

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2020

Николаева Н.И.¹, Филин А.С.¹, Гусева Е.А.¹, Иванова Л.Г.²

Биологическое действие твёрдых растворов (на примере сплава кадмий–ртуть–теллур)

¹ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), 119991, Москва, Россия;²ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи, Россия

Твердые растворы находят широкое применение в различных отраслях промышленности.

Цель исследования — изучить биологическое действие твердого раствора на основе кадмия (7%) ртути (52%) и теллура (41%) (КРТ) на организм экспериментальных теплокровных животных.

Материал и методы. На моделях острого и субхронического воздействия оценено биологическое действие твердого раствора КРТ на организм теплокровных животных (крысы, мыши). Определяли параметры токсикометрии: острую токсичность, порог острого ингаляционного и внутрижелудочного действия, кумулятивные свойства. В субхронических опытах исследовали местное и общетоксическое действие.

Результаты. По данным острых опытов, КРТ относится к 4 классу опасности (малоопасное соединение). Порог острого ингаляционного действия для крыс — 46,20 мг/м³, внутрижелудочного действия для крыс — 5000 мг/кг. Твердый раствор КРТ обладает умеренной кумуляцией ($K_{\text{кум}} = 4,79$), не раздражает кожу. Соединение оказывает общетоксическое действие, в основе которого лежат функциональные нарушения нервной системы, печени, почек и надпочечников.

Обсуждение. Результаты исследования свидетельствуют о том, что твердый раствор КРТ оказывает политропное действие на организм теплокровных.

Закключение. При длительном воздействии аэрозоль КРТ может оказывать неблагоприятное воздействие на организм работающих. Необходимо предусмотреть профилактические мероприятия общего характера, предупреждающие попадание аэрозоля твёрдых растворов в организм: автоматизацию, механизацию, герметизацию производства, адекватную вентиляцию производственных помещений, использование средств индивидуальной защиты, прохождение рабочими обязательных периодических медицинских осмотров, контроль за концентрацией КРТ в воздухе рабочей зоны осуществлять по предельно допустимой концентрации 1 мг/м³ (пары ртути).

Ключевые слова: твердый раствор; кадмий; ртуть; теллур; биологическое действие; токсичность; вредный производственный фактор; токсикологический эксперимент.

Для цитирования: Николаева Н.И., Филин А.С., Гусева Е.А., Иванова Л.Г. Биологическое действие твёрдых растворов (на примере сплава кадмий–ртуть–теллур). *Здравоохранение Российской Федерации*. 2020; 64(3):158-162.

DOI: <http://dx.doi.org/10.46563/0044-197X-2020-64-3-158-162>

Для корреспонденции: Николаева Наталья Ивановна, докт. мед. наук, проф. каф. экологии человека и гигиены окружающей среды 1 МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет), 119991, Москва. E-mail: nativ.nikolayeva@gmail.com

Участие авторов:

Николаева Н.И. — концепция исследования;

Филин А.С., Гусева Е.А., Иванова Л.Г. — сбор и обработка материала;

Николаева Н.И., Филин А.С. — написание текста;

Николаева Н.И. — редактирование.

Все соавторы — утверждение окончательного варианта рукописи, ответственность за целостность всех частей рукописи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 15.02.2020

Принята в печать: 03.03.2020

Опубликована: 30.06.2020

Natalia I. Nikolayeva¹, Andrey S. Filin¹, Ekaterina A. Guseva¹, Lubov' G. Ivanova²

The biological action of solid solutions (on the example of cadmium-mercury-tellurium alloy)

¹I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, 119991, Russia;

²F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Mytishchi, 141014, Russia;

Solid solutions are widely used in various industries. Experimental studies have been conducted to study the biological effects of warm-blooded animals (rat, mouse) solid solution based on cadmium (7%) mercury (52%) and tellurium (41%) (CMT).

The purpose of the study: To investigate the biological effect of the solid solution (CMT) on the body of experimental animals.

Material and methods. On the models of acute and subchronic exposure, the biological effect of CMT on the organism of warm-blooded animals (rats, mice) was evaluated. Studies have been carried out to establish

toxicometry parameters (acute toxicity, the threshold for acute inhalation and intragastric effects, cumulative properties). In subchronic experiments, local and general toxic effects were investigated. The work used biochemical, physiological, toxicological, pathomorphological, statistical research methods.

Results. According to acute experiments, the investigated substance belongs to the 4th hazard class (low-hazard compound). The threshold of acute inhalation action for rats is 46.20 mg/m³, and the intragastric effect for rats is 5000 mg/kg. CMT has moderate cumulation ($K_{cum} = 4.79$), does not irritate the skin. The compound was found to have a general toxic effect, which is based on functional disorders of the nervous system, liver, and kidneys.

Discussion. The results of the study indicate that solid CMT solution has a polytropic effect on the warm-blooded organism.

Conclusion. With prolonged exposure, the CMT aerosol can harm the body of workers, it is necessary to provide general preventive measures that prevent the aerosol of solid solutions from entering the body: automation, mechanization, sealing of production, adequate ventilation of production rooms, the use of personal protective equipment, the passage of mandatory periodic medical examinations by workers, and monitoring the concentration of CMT in the air of the working area should be carried out according to the MPC - 1.0 mg / m³ (mercury vapor).

Keywords: solid solution (CMT); cadmium; mercury; tellurium; biological effect; toxicological experiment.

For citation: Nikolayeva N.I., Filin A.S., Guseva E.A., Ivanova L.G. Biological action of solid solutions (on the example of cadmium-mercury-tellurium alloy). *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii (Health Care of the Russian Federation)*. 2020; 64 (3): 158-162. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.46563/0044-197X-2020-64-3-158-162>

For correspondence: Natalia I. Nikolayeva, MD, Ph.D., DSci., Professor, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, 119991, Russia. E-mail: nativ.nikolayeva@gmail.com

Information about authors:

Nikolaeva N.I., <https://orcid.org/0000-0003-1226-9990>

Filin A.S., <https://orcid.org/0000-0002-9724-8410>

Guseva E.A., <https://orcid.org/0000-0001-8389-7981>

Ivanova L.G., <https://orcid.org/0000-0002-6512-048X>

Contribution:

Nikolaev N.I. — research concept, writing the text.

Filin A.S. — collection and processing of material, writing the text.

Guseva E.A. — collection and processing of material

Ivanova L.G. — collection and processing of material;

Nikolaev N.I., Filin A.S. — writing the text;

Nikolaeva N.I. — editing.

All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of its final version.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received: February 15, 2020

Accepted: March 03, 2020

Published: June 30, 2020

Введение

Твердые растворы находят широкое применение в различных отраслях промышленности, в частности, в производстве оптико-электронной аппаратуры специального и гражданского назначения — в медицине, транспорте, строительстве, экологическом мониторинге, пилотажно-навигационных системах.

Применение твердых растворов при создании современного оборудования растет, как и количество рабочих, контактирующих с ними. Однако биологическое действие твердого раствора, в состав которого входит кадмий (7%), ртуть (52%) и теллур (41%) (КРТ), на теплокровный организм остается практически не исследованным.

Цель работы — изучить биологическое действие твердого раствора КРТ на организм теплокровных животных.

Материал и методы

Токсикологические исследования включали определение токсичности КРТ в острых опытах при различных путях введения (внутрижелудочный, внутрибрюшинный); выявление порога острого действия при ингаляционном и пероральном поступлении, изучение кумулятивных

свойств, выявление местного раздражающего действия, изучение общетоксического действия при подостром ингаляционном воздействии.

В работе использованы биохимические, физиологические, токсикологические, патоморфологические, статистические методы исследования.

Массу тела измеряли с помощью весов «Scout II» («Ohaus Corporation», США), ректальную температуру — электротермометром ТПЭМ-1, суммационно-пороговый показатель — на приборе «Импульс». Изучение ориентировочно-исследовательской реакции включало оценку двигательной активности (вертикальный и горизонтальный компонент, норковый рефлекс), а также вегетативной деятельности — эмоциональной реактивности (количество фекальных шариков) и груминга.

