

**МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ТОКСИЧЕСКОГО
ДЕЙСТВИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ, СОДЕРЖАЩИХСЯ В
ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Эрдниев Л.П.^{1,2}, Морозов И.А.¹, Гусев Ю.С.², Неменуцкая Е.О.¹

¹ Государственное автономное профессиональное образовательное учреждение Саратовской области «Саратовский областной базовый медицинский колледж», Минздрав Саратовской области

E-mail: sobmk@rambler.ru

² Саратовский медицинский научный центр гигиены Федерального бюджетного учреждения науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор)

E-mail: mail@smncg.ru

Резюме.

Введение. Тяжелые металлы как загрязнители окружающей среды оказывают значительное влияние на формирование структуры заболевания населения. Стремительный рост промышленных объектов обосновывает актуальность проведения исследований, направленных на изучение вредного воздействия тяжелых металлов на организм человека посредством внедрения в практику токсикологических исследований многокомпонентных биологических тест-систем и программных продуктов на основе многоуровневых нейронных сетей, позволяющих прогнозировать вероятности развития токсических эффектов в ряду биологических объектов с разным уровнем структурной организации. В связи с разным трактованием показателей предельно-допустимых концентраций в России и за рубежом, возникает интерес к оценке токсического действия тяжелых металлов при хроническом воздействии в

сверхмалых концентрациях. Однако, при планировании исследований по оценке влияния тяжелых металлов на здоровье населения недостаточно опираться только на механизмы их токсического действия и показатели острой и хронической токсичности. Для оценки токсикологических свойств и показателей рисков для здоровья населения необходимо учитывать преобразование тяжелых металлов при взаимодействии с элементами объектов окружающей среды и принимать во внимание пути поступления в организм и конечные соединения, воздействующие на биологические объекты и человека.

Цель исследования – изучить методические аспекты при исследованиях токсического действия тяжелых металлов, содержащихся в объектах окружающей среды.

Результаты. Рассмотрены основные формы преобразования тяжелых металлов при контакте с элементами объектов окружающей среды (почва, вода, атмосферный воздух). Отмечена важность учета конечных соединений тяжелых металлов, образуемых в процессе преобразований, при планировании токсикологических исследований. Предложены варианты решения вопроса оценки токсичности тяжелых металлов при хроническом воздействии в сверхмалых дозах (менее ПДК) и способы интерпретации полученных результатов.

Заключение. Проведенный анализ позволяет сказать, что при оценке токсического воздействия тяжелых металлов на организм человека при хроническом поступлении в сверхмалых дозах особое внимание отводится разработке и обоснованию маркеров токсического процесса в многокомпонентных биологических тест-системах. При этом, необходимо учитывать не только токсикологические характеристики тяжелых металлов, но и процессы взаимодействия их с элементами объектов окружающей среды. Имеющиеся аналитические методы позволяют проводить исследования при воздействии тяжелых металлов на биологические объекты в концентрациях значительно меньше ПДК. Отмечена важность внедрения программных продуктов на основе многослойной нейронной сети для прогнозирования

вероятностей развития токсических эффектов позволит повысить эффективность процедуры оценки рисков для здоровья населения при воздействии ТМ в сверхмалых дозах.

Ключевые слова: тяжелые металлы, тест-система, нейросеть, токсичность, окружающая среда, здоровье

METHODOLOGICAL ASPECTS OF STUDYING THE TOXIC EFFECTS OF HEAVY METALS CONTAINED IN ENVIRONMENTAL OBJECTS

Erdniev L.P.^{1,2}, Morozov I.A.¹, Gusev Yu.S.², Nemenuschaya E.O.¹

¹ State Autonomous professional educational institution of the Saratov region «Saratov Regional Basic Medical College», Ministry of Health of the Saratov region
Russian Federation

E-mail: sobmk@rambler.ru

² Saratov Hygiene Medical Research Center of the Federal Budget Scientific Institution «Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies», Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Rospotrebnadzor),

E-mail: mail@smncg.ru

Resume.

