациях, соответствующих 0.1 ПДК для питьевой воды (0.0005 мг/л), 1 ПДК (0.005 г/л), 10 ПДК (0.05 г/л) и 100 ПДК (0.5 г/л). Проращивание семян осуществляли в термостате при температуре 25°C в течение 2-х сут. Таким же образом проводили замачивание семян в растворах гидроксида кобальта $Co(OH)_2$ в концентрациях 0.001 г/л – 0.1 ПДК, 0.01 г/л – 1 ПДК, 0.1 г/л – 10 ПДК и 1 г/л – 100 ПДК. Для оценки совместного действия ионов металлов раствор для замачивания семян готовили с добавлением гидроксидов свинца и кобальта в концентрациях, соответствующих одним и тем же величинам ПДК для питьевой воды. Повторность опыта четырехкратная.

Эффект воздействия ионов свинца и кобальта на развитие проростков ячменя при их отдельном или совместном присутствии в растворе для замачивания семян определяли по фитотоксическим показателям (морфометрическим – энергии прорастания (ЭП), выраженной как доля семян (%), давших корни, равные половине длины семени, и проростки на 2-е сут проращивания) и цитотоксическим (по частоте aberrantных клеток (ЧАК) – отношении суммы ана- и телофазных клеток, в которых были зарегистрированы нарушения, к общему числу проанализированных ана-телофаз первого деления меристематических клеток корневой меристемы проростков), митотическому индексу (МИ) – доле делящихся клеток (%) от общего числа проанализированных) показателям. Показатели ЧАК и МИ в клетках корневой меристемы проростков ячменя оценивали через 48 ч проращивания семян, когда длина проростков достигала 5–10 мм. Образцы фиксировали в уксусном спирте (3 : 1). Цитогенетический анализ проводили в ана-телофазах на временных давленных препаратах, окрашенных ацетокармином. Давленные препараты просматривали под микроскопом при увеличении $\times 400$. В каждом варианте анализировали от 900 до 1500 ана-телофаз. Влияние ионов металлов на развитие проростков оценивали по отклонению усредненных для варианта величин соответствующих показателей от их величин в контроле, где семена проращивали в дистиллированной воде. Для обработки результатов использовали стандартные статистические методы анализа данных [18]. Для проверки соответствия распределений измеренных параметров нормальному закону применялся критерий Шапиро–Уилка.

Коэффициент антагонизма (АК) рассчитывали по формуле [19]:

$$AK = S_{Me1+Me2}/S_{Me1} + S_{Me2},$$

где $S_{Me1 + Me2}$ – доля aberrantных клеток при совместном действии 2-х металлов за вычетом величины спонтанного фона aberrantных клеток (доля aberrantных клеток в контроле), S_{Me1} и S_{Me2} – доля aberrantных клеток при действии одного из металлов за вычетом величины спонтанного фона aberrantных клеток (доля aberrantных клеток в контроле).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Замачивание семян ячменя в растворе, содержащем ионы свинца, приводило к разным по величине эффектам. Отмечено значимое ($p < 0.05$) снижение энергии прорастания семян и митотического индекса при концентрации ионов свинца в растворах для проращивания, равных 0.1–10 ПДК: при концентрации Pb^{2+} 0.05 г/л (10 ПДК) ЭП уменьшилась в 3.9 раза по сравнению с контролем (рис. 1а), МИ – в 3.8 раза (рис. 1б), ЧАК увеличилась в 9.5 раза (рис. 2). При концентрации ионов свинца 1 г/л (100 ПДК) семена не прорастали вовсе. Установлено [20], что свинец в основном накапливается в корнях растений и негативно влияет на процессы деления клеток, вызывая тем самым хромосомные aberrantии. Высокие концентрации металла нарушают процессы фотосинтеза и приводят к выраженному торможению роста и развития проростков ячменя [21].

Содержание ионов кобальта в растворе для проращивания семян ячменя вызывало разнонаправленные эффекты в зависимости от концентрации ионов. Например, выраженные фито- и цитотоксические эффекты отмечены при концентрации ионов, соответствующих 10 и 100 ПДК (различия с контролем были значимы при $p < 0.05$). Известно, что повышенные концентрации кобальта приводят к токсическим эффектам, которые связаны с развитием окислительного стресса, угнетением процессов ассимиляции и трансляционного аппарата [22]. Цитологический эффект от действия ионов металла можно представить как подавление митоза и повреждение хромосом, о чем свидетельствовали и наши данные. Вместе с тем при проращивании семян ячменя в растворе, содержащем ионы кобальта в концентрации 0.01 г/л (1 ПДК для питьевой воды), их скорость прорастания возрастала на 11.4% (рис. 1а) и достоверно отличалась от контрольных величин. Также увеличился МИ на 32.5% (в контроле МИ составил 8%, а при добавлении в раствор ионов кобальта – 10.6%, рис. 1б), ЧАК оста-

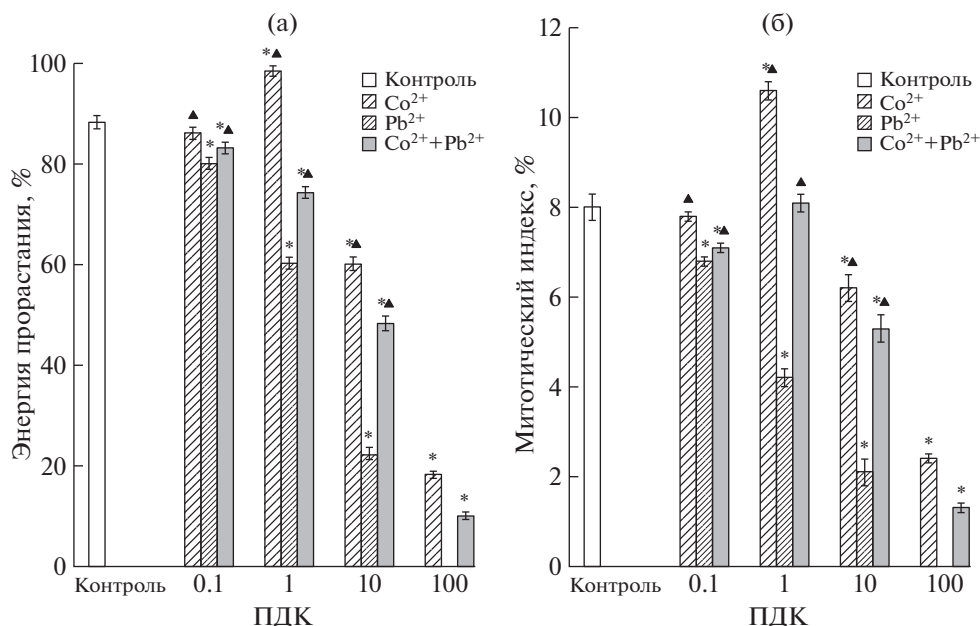


Рис. 1. Действие ионов кобальта и свинца в различных концентрациях на скорость прорастания семян (а) и деление клеток корневой меристемы (б) проростков ячменя сорта Жозефин. * – Различия с контролем значимы при $p < 0.05$, 1 ПДК (для питьевой воды) для Co^{2+} равна 0.01 г/л, для Pb^{2+} – 0.005 г/л, ▲ – различия с вариантом Pb^{2+} значимы при $p < 0.05$.

вался на уровне контроля (рис. 2). Можно предположить, что при данной концентрации ионов кобальта происходила активация ферментов, участвующих в матричном синтезе и в синтезе

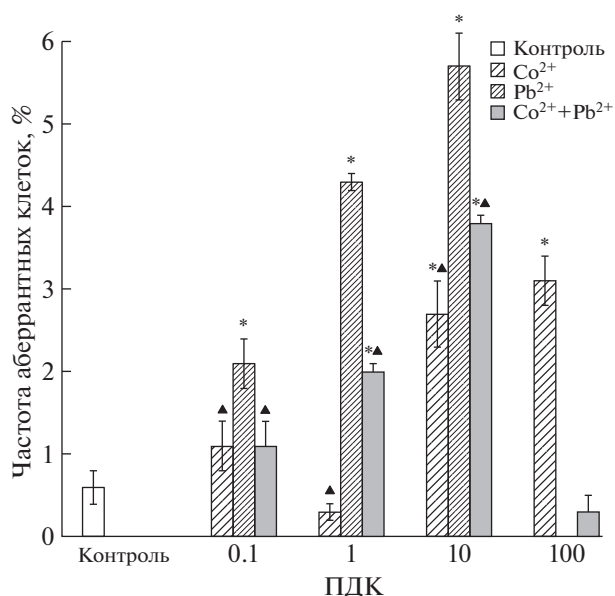


Рис. 2. Действие ионов кобальта и свинца в различных концентрациях на частоту хромосомных aberrаций в клетках корневой меристемы проростков ячменя сорта Жозефин. Данные по влиянию свинца на показатель ЧАК при концентрации ионов свинца 1 г/л (100 ПДК) отсутствуют, т.к. семена не проросли и провести анализ было невозможно.

биологически активного вещества – кобаламина, что и приводило к стимулирующим эффектам [9].

Проращивание семян ячменя, в растворе, содержащем одновременно ионы свинца и кобальта, приводило к снижению негативного эффекта, обусловленного повышенным содержанием ионов свинца. Выявлено, что присутствие ионов кобальта в концентрациях 1 и 10 ПДК в растворе совместно с ионами свинца в тех же в концентрациях по ПДК, приводило к значимому повышению ЭП (с 60.3 в варианте Pb^{2+} до 74.3% и с 22.2 до 48.2% соответственно) (рис. 1а). Если при проращивании семян ячменя в растворе, содержавшем Pb^{2+} в концентрации, соответствующей 100 ПДК, отмечено резкое торможение развития проростков (ЭП = 0), то при добавлении ионов кобальта в раствор в концентрации, соответствующей тем же величинам ПДК, ЭП составила 10.1%.

Такая же тенденция к подавлению негативного эффекта, обусловленного ионами свинца при совместном присутствии ионов кобальта, прослежена для показателей МИ и ЧАК. При концентрации ионов металлов, равной 0.1 ПДК, наблюдали незначительное повышение МИ с 6.8% в варианте Pb^{2+} до 7.1% в варианте их совместного присутствия (рис. 1б, 2), но при увеличении концентрации Co^{2+} до 1, 10 и 100 ПДК снижение негативного эффекта ионов свинца было более выра-

женным и МИ увеличивался в 1.9 и 2.5 раза, при концентрации Pb^{2+} 100 ПДК МИ был равен 1.3%.

Рассчитанные величины коэффициентов антагонизма (по показателям ЧАК) при совместном воздействии ионов свинца и кобальта в концентрациях, равных 0.1–10 ПДК для питьевой воды, составили соответственно 0.19, 0.35 и 0.41.

Показано, что в зависимости от концентрации ионов свинца количество аберрантных клеток увеличивалось, что описывалось уравнением линейной регрессии как в варианте Pb^{2+} ($y = 0.2793x + 3.0$), так и при совместном содержании свинца и кобальта в растворе для проращивания семян ($y = 0.2432x + 1.4$), где y – величина ЧАК, а x – концентрация ионов металлов в ПДК для питьевой воды. Коэффициент аппроксимации R^2 для варианта Pb^{2+} составил 0.71, для варианта ($Pb^{2+} + Co^{2+}$) – 0.94. При описании дозовых зависимостей линейными уравнениями ($y = a + bx$) угловой коэффициент b отражал прирост эффекта на единицу концентрации агента. Сравнение угловых коэффициентов b 2-х дозовых зависимостей, полученных для разных типов воздействий, показал, на сколько одно из них более выражено по отношению к другому. Полученные результаты свидетельствовали о том, что при содержании ионов свинца количественный выход аберрантных клеток на единицу концентрации был в 2.14 раза больше по сравнению с совместным присутствием ионов двух металлов.

Одним из источников поступления тяжелых металлов (ТМ) в почву являются агротехнические мероприятия, направленные на повышение урожайности сельскохозяйственных культур (внесение удобрений, пестицидов, использование сточных вод для орошения). В процессе роста растений в зонах деления и растяжения корня отсутствуют физиологические барьеры для передвижения ТМ, поэтому ткани апикального участка накапливают их ионы, что является одной из причин ристингибирующего действия этих химических элементов [23], повреждения ядра [24], нарушения синтеза РНК и ингибирования активности рибонуклеазы [25].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные результаты исследования, проведенного на проростках ячменя ярового пивоваренного сорта Жозефин, показали негативное влияние высоких концентраций ионов свинца на скорость прорастания семян, клеточное деление и структуру хромосом. Вместе с тем при совместном присутствии в растворе ионов свинца и кобальта происходило достоверное снижение частоты хромосомных аберраций. Позитивный

эффект ионов кобальта, вероятнее всего, был обусловлен увеличением экспрессии генов, контролирующих в клетках апикальной меристемы повышенный синтез белков, подобных лактоферрину или трансферрину, способных инактивировать действие ионов свинца.

Коэффициент антагонизма, рассчитанный по показателю аберрантных клеток при отдельном и совместном присутствии металлов в концентрациях, равных 0.1–10 ПДК для питьевой воды, менялся в пределах 0.19–0.41.

Полученные данные о снижении фитотоксичности одного металла в присутствии другого могут быть использованы в практических целях, а именно при разработке приемов регулирования поступления свинца в растения за счет использования кобальтсодержащих агрохимикатов на различных стадиях развития растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Злобина Н.Ю., Коношина С.Н. Антропогенное загрязнение биосферы тяжелыми металлами и способы его предотвращения // Сетевой научн. журн. ОрелГАУ. 2015. № 1 (4). С. 69–72.
2. Калоев Б.С., Кумсиев Э.И. Накопление и распределение ТМ в растениях в условиях естественного геохимического фона // Изв. Горск. ГАУ. 2014. Т. 51. № 3. С. 97–102.
3. Агаджанян Н.А., Скальный А.В. Химические элементы в среде обитания и экологический портрет человека. М.: КМК, 2001. 87 с.
4. Волошин Е.И. Аккумуляция кадмия и свинца в почвах и растениях // Агротехн. вестн. 2000. № 3. С. 23–26.
5. Wierzbicka M. Lead accumulation and its translocation barriers in roots of *Allium cepa* L. – autoradiographic and ultrastructural studies // Plant Cell Environ. 1987. V. 10. № 1. P. 17–26.
6. Dart R.C., Hurlbut K.M., Boyer-Hassen L.V. // Medical Toxicology (3rd ed.). Lippincott: Williams & Wilkins, 2004. 1426 p.
7. Emsley J. Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements. Oxford University, 2011. 699 p.
8. Nelwyn Y., Christie N.T., Costa M. In vitro assessment of the toxicity of metal compounds. Disposition of metals in cells: Interactions with membranes, glutathione, metallothionein, DNA // Biol. Trace Element Res. 1984. № 6. P. 139–158.
9. Ягодин Б.А., Виноградова С.Б., Говорина В.В. Кадмий в системе почва–удобрения–растения–животные организмы и человек // Агротехн. 1989. № 5. С. 118–130.
10. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 424 с.
11. Ince N.H., Dirilgen N., Apikyan I.G., Tezcanli G., Usttin B. Assessment of toxic interactions of heavy metals in binary mixtures: a statistical approach // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 1999. V. 36. P. 365–372.

12. *Гарипова Р.Ф.* Биотестирование и экоанализ в мониторинге территорий, подверженных микроэлементному загрязнению: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: Оренбург, 2011. 44 с.
13. *Минеев В.Г., Сычев Г.П., Гамзиков Г.П.* Агрехимия. М.: ВНИИА, 2017. 854 с.
14. *Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И.* Агрехимия. М.: Колос, 2002. 584 с.
15. *Synzynys B.I., Amosova N.V., Ulyanenko L.N.* Sensitivity of barley varieties to aluminum ions: separately effects and combine with iron ions // *Amer. J. Plant Sci.* 2013. № 4. P. 49–52.
16. *Ульяненко Л.Н., Рева Е.В., Сынзыныс Б.И.* Цитогенетические эффекты у *Allium cepa* L. при раздельном и сочетанном действии Cu, Zn и Ni // *Сел.-хоз. биол.* 2017. Т. 52. № 1. С. 183–190.
17. *Орлов Д.С., Малинина М.С., Мотузова Г.В.* Химическое загрязнение почв и их охрана. М.: Агропромиздат, 1991. 303 с.
18. *Губин В.И., Осташков В.Н.* Статистические методы обработки экспериментальных данных. Тюмень: Изд-во Тюм. ГНГУ, 2007. 202 с.
19. *Петин В.Г., Сынзыныс Б.И.* Комбинированное воздействие факторов окружающей среды на биологические системы. Обнинск: ИАТЭ, 1998. 71 с.
20. *Ильин Б.В.* Тяжелые металлы в системе почва–растение. Новосибирск: Наука, СО, 1991. 151 с.
21. *Титов А.Ф., Лайдинен Т.Ф., Казнина Н.М.* Влияние ионов свинца на рост и морфологические показатели растений ячменя и овса // *Физиол. и биол. культ. раст.* 2001. Т. 33. № 1. С. 33–37.
22. *Sharma V., Naugraiya M.N., Tomer G.S.* Toxic effects of cobalt, chromium, lead and nickel chloride on growth performance of siris (*Albizia* spp.) // *IJCS.* 2018. V. 6. № 2. С. 2407–2410.
23. *Серегин И.В.* Распределение ТМ в растениях и их действие на рост: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2009. 53 с.
24. *Liu D., Jiang W., Gao X.* Effects of cadmium on root growth, cell division and nucleoli in root tip cells of garlic // *Biol. Plant.* 2003/4. V. 47. № 1. P. 79–83.
25. *Shah K., Dubey R.S.* Cadmium elevates level of protein, amino acids and alters activity of proteolytic enzymes in germinating rice seeds // *Acta Physiol. Plant.* 1998. V. 20. № 2. P. 189–196.

Effect of Cobalt Ions on Reducing the Phyto- and Cytotoxic Effects of Lead Ions on Spring Barley Seedlings

N. V. Amosova^{a, #}, L. N. Komarova^a, E. R. Lyapunova^a,
L. N. Ulianenko^a, and O. A. Mirzeabasov^a

^a National Research Nuclear University “MIFI”, Obninsk Institute of Atomic Energy
ter. Studgorodok 1, Kaluga region, Obninsk 249039, Russia

[#]E-mail: amosovan@yandex.ru

Phytotoxic and mutagenic effects of lead and cobalt ions on the seedlings of spring barley Josephine have been studied. The possibility of reducing the negative effects of the influence of lead with the combined presence of cobalt ions in the seed germination solution was evaluated. Barley seeds (50 pieces each) were placed in Petri dishes and soaked in solutions of lead hydroxide (Pb(OH)₂) in concentrations corresponding to 0.1 MPC for drinking water (0.0005 mg/l), 1 MPC, 10 MPC and 100 MPC. Seed germination was carried out in a thermostat at a temperature of 25°C for 2 days. The seeds were soaked in cobalt hydroxide (Co(OH)₂) solutions in the same way 2) in concentrations corresponding to 0.1 MPC (0.001 g/l), 1 MPC, 10 MPC and 100 MPC. When assessing the combined action of heavy metal ions, the seed soaking solution contained Pb²⁺ and Co²⁺ in concentrations corresponding to the same MAC values. The repetition of the experience is four-fold. The criteria for the manifestation of phyto- and cytotoxicity were the indicators of seed germination energy, the frequency of aberrant cells and the mitotic index – the proportion of dividing cells from the total number of analyzed. The results obtained were compared with the results in the control, where the seeds were germinated in distilled water. The content of lead ions in the solution for germination of barley seeds led to a significant ($p < 0.05$) decrease in germination energy, a decrease in the mitotic index and an increase in the frequency of aberrant cells compared with the control already at a metal concentration equal to 0.1 MPC for drinking water. The presence of cobalt ions in the seed germination solution also led to changes in the values of these indicators, however, significant differences with the control were noted at an ion concentration equal to 1 MPC. A decrease in the negative effects of lead with its combined presence in solution with cobalt ions was revealed. At the same time, the higher the concentration of heavy metal ions, the stronger the compensating effect of Co²⁺ was manifested. It was found that in the presence of lead ions, the quantitative yield of aberrant cells per unit concentration was 2.14 times greater compared to the combined presence of ions of two metals. The antagonism coefficients calculated from the aberrant cell index in the presence of metals separately and jointly at concentrations equal to 0.1, 1 and 10 MPC were 0.19, 0.35 and 0.41. It is suggested that cobalt-containing agrochemicals (plant growth regulators, bioadditives, complex fertilizers) can be used as agents that reduce the toxic effect of heavy metals, in particular, lead.

Key words: barley, lead, cobalt, phytotoxicity, mutagenicity, combined effect,