Содержание лейкоцитов, эритроцитов и гемоглобина в периферической крови определяли на гематологическом анализаторе «Hema Screen 8» («Hospitex Diagnostics», Швейцария). Биохимический состав сыворотки крови (общий белок, альбумины, глобулины, аланин- и аспаратаминотрансфераза, лактатдегидрогеназа, щелочная фосфатаза, креатинин, мочевая кислота, мочевина,

глюкоза, кальций) исследовали на автоматическом многоканальном анализаторе «Sapphire 400» («Tokyo Boki Medisys Inc.», Япония). Морфологически исследовали сердце, легкие, печень, почки, надпочечники, селезенку. Срезы органов окрашивали гематоксилином и эозином (обзорное гистологическое исследование) и суданом III (выявление липидов). Для расчёта массовых коэффициентов внутренних органов их взвешивали на весах «Adventurer» («Ohaus Corporation», США).

Эксперименты проведены на 100 беспородных белых крысах-самцах (масса тела 180–200 г, возраст 6–7 нед) и 80 мышам-самцах (масса тела 20–24 г, возраст 6–7 нед), содержащихся в филиале «Андреевка» ФГБУН «Научный центр биомедицинских технологий» ФМБА России. Период акклиматизации составил 14 дней. Животные имели доступ к питьевой воде и корму и содержались в условиях 12-часового светового периода при 20–23°C и 35–45% влажности.

Установление параметров острой токсичности проведено на белых крысах-самцах и белых мышам-самцах. Каждая группа состояла из 8 крыс и 10 мышей. КРТ вводили внутривентриально в водном растворе крысам в объеме 3 мл, мышам — 0,5 мл. Внутривентриально КРТ мыши получали в 1 мл стерильного рафинированного подсолнечного масла. Срок наблюдения за животными при внутривентриальном введении составлял 21 день, при внутривентриальном — 7 дней.

Кожно-раздражающее действие исследовали путем нанесения кожных аппликаций в течение 21 дня на выстриженный участок кожи крыс размером 4 × 4 см 50% мази КРТ на ланолиновой основе. Контрольным животным наносили чистый ланолин.

Определение порога острого ингаляционного воздействия проведено при однократной 4-часовой заправке белых крыс в камере И.Ф. Боярчука. Для распыления исследуемых веществ использовали распылитель Летушкиной. Контроль за концентрацией пыли в камере осуществляли весовым методом с помощью аналитического аэрозольного фильтра каждые 30 мин. Испытаны следующие концентрации аэрозоля, содержащего твердый раствор КРТ: $19,36 \pm 2,73$, $46,20 \pm 11,28$ и $73,57 \pm 10,67$ мг/м³. Контрольные животные находились в аналогичных условиях в камере с подачей чистого воздуха. В опытную и контрольную группы входило по 10 крыс.

Общетоксическое действие пыли твердого раствора КРТ при ингаляционном поступлении в организм изучали в подостром эксперименте. Заправку крыс проводили в камерах Боярчука по 4 ч 5 раз в неделю в течение 1 мес. Испытана максимально достижимая концентрация КРТ — $73,57 \pm 10,67$ мг/м³.

Условия проведения и вывода животных из эксперимента соответствовали международным принципам Хельсинкской декларации о гуманном отношении к животным и требованиям «Правил проведения работ с использованием экспериментальных животных (приложение к приказу Минздрава СССР от 12.08.1977 г., № 755). Животных выводили из эксперимента путем цервикальной дислокации.

Исследование проведено в соответствии с этическими руководящими принципами Директивы 2010/63/EU и

одобрено Комитетом по этике ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора.

Для обработки количественных показателей применены параметрические методы оценки достоверности результатов статистического исследования на основе применения ошибки средней арифметической, средней ошибки разности показателей опытных и контрольных групп и оценки достоверности различий среднegrupповых показателей по *t*-критерию Стьюдента. Уровень статистической значимости был принят $p < 0,05$.

Результаты

Установлены параметры острой токсичности твердого раствора КРТ: среднесмертельная доза (LD_{50}) для крыс не определена, т.к. не было гибели животных; LD_{50} для мышей (внутривентриальное введение суспензии исследуемого вещества) составила 4500 мг/кг; порог острого ингаляционного и внутривентриального действия для крыс — 46,20 мг/м³ и 5000 мг/кг соответственно.

КРТ обладает умеренной кумуляцией ($K_{\text{кум}} = 4,79$) и не оказывает местного раздражающего действия.

По данным острых опытов, исследованное вещество относится к 4 классу опасности (малоопасное соединение)¹.

Анализ результатов подострого эксперимента свидетельствует о том, что ингаляционное воздействие КРТ в концентрации $73,57 \pm 10,67$ мг/м³ изменяет функциональное состояние центральной нервной системы: достоверно снизился суммационно-пороговый показатель, достоверно увеличился показатель норкового рефлекса, горизонтального и вертикального компонентов двигательной активности. У животных опытной группы зафиксировано снижение ректальной температуры, в сыворотке крови достоверно повысились активность лактатдегидрогеназы и содержание мочевой кислоты, снизились уровень креатинина, общего белка, альбуминов и активность аспартатаминотрансферазы.

Гематологические показатели периферической крови достоверно не отличались от таковых в контрольной группе.

Отклонений величин массовых коэффициентов внутренних органов не выявлено.

При морфологическом исследовании органов животных, подвергшихся ингаляционной заправке аэрозолем твердого раствора КРТ в концентрации $73,57 \pm 10,67$ мг/м³, обнаружены следующие изменения:

- в головном мозге зафиксированы отеки периваскулярных пространств, не резко выраженное кровенаполнение мелких сосудов;
- в печени — развитие явлений белковой и жировой дистрофии в гепатоцитах, в строме обнаружены очаговые некрозы и клеточные инфильтраты. Гистохимически в цитоплазме гепатоцитов зафиксированы липидные включения различной величины — от пылевидных капель до крупных вакуолей;

¹ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества классификация и общие требования безопасности». URL: <http://docs.cntd.ru/document/5200233>

- в почках — периваскулярные инфильтраты, неравномерное расширение капиллярных петель клубочков, утолщение базальных мембран капилляров, что свидетельствует о повышенной проницаемости эндотелия;
- в надпочечниках — резкое расширение сосудов, увеличение размеров ядер в клубочковой и пучковой зонах, количество хромоффинных зерен в клетках мозгового слоя надпочечников, расширение пучковой и сетчатой зон.

Указанные изменения в корковом слое свидетельствуют о функциональном напряжении клеток, обеспечивающих интенсивный синтез кортикостероидов, которые играют важную роль в поддержании гомеостаза. Таким образом, в условиях субхронического эксперимента установлено, что КРТ оказывает выраженное общетоксическое действие на организм подопытных животных.

Обсуждение

Проведен анализ данных о токсических свойствах кадмия, ртути и теллура, которые входят в состав КРТ.

Ртуть (металлическая) при нормальных условиях присутствует в воздухе в виде многоатомного пара; основным путем поступления в организм является ингаляционный (80% задерживается в организме), реже — алиментарный (получение с пищей или при курении от загрязненных рук). Независимо от формы ртути ее наибольшее накопление происходит в почках, печени, гонадах; в малых количествах ртуть беспрепятственно проникает через барьеры и накапливается в тканях головного мозга. В связи с этим пары ртути обладают выраженной нейротоксичностью и влиянием на эндокринную систему, а именно при длительной ингаляции в концентрациях 0,01–0,03 мг/м³ приводят к изменению функции анализаторов, нарушению функции щитовидной железы, гипопиза, развитию астеноневротического синдрома (сначала ослабляется внутреннее торможение, затем возникает инертность корковых процессов). Ртуть обладает гонадотропным действием; отмечается также гонадотоксический и эмбриотоксический эффекты при воздействии паров металлической ртути. Имеются сведения о канцерогенной активности ртути [1, 2]

В условиях производства кадмий поступает в организм в основном ингаляционным путем; его адсорбция колеблется от 10 до 50%. Величина задержки кадмия в органах дыхания зависит от вида соединения, его дисперсности и функционального состояния органов дыхания. Кадмий не является жизненно необходимым микроэлементом — не установлено его специфического биологического значения, кроме влияния на обмен физиологически важных химических элементов: цинка, меди, железа. Кадмий и его соединения являются политропными ядами. Токсическое действие проявляется в виде поражения печени и почек — тех органов, где происходит накопление элемента. Отмечается нарушение активности ряда ферментов (тиолотропное действие — 100% блокирование SH-групп), белкового, жирового, углеводного обменов организма. При воздействии кадмия наблюдаются канцерогенная (в виде бластоматозного роста) и мутагенная активность, гонадотоксический эффект [3–6].

При поступлении в организм теллура через желудочно-кишечный тракт абсорбируется около 25% от введенной дозы. В организме теллур неравномерно распределяется по органам. Местом его преимущественного накопления являются кровь, почки, печень и легкие, т.е. основные пути поступления, циркуляции, обезвреживания и выведения Биологическое действие теллура во многом сходно с действием на организм мышьяка и селена. Он блокирует ряд ферментных систем — тиоловых, дегидраз и оксидаз. Токсичное действие теллура проявляется в преимущественном поражении печени, функции нервной системы, желудочно-кишечного тракта. Экспериментально показано, что аэрозоли конденсации примерно в 10 раз токсичнее аэрозолей дезинтеграции. При пероральном введении четырех- или шестивалентной формы теллура выявлена канцерогенная активность [7 – 9].

Анализ результатов исследования свидетельствует о политропном действии твердого раствора КРТ на организм теплокровных животных. Сопоставление данных о токсическом действии кадмия, ртути, теллура с результатами проведенных экспериментальных исследований твердого раствора КРТ позволяет сделать вывод о том, что он менее токсичен, чем отдельно взятые металлы.

Вместе с тем следует отметить, что ртуть, содержание которой в твердом растворе КРТ более 50%, не вызывает, как правило, острых отравлений. Поэтому затравка в течение 30 дней не могла привести к развитию специфических нарушений, которые могут проявиться при длительном воздействии. Низкую токсичность КРТ, вероятно, можно объяснить особенностями электронного строения атомов — образованием стабильных электронных конфигураций.

Учитывая, что при длительном воздействии аэрозоль твердого раствора КРТ может оказывать неблагоприятное воздействие на организм человека, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий общего характера, предупреждающих попадание аэрозоля твердых растворов в организм человека на рабочем месте: автоматизацию, механизацию, герметизацию производства, адекватную вентиляцию производственных помещений, использование средств индивидуальной защиты в качестве временной меры, а также прохождение рабочими обязательных периодических медицинских осмотров².

Контроль за концентрацией КРТ в воздухе рабочей зоны надо осуществлять по предельно допустимой концентрации 1 мг/м³ (пары ртути)³.

Выводы

1. Проведена оценка токсичности и опасности твердого раствора КРТ в острых опытах и подостром экспери-

²Приказ Минздравсоцразвития России от 12.04.2011 № 302н «Об утверждении перечней вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры (обследования), и Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_120902

³СанПиН[ЗиК]1 1.2.2353-08 «Канцерогенные факторы и основные требования к профилактике канцерогенной опасности». URL: <http://docs.cntd.ru/document/902101545>

менте, установлены основные параметры токсикометрии, изучено общетоксическое действие сплава.

2. Результаты острых опытов свидетельствуют, что КРТ в соответствии с ГОСТ 12.1.077-76 относится к 4 классу опасности (малоопасное соединение).

3. По порогу острого ингаляционного воздействия КРТ относится к опасным веществам в плане развития острого ингаляционного отравления.

4. В условиях субхронического эксперимента воздействие аэрозоля твердого раствора в концентрации 73,57 мг/м³ оказывает общетоксический эффект. В основе токсического действия твердого раствора КРТ лежат функциональные нарушения нервной системы, почек, печени и надпочечников.

5. КРТ менее токсичен, чем отдельно взятые металлы, входящие в состав сплава.

6. Низкая токсичность КРТ, вероятно, связана с особенностями электронного строения атомов — образованием стабильных электронных конфигураций.

ЛИТЕРАТУРА

- Моисеенко В.Г., Радомская В.И., Радомский С.М., Пискунов Ю.Г., Савинова Т.А., Леншин А.В. Интоксикация человеческого организма металлической ртутью. *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. 2004; (3): 100-10.
- Савченков М.Ф., Рукавишников В.С., Ефимова И.В. Ртуть в окружающей среде и ее влияние на здоровье населения (на примере Байкальского региона). *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2010; (8): 9-11.
- Шумакова А.А., Трушина Э.Н., Мустафина О.К., Сото С.Х., Мальцев Г.Ю., Гмошинский И.В. и др. Токсичность кадмия при его совместном введении с диоксидом титана (рутил), наноструктурным диоксидом кремния и фуллеренолом. *Профилактическая и клиническая медицина*. 2015; 1(54): 86-93.
- Арустамян О.М., Ткачишин В.С., Алексейчук А.Ю. Влияние соединений кадмия на организм человека. *Медицина неотложных состояний*. 2016; 7(78): 109-13.
- Софронов П.В. Токсикологическая оценка сочетанного воздействия кадмия хлорида и T-2 токсина на животных и применение бентонита в качестве лечебно-профилактического средства: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Казань; 2009.
- Усманова Э.Н., Фазлыева А.С., Каримов Д.О., Даукаев Р.А., Смолянкин Д.А. Кумулятивный эффект кадмия в органах крыс при остром отравлении. В кн.: *Материалы межрегиональной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов «Гигиена, экология и риски здоровью в современных условиях»*. Саратов: Амирит; 2018: 153-6.
- Русецкая Н.Ю., Меркулова Е.П., Бородулин В.Б., Древяко Б.И., Горошинская И.А. Антитоксическое действие органических соединений селена, серы и теллура при отравлении азотнокислой ртутью белых мышей. *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*. 2010; (5): 69-77.
- Филов В.А., ред. *Вредные вещества в окружающей среде. Элементы V-VIII группы периодической системы и их неорганические соединения*. СПб.: Профessional; 2006-2007: 230-6.
- CCOHS RTECS. Канадский центр гигиены и безопасности труда. Реестр токсического воздействия химических веществ; 2018.

REFERENCES

- Moiseenko V.G., Radomskaya V.I., Radomskiy S.M., Piskunov Yu.G., Savinova T.A., Lenshin A.V. Intoxication of the human organism by the metal mercury. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk*. 2004; (3): 100-10. (in Russian)
- Savchenkov M.F., Rukavishnikov V.S., Efimova I.V. Environmental mercury and its influence on population health (on example of Baikal region). *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal (Irkutsk)*. 2010; (8): 9-11. (in Russian)
- Shumakova A.A., Trushina E.N., Mustafina O.K., Soto S.Kh., Mal'tsev G.Yu., Gmoshinskiy I.V., et al. The toxicity of cadmium when combined with titanium dioxide (rutile), nanostructured silicon dioxide and fullereneol. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina*. 2015; 1(54): 86-93. (in Russian)
- Arustamyan O.M., Tkachishin V.S., Alekseychuk A.Yu. Influence of cadmium compounds on the human body. *Meditsina neotlozhnykh sostoyaniy*. 2016; 7(78): 109-13. (in Russian)
- Sofronov P.V. *Toxicological assessment of the combined effects of cadmium chloride and T-2 toxin on animals and the use of bentonite as a therapeutic agent*: Diss. Kazan'; 2009. (in Russian)
- Usmanova E.N., Fazlyeva A.S., Karimov D.O., Daukaev R.A., Smolyankin D.A. Cumulative effect of cadmium in rat organs in acute poisoning. In: *Materials of the Interregional Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists «Hygiene, Ecology and Health Risks in Modern Conditions» [Materialy mezhhregional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov «Gigiena, ekologiya i riski zdorov'yu v sovremennykh usloviyakh»]*. Saratov: Amirit; 2018: 153-6. (in Russian)
- Rusetskaya N.Yu., Merkulova E.P., Borodulin V.B., Drevko B.I., Goroshinskaya I.A. Antitoxic effect of organic compounds of selenium, sulfur and tellurium for poisoning with mercury nitrate white mice. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Estestvennye nauki*. 2010; (5): 69-77. (in Russian)
- Filov V.A., ed. *Harmful Substances in the Environment. Elements of the V-VIII Group of the Periodic System and Their Inorganic Compounds [Vrednye veshchestva v okruzhayushchey srede. Elementy V-VIII gruppy periodicheskoy sistemy i ikh neorganicheskie soedineniya]*. St. Petersburg: Professional; 2006-2007: 230-6. (in Russian)
- CCOHS RTECS. Canadian Centre Occupational Health and Safety. Registry of Toxic Effects of Chemical Substances; 2018.