Introduction. Heavy metals as environmental pollutants have a significant impact on the formation of the structure of the disease of the population. The rapid growth of industrial facilities justifies the relevance of research aimed at studying the harmful effects of heavy metals on the human body through the introduction into practice of toxicological studies of multicomponent biological test systems and software products based on multilevel neural networks that allow predicting the likelihood of toxic effects in a number of biological objects with different levels of structural organization. Due to the different interpretation of the maximum permissible concentrations in Russia and abroad, there is an interest in assessing the toxic effect of heavy metals under chronic exposure in ultra-low concentrations.

However, when planning studies to assess the impact of heavy metals on public health, it is not enough to rely only on the mechanisms of their toxic effects and indicators of acute and chronic toxicity. To assess the toxicological properties and indicators of risks to public health, it is necessary to take into account the transformation of heavy metals when interacting with elements of environmental objects and take into account the routes of entry into the body and final compounds affecting biological objects and humans.

The purpose of the study is to study methodological aspects in the study of the toxic effects of heavy metals contained in environmental objects.

Results. The main forms of transformation of heavy metals in contact with elements of environmental objects (soil, water, atmospheric air) are considered. The importance of taking into account the final compounds of heavy metals formed during the transformation process when planning toxicological studies is noted. Options for solving the issue of assessing the toxicity of heavy metals under chronic exposure in ultra-low doses (less than MPC) and ways of interpreting the results are proposed.

Conclusion. The analysis allows us to say that when assessing the toxic effects of heavy metals on the human body with chronic intake in ultra-low doses, special attention is paid to the development and justification of markers of the toxic process in multicomponent biological test systems. At the same time, it is necessary to take into account not only the toxicological characteristics of heavy metals, but also the processes of their interaction with elements of environmental objects. The available analytical methods make it possible to conduct studies when heavy metals are exposed to biological objects in concentrations significantly less than MPC. The importance of the introduction of software products based on a multilayer neural network for predicting the probabilities of the development of toxic effects is noted, which will increase the effectiveness of the procedure for assessing risks to public health when exposed to TM in ultra-small doses.

Keywords: heavy metals, test-system, neural network, toxicity, environment, health

Введение

Направление современных исследований в области санитарно-гигиенического нормирования вредных веществ в окружающей среде указывает на необходимость детального изучения влияния тяжелых металлов (ТМ) на состояние здоровья населения.

Так по данным отчета Росгидромета на европейской территории России в 2020 году среднесуточная концентрация свинца в воздухе достигала значений пиковых значений более 30 мкг/л, кадмия – 10 мкг/м, ртути – 1,36 мкг/л. [1] При уровнях ПДК – 2 мкг/л, 0,3 мкг/л и 0,3 мкг/л соответственно [2].

По данным того же отчета массовая доля валовых (или кислоторастворимых) форм тяжелых металлов в почвах на территории России находится в диапазоне: для свинца – от 1,6 до 137 мг/кг; для кадмия – 0,07 до 4,0 мг/кг; для меди – от 1,2 до 281 мг/кг и для цинка – от 9,3 до 271 мг/кг. При значениях ПДК: для свинца 6 мг/кг, для меди – 3 мг/кг и цинка – 23 мг/кг [3].

В 2020 г. фоновое содержание ртути, свинца, кадмия в поверхностных водах большинства фоновых районов России соответствовало интервалам величин, наблюдаемых в последние годы, и составило для ртути от 0,13 до 1,76 мкг/л, свинца – от 0,16 до 0,53 мкг/л и кадмия - от 0,01 до 2,4 мкг/л. При нормах ПДК: 0,5 мкг/л, 30 мкг/л, 1,0 мкг/л соответственно [4].

Косвенным показателем загрязненности окружающей среды может выступать концентрация ТМ в растениях. Так в Центральном федеральном округе концентрация тяжелых металлов в растительном слое показывает наибольшие значения и составляет: для свинца - от 1,8 до 10,3 мг/кг; кадмия - от 0,48 до 4,8 мг/кг и меди - от 0,4 до 6,0 мг/кг.

Предполагается, что методические сложности при оценке вредного воздействия ТМ на организм человека возрастают в ряду исследований: вода – почва – воздух – биологические субстраты – продукты питания – биологические объекты, что подтверждается анализом трудов научной электронной библиотеки elibrary.ru. Так исследования относительно ТМ имеют примерно следующее распределение: индикация ТМ в почве и оценка их

вредного воздействия на биологические объекты – 40%; тоже самое относительно воды – 25%; биологических субстратов – 15%; растениях 10%; воздуха – 6 %; продуктов питания – 4%. Имеющееся распределение объяснимо степенью проработанности существующих методических аппаратов и сложностями при моделировании процессов естественного загрязнения объектов окружающей среды, продуктов и субстратов в лабораторных условиях. При этом обращает внимание, что вектор направленности исследователей не совсем совпадает с распределением вероятностных путей поступления ТМ в организм человека. Так согласно результатам многочисленных исследований, из всего количества токсичных веществ, регулярно поступающих в организм человека, около 70% поступает с пищей, 20% из воздуха и 10% с водой и ТМ не являются исключением из этой статистики.

Учитывая, имеющееся значимое воздействие ТМ на организм человека и прогнозируемое увеличение уровня этого воздействия в связи с индустриальным и техногенным развитием промышленности, исследования, направленные на совершенствование методических подходов к оценке воздействия ТМ на организм человека, сохраняют свою актуальность.

В работах, посвященных проблемам загрязнения окружающей природной среды и экологического мониторинга, на сегодняшний день к ТМ относят более 40 металлов периодической системы Д.И. Менделеева с атомной массой свыше 50 атомных единиц: V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Bi и др. [5]. При этом немаловажную роль в категорировании ТМ играют следующие условия: их высокая токсичность для живых организмов в относительно низких концентрациях, а также способность к биоаккумуляции.

С другой стороны, согласно решению Целевой группы по выбросам ТМ, работающей под эгидой Европейской Экономической Комиссии ООН и занимающейся сбором и анализом информации о выбросах загрязняющих веществ в европейских странах, только Zn, As, Se и Sb были отнесены к ТМ.

В то же время в перечне химических веществ, подлежащих определению в природных средах на фоновых станциях в биосферных заповедниках, в разделе ТМ названы Pb, Hg, Cd, As [1].

В итоге, к ТМ, представляющих потенциальные наиболее опасные загрязнители окружающей среды и наибольшую опасность для здоровья населения по мнению большинства исследователей следует отнести Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg. [5,6,7,8].

Однако, при планировании исследований по оценке влияния ТМ на здоровье населения недостаточно опираться только на механизмы их токсического действия и показатели острой и хронической токсичности. Для оценки токсикологических свойств и показателей рисков для здоровья населения необходимо учитывать эволюцию ТМ в каждой отдельной цепочке начиная от источника загрязнения до организма человека. Если точнее, то необходимо оценивать токсичность вероятных соединений ТМ образованных в результате взаимодействия с химическими компонентами объектов окружающей среды, растений, продуктов питания и т.д.

Так почвы представляют собой гетерогенные смеси различных органических и органоминеральных субстанций, глинистых минералов, оксидов железа, алюминия и марганца, и других твердых компонентов, а также разнообразных растворимых веществ. На поведение тяжелых металлов в почве оказывает влияние тип почвы, кислотность, содержание органического вещества, механический и минералогический состав почвы, сорбционная емкость почвенно-поглощающего комплекса (ППК), буферность и pH почв [9].

Сорбционное поглощение металлов зависит от насыщенