

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ СВИНЦА В СИСТЕМЕ «ПОЧВА-РАСТЕНИЕ-ЖИВОТНОЕ»  
И РАЗРАБОТКА НАУЧНО ОБОСНОВАННЫХ ПРИЕМОМ ЕГО ДЕТОКСИКАЦИИ**

A.V. Sindireva, G.A. Maidanyuk

**ECOLOGICAL ASSESSMENT OF EFFECT OF LEAD IN SOIL-PLANT-ANIMAL SYSTEM AND DEVELOPMENT  
OF EVIDENCE-BASED RECEPTIONS OF ITS DETOXICATION**

**Синдирева А.В.** – д-р биол. наук, зав. каф. геоэкологии, Тюменского государственного университета, г. Тюмень. E-mail: sindireva72@mail.ru

**Майданюк Г.А.** – асп. экологии, природопользования и биологии Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина, г. Омск. E-mail: inviseble.89@mail.ru

**Sindireva A.V.** – Dr. Biol. Sci., Head, Chair of Geoecology, Tyumen State University, Tyumen. E-mail: sindireva72@mail.ru

**Maydanyuk G.A.** – Post-Graduate Student, Chair of Ecology, Environmental Management and Biology, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk. E-mail: inviseble.89@mail.ru

*Цель исследования – экологическая оценка действия свинца в системе «почва-растение-животное» и разработка научно обоснованных приемов детоксикации свинца путем обогащения кормов селеном. Объекты исследования: лабораторные животные – крысы линии Wistar, микроэлементы – свинец, селен, лугово-черноземная почва, столовая свекла и морковь. В целях моделирования поступления микроэлементов в животный организм были использованы корма, выращенные в условиях антропогенного загрязнения тяжелыми металлами. После уборки урожая полученные корма вводились в рацион лабораторных животных – крыс линии Wistar. Подопытные животные содержались на стандартном лабораторном рационе, ежесуточно в течение шести месяцев в рацион вводились столовая свекла, морковь, выращенные в полевых опытах с применением микроэлементов. Анализ содержания свинца в овощных культурах показал, что столовая свекла и морковь интенсивно аккумулируют эти элементы в условиях дополнительного поступления их в почву. При этом наблюдалась четкая закономерность при накоплении тяжелых металлов в корнеплодах исследуемых овощных культур: чем больше была доза вносимого в почву элемента, тем больше его содержание в корнеплодах. Для лабораторных исследований у животных контрольной и опытных групп был произведен забор крови из бедренной артерии, печени и почки под эфирным наркозом. Полученную кровь разделили на плазму и эритроцитарную массу. В плазме крови определили содержание общего белка и его фракций (альбумины и глобулины), глюкозы, молочной и мочевой кислот, мочевины, активность ферментов аланинаминотрансферазы, аспаратаминотрансферазы, содержание Ca и P. По результатам исследования отмечено накопление свинца в печени у животных и нарушение ее функций, в то же время применение селена способствует нормализации ряда показателей. Селен способен снижать содержание свинца в печени животных и способствует снижению токсического действия этого металла.*

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, селен, крысы, биохимия, общий белок, глюкоза, мочевая кислота, мочевина, молочная кислота, печень.

*The research objective was ecological assessment of the effect of lead in the system the soil-plant-animal and the development of evidence-based receptions of detoxication of lead by the enrichment of forages with selenium. The research objects were laboratory animals – rats of Wistar line, minerals – lead, selenium, meadow and chernozem soil, table beet and carrots. For modeling of receipt of minerals in animal organism the forages grown up in the conditions of anthropogenic pollution with heavy metals were used. After harvesting received forages were used for feeding laboratory animals, rats of Wistar line. Experimental animals kept on a standard laboratory diet, every day within six months table beet, carrots grown up in field experiments with application of minerals were added into their feeding. The analysis of the content of lead in vegetable cultures showed that table beet and carrots had intensively accumulated these elements in the conditions of additional receipt them to the soil. At the same time accurate regularity at accumulation of heavy metals in root crops of studied vegetable cultures was observed: the more there was a dose of the element brought in the soil, the more was its content in root crops. Blood sampling from femoral artery, liver and kidneys under a radio anesthesia was for laboratory researches in the animals of control and experimental groups. Received blood was divided into plasma and erythrocyte weight. In blood plasma the content of general protein and its fractions (albumine and globulins), glucose, dairy and uric acids, urea, activity of enzymes of alanineaminotransferase, aspartateaminotransferase, maintenance of Ca and P were determined. By the results of the research the accumulation of lead in the liver of animals and violation of its functions was noted, at the same time using selenium contributed to the normalization of a number of indicators. Selenium is capable of reducing the content of lead in the liver of animals and promotes decrease in toxic effect of this metal.*

**Keywords:** heavy metals, selenium, rats, biochemistry, general protein, glucose, uric acid, urea, lactic acid, liver.

**Введение.** В последние десятилетия среди наиболее опасных загрязнителей все чаще называют тяжелые металлы. Их миграция и перераспределение в компонентах экосистем зависят как от целого комплекса природных факторов, так и от интенсивности и характера техногенеза [1, 2].

Свинец является одним из наиболее токсичных металлов и включен в списки приоритетных загрязнителей рядом международных организаций, в том числе ВОЗ, ЮНЕП, Американским агентством по контролю за токсичными веществами и заболеваниями (CDC) и другими аналогичными государственными организациями в различных странах [3].

Селен – биологически активный микроэлемент, незаменимый для жизнедеятельности человека и животных. Нет другого минерала, который был бы столь жизненно важен для наших антиокислительных защитных механизмов. Когда у нас нет селена, то нет и глутатионпероксидазы – мощного антиокислительного фермента [4]. При этом речь идёт о тонкой регуляции жизнедеятельности клетки (обмен глюкозы, калиево-натриево-кальциевый обмен, ферментативные реакции) – от её энергетики до деления. Селен препятствует образованию свободных радикалов в крови и мешает разрушительному действию уже образовавшихся. Селен помогает выводить из организма ионы тяжёлых металлов [5–7].

**Цель работы.** Экологическая оценка действия свинца в системе «почва-растение-животное» и разработка научно обоснованных приемов детоксикации свинца путем обогащения кормов селеном.

**Объекты, методы и результаты исследований.** Объекты исследования: лабораторные животные – крысы линии Wistar, микроэлементы – свинец, селен, лугово-черноземная почва, столовая свекла и морковь.

Для моделирования поступления микроэлементов в животный организм были использованы корма, выращенные в условиях антропогенного загрязнения тяжёлыми металлами.

Полевой опыт проводился в мае 2015–2016 гг. Схема полевого опыта по оценке влияния Pb на урожайность и качество столовой свеклы и моркови следующая: 1. Фон. 2. Фон+ Pb 7кг/га (0,5 ПДК). 3. Фон+ Pb 14 кг/га (1 ПДК). 4. Фон+ Pb 28 кг/га (2 ПДК).

Проводимый опыт – однофакторный. Фактором, определяющим величину урожая в опыте, являлись различные дозы микроудобрений. Опыт является мелкоделяночным. Общая площадь делянки 1,0 м<sup>2</sup>. Полевой опыт заложен в четырехкратной повторности с систематической последовательностью размещения вариантов.

Внесение свинца осуществлялось до посева культуры. Предшественником столовой свеклы и моркови был чистый пар.

Дозы свинца рассчитаны с учетом установленных ПДК для подвижных форм их в почве. Использовали дозы, соответствующие 0,5; 1 и 2 ПДК.

В ходе исследований были проведены учеты и наблюдения за ростом и развитием растений, приурочен-

ные к основным фазам развития столовой свеклы и моркови.

Отбирали по 6 растений с каждой делянки для проведения биометрических измерений по следующим показателям: масса целых растений, длина надземной части каждого растения, масса листьев, масса плода. В растениях определяли сухое вещество весовым методом, дальше материал оставляли сушить для последующего определения тяжелых металлов. Содержание свинца определяли в ФГБУ ЦАС «Омский».

В сентябре 2015–2016 гг. года была организована уборка, проведена оценка биометрических показателей свеклы и моркови. Учет урожая проводили прямым поделочным взвешиванием. По окончании проводили статистическую обработку данных.

После уборки урожая полученные корма вводились в рацион лабораторных животных – крыс линии Wistar. Подопытные животные содержались на стандартном лабораторном рационе (Крючкова Г.М. и соавт., 1977), ежедневно в течение шести месяцев в рацион вводились столовая свекла, морковь, выращенные в полевых опытах с применением микроэлементов.

Подопытные животные контрольной группы содержались на стандартном лабораторном рационе. Животным 1-й опытной группы ежедневно в рацион вводились корма, обогащенные свинцом, животным 2-й опытной группы – корма, обогащенные свинцом, и раствор селенита натрия (доза селена 1 мг/кг). Животные 3-й группы получали стандартный лабораторный рацион и раствор селена. Кормление животных осуществлялось в течение 4 месяцев.

В качестве фактора, снижающего токсичность тяжёлых металлов, выбраны корма, обогащенные селеном.

**Биохимические исследования.** Для лабораторных исследований у животных контрольной и опытных групп был произведен забор крови из бедренной артерии, печени и почки под эфирным наркозом. Полученную кровь разделили на плазму и эритроцитарную массу. В плазме крови определили содержание общего белка и его фракций (альбумины и глобулины), глюкозы, молочной и мочевой кислот, мочевины, активность ферментов аланинаминотрансферазы, аспартатаминотрансферазы, содержание Са и Р.

**Статистические методы.** Математическая обработка результатов осуществлялась стандартными статистическими методами с использованием компьютерного пакета программ STATISTIKA, EXCEL.

Для того чтобы выявить содержание свинца в почве в условиях антропогенного влияния, были внесены в почву растворы с различной концентрацией микроэлементов (табл. 1).

Таблица 1

Содержание подвижного свинца в лугово-черноземной почве в зависимости от дозы его применения, мг/кг

Вариант	Свинец, мг/кг
Фон	1,36±0,01
Фон+Pb 0,5 ПДК	1,74±0,04
Фон+Pb 1 ПДК	2,10±0,02*
Фон+Pb 2 ПДК	2,25±0,02*
ПДК	6

\* Различия достоверны по отношению к фону.

Анализ содержания свинца в овощных культурах показал, что столовая свекла и морковь интенсивно аккумулируют эти элементы в условиях дополнительного поступления их в почву (табл. 2). При этом наблюдалась четкая закономерность при накоплении тяжелых металлов в корнеплодах исследуемых

овощных культур: чем больше была доза вносимого в почву элемента, тем больше его содержание в корнеплодах. В то же время накопление микроэлементов как в столовой свекле, так и в моркови не превышало установленных нормативов.

Таблица 2

Содержание свинца в корнеплодах моркови и свеклы, мг/кг

Вариант	Морковь	Свекла
Фон	0,43±0,02	0,46±0,01
Фон + Pb 0,5 ПДК	0,80±0,04*	0,78±0,04*
Фон + Pb 1 ПДК	0,83±0,03*	0,88±0,03*
Фон + Pb 2 ПДК	0,92±0,04*	0,88±0,04*

\* Различия достоверны по отношению к фону.

При изучении действия свинца в системе «почва- растение-животное» представляет интерес оценка влияния этого металла не только на химический состав растений, но и на организм животных [8, 9].

В дальнейшем полученный урожай корнеплодов был использован в рационе лабораторных крыс линии Wistar с целью исследования влияния свинца на организм животных и возможности снижения его токсического действия введением селена.

Известно, что печень в организме выполняет множество функций, в том числе синтетическую и экскреторную. При этом общее количество белка свинца и его основные физико-

химические параметры зависят от состояния гепатоцитов. В связи с этим нами были изучены такие биохимические показатели, как общий белок и его фракции [10, 11].

Исследования биохимического анализа крови животных показали, что у всех трех групп опытных животных наблюдаются изменения в уровне общего белка и его фракций по сравнению с контролем. Содержание общего белка в группе «свинец» на 10,8 % больше, чем у животных контрольной группы. Возможно, это связано с наличием воспалительных явлений (возрастание количества белков острой фазы воспаления) (рис. 1).

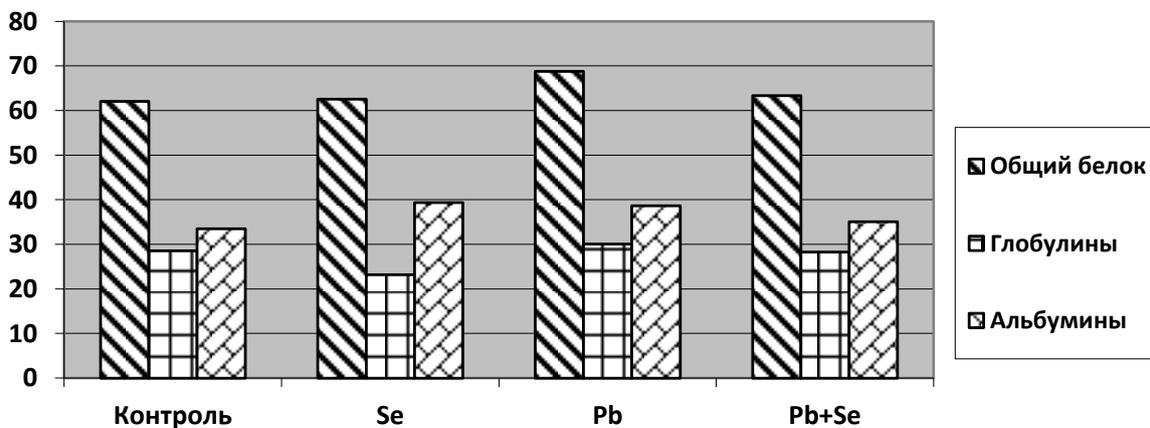


Рис. 1. Содержание общего белка и его фракций глобулинов и альбуминов в сыворотке крови крыс, г/л

У животных всех опытных групп отмечается повышение содержания молочной кислоты. Наибольшее содержание молочной кислоты в группе «свинец» – 7,3 ммоль/л, что в 2,7 раза превышает показатель группы «контроль». Это может свидетельствовать о наличии гипоксии в организме животных. Возрастание уровня молочной кислоты также наблюдается при поражении печени, сердечной и почечной недостаточности.

Существует мнение, что возрастание уровня мочевины выше 6,66 ммоль/л уже нужно рассматривать как признак патологии. Увеличение содержания мочевины по сравнению с контролем отмечено в крови животных групп «селен» (на 14,9 %) и «свинец» (на 7,5 %), что свидетельствует о нарушении функции почек (рис. 2).

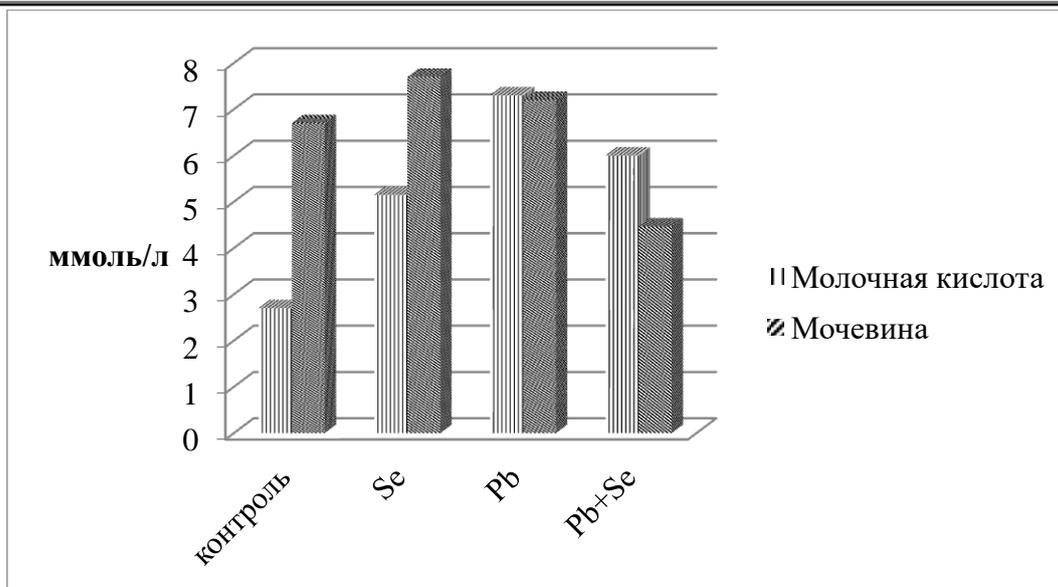


Рис. 2. Содержание молочной кислоты и мочевины в сыворотке крови крыс, ммоль/л

В крови животных группы «свинец» отмечено увеличение содержания мочевины в 2,2 раза по сравнению с контролем. В группе «селен» увеличение содержа-

ния мочевины – в 1,7 раза по сравнению с контролем. Повышенное содержание мочевины может свидетельствовать о поражении почек (рис. 3).

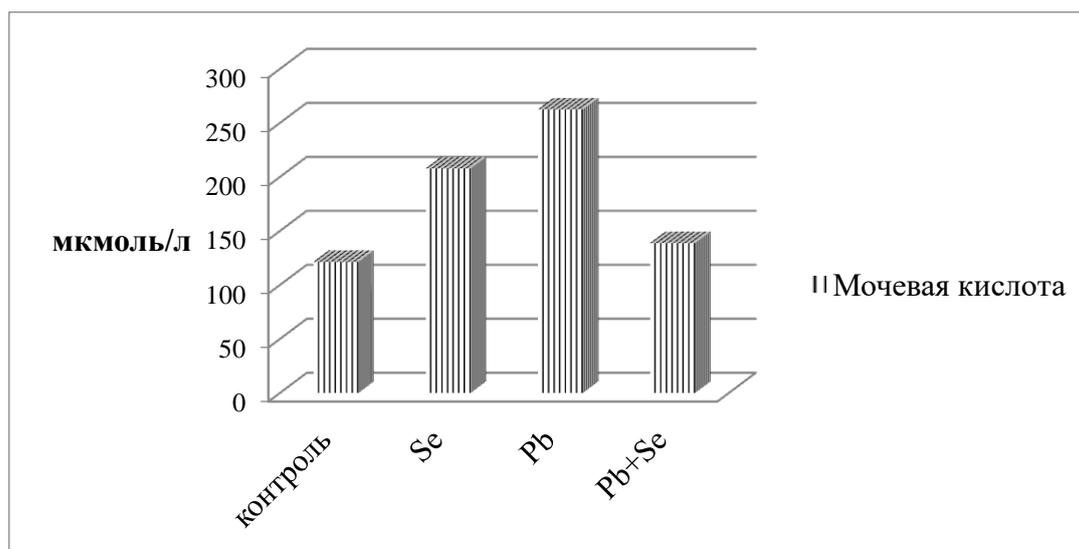


Рис. 3. Содержание мочевины в сыворотке крови крыс, проводился мкмоль/л

В условиях повышенного поступления микроэлементов особый интерес представляет обмен ионов в организме животных, в связи с этим мы провели исследование содержания кальция и фосфора в крови животных.

Нормальная абсорбция свинца из пищеварительного тракта составляет 5–10 %. Величина ее увеличивается в животных организмах, страдающих недостатком кальция. Место аккумуляции свинца – скелет, в котором содержится около 90 % всего поступившего в организм элемента. Свинец накапливается в костях, частично замещая кальций в фосфате  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  [12, 13].

Физиологическая норма содержания кальция в сыворотке крови составляет 2,4–2,9 ммоль/л. Обмен кальция в организме не нарушается, содержание свободного кальция находится в пределах нормы во всех группах.

Нормальное содержание фосфора в сыворотке статистически крови составляет 0,81–1,45 ммоль/л.

При этом установлено, что при поступлении селена и свинца увеличивается содержание фосфора, что, возможно, говорит о нарушении функции почек. Максимальное содержание фосфора в группе «селен» – 1,95 ммоль/л, что превышает показатель группы на 69,5 % (рис. 4).

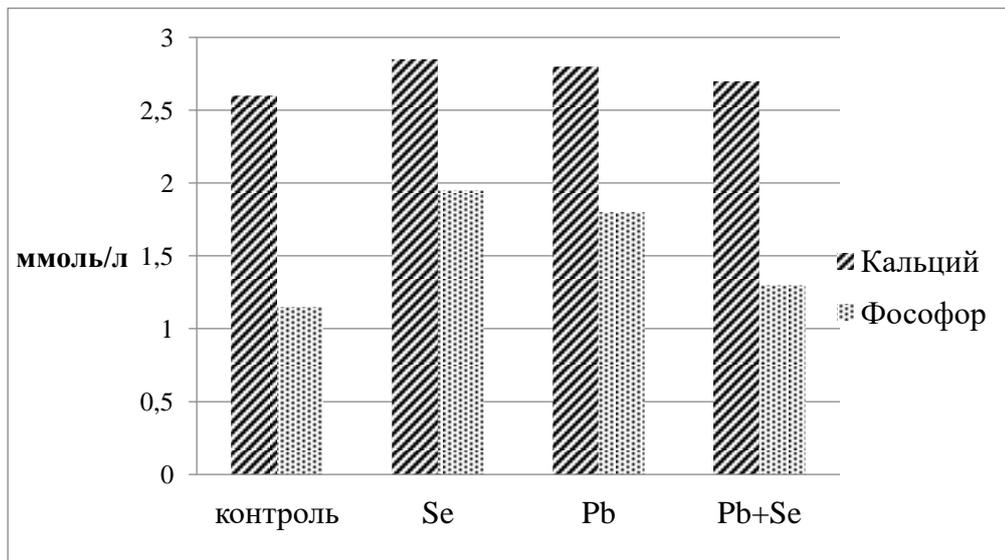


Рис. 4. Содержание кальция, фосфора в сыворотке крови крыс, ммоль/л

Помимо биохимических показателей, в рамках данного исследования была проведена оценка накопления свинца и селена в организме крыс линии Wistar.

Поскольку основным депо микроэлементов является печень, представлялось необходимым определить содержание свинца именно в этом органе. Наибольшее содержание свинца отмечается у всего животных 2-й опытной группы (рис. 5).

Поскольку основным депо микроэлементов является печень, представлялось необходимым определить содержание свинца именно в этом органе. Наибольшее содержание свинца отмечается у всего животных 2-й опытной группы (рис. 5).

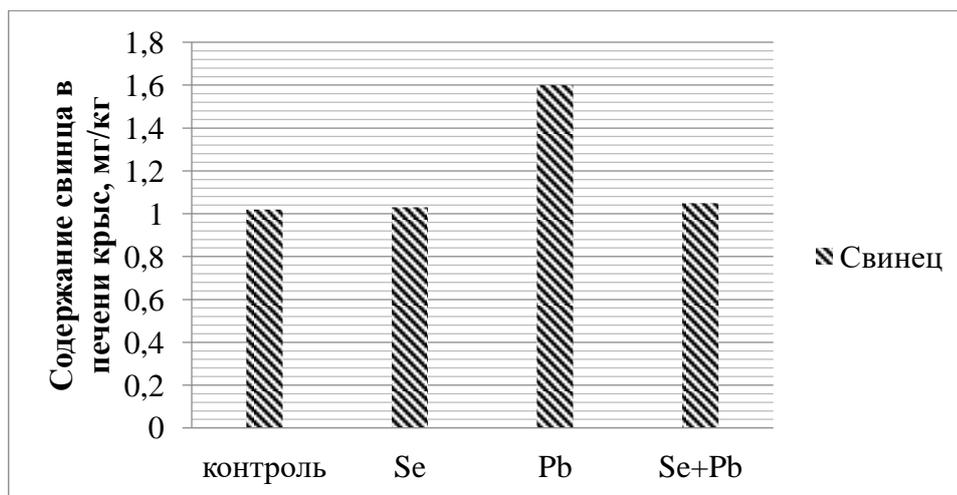


Рис. 5. Содержание свинца в печени крыс, мг/кг

Исследования показали, что содержание свинца во 2-й опытной группе увеличивается в 1,6 раза по сравнению с контрольной группой. В группе «свинец+селен» применение селена снижает уровень поступления свинца в организм крыс в 1,5 раза. При этом у данной группы животных содержание свинца в печени снижается до уровня контроля.

По результатам исследования отмечено накопление свинца в печени у животных и нарушение ее функций, в то же время применение селена способствует нормализации ряда показателей. Селен способен снижать содержание свинца в печени животных и способствует снижению токсического действия этого металла.

## Выводы

1. Содержание подвижного свинца в лугово-черноземной почве напрямую зависит от дозы его внесения в почву. Чем больше доза внесения свинца, тем больше его содержание в почве, максимальное содержание свинца в почве при дозе 2 ПДК составляет 2,25 мг/кг.

2. Столовая свекла и морковь интенсивно аккумулируют свинец. При этом наблюдалась четкая закономерность при накоплении тяжелых металлов в корнеплодах исследуемых овощных культур: чем больше была доза вносимого в почву элемента, тем больше его содержание в корнеплодах.

3. Применение селена снижает уровень поступления свинца в организм крыс в 1,5 раза. При этом у группы животных «свинец+селен» содержание свинца в печени снижается до уровня контроля.

4. В условиях повышенного накопления свинца в печени животных отмечается нарушение ее функций, в то же время применение селена способствует нормализации ряда биохимических показателей. Селен способен снижать содержание свинца в печени животных и способствует снижению токсического действия этого металла.

#### Литература

1. *Абрамова Т.Н., Кузнецов В.К., Исамов Н.И.* Источники поступления тяжелых металлов и их воздействие на агроэкосистемы // Докл. 2-й междунар. науч.-практ. конф. – Семипалатинск, 2002. – Т. 2. – С. 413–416.
2. *Дабахов М.В., Дабахова Е.В., Титова В.И.* Тяжелые металлы: экотоксикология и проблемы нормирования. – Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. – 165 с.
3. *Агаджанян Н.А., Скальный А.В.* Химические элементы в среде обитания и экологический портрет человека. – М., 2001. – 231 с.
4. *Шульгин К.К.* Получение и свойства глутатионпероксидазы // Прикладная биохимия и микробиология. – 2008. – Т. 34. – № 3. – С. 276–280.
5. *Аникина Л.В., Никитина Л.П.* Селен. Экология, патология, коррекция. – Чита, 2002. – 400 с.
6. *Дедков, Мусатов.* Селен: биологическая роль, форма существования и методы определения // Экология промышленного производства. – 2004. – № 3. – С. 19–23.
7. *Ермохин Ю.И., Синдирева А.В.* Накопление селена и прогноз содержания микроэлементов в яровом рапсе на лугово-черноземной почве // Мат-лы V междунар. науч.-практ. конф. – Семей, 2008. – Т. 1. – С. 233–238.
8. *Коршунова В.В.* Тolerантность крыс к антропогенным загрязнителям (свинцу и кадмию) на фоне применения растительных добавок. – Новосибирск, 2011. – 18 с.
9. *Морковкин Г.Г., Панова Е.В.* Поступление ТМ и МЭ в организм человека с продуктами питания и их влияние на здоровье населения // Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде: докл. 2-й Междунар. науч.-практ. конф. – Семипалатинск, 2002. – Т.2. – С. 293–303.
10. *Синдирева А.В., Гонохова М.Н.* Кадмий, никель, цинк в системе «почва-растение-животный организм» // Эколого-физиологические исследования состояния окружающей среды и здоровья населения Омского Прииртышья. – Омск: Вариант-Омск, 2010. – С. 250–280.
11. *Синдирева А.В.* Критерии и параметры действия микроэлементов в системе «почва-растение-животное»: дис. ... д-ра биол. наук. – Омск, 2012. – 455 с.

12. *Колесников В.А.* Эколого-токсикологические аспекты воздействия свинца на биологические объекты. – Красноярск, 2002. – 250 с.
13. *Корбакова А.И., Соркина Н.С., Молодкина Н.Н.* [и др.]. Свинец и его действия на организм (обзор литературы) // Медицина труда и промышленная экология. – 2001. – № 5. – С. 29–34.

#### Literatura

1. *Abramova T.N., Kuznecov V.K., Isamov N.I.* Istochniki postuplenija tjazhelyh metallov i ih vozdeystvie na agrojekosistemy // Dokl. 2-j mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Semipalatinsk, 2002. – Т. 2. – С. 413–416.
2. *Dabahov M.V., Dabahova E.V., Titova V.I.* Tjazhelye metally: jekotoksikologija i problemy normirovanija. – N. Novgorod: Izd-vo VVAGS, 2005. – 165 s.
3. *Agadzhanjan N.A., Skal'nyj A.V.* Himicheskie jelementy v srede obitanija i jekologicheskij portret cheloveka. – M., 2001. – 231 s.
4. *Shul'gin K.K.* Poluchenie i svojstva glutacionperoksidazy // Prikladnaja biohimija i mikrobiologija. – 2008. – Т. 34. – № 3. – С. 276–280.
5. *Anikina L.V., Nikitina L.P.* Selen. Jekologija, patologija, korrekcija. – Chita, 2002. – 400 s.
6. *Dedkov, Musatov.* Selen: biologicheskaja rol', forma sushhestvovanija i metody opredelenija // Jekologija promyshlennogo proizvodstva. – 2004. – № 3. – С. 19–23.
7. *Ermohin Ju.I., Sindireva A.V.* Nakoplenie selena i prognoz sodержanija mikrojelementov v jarovom rapse na lugovo-chernozemnoj pochve // Mat-ly V mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Semej, 2008. – Т. 1. – С. 233–238.
8. *Korshunova V.V.* Tolerantnost' krys k antropogennym zagryzriteljam (svincu i kadmiju) na fone primenenija rastitel'nyh dobavok. – Novosibirsk, 2011. – 18 s.
9. *Morkovkin G.G., Panova E.V.* Postuplenie TM i MJe v organizm cheloveka s produktami pitanija i ih vlijanie na zdorov'e naselenija // Tjazhelye metally, radionuklidy i jelementy-biofily v okruzhajushhej srede: dokl. 2-j Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Semipalatinsk, 2002. – Т.2. – С. 293–303.
10. *Sindireva A.V., Gonohova M.N.* Kadmij, nikel', cink v sisteme «pochva-rastenie-zhivotnyj organizm» // Jekologo-fiziologicheskie issledovanija sostojanija okruzhajushhej sredy i zdorov'ja naselenija Omskogo Priirtysh'ja. – Omsk: Variant-Omsk, 2010. – С. 250–280.
11. *Sindireva A.V.* Kriterii i parametry dejstvija mikrojelementov v sisteme «pochva-rastenie-zhivotnoe»: dis. ... d-ra biol. nauk. – Omsk, 2012. – 455 s.
12. *Kolesnikov V.A.* Jekologo-toksikologicheskie aspekty vozdeystvija svinca na biologicheskie ob'ekty. – Krasnojarsk, 2002. – 250 s.
13. *Korbakova A.I., Sorkina N.S., Molodkina N.N.* [i dr.]. Svinec i ego dejstvija na organizm (obzor literatury) // Medicina truda i promyshlennaja jekologija. – 2001. – № 5. – С. 29–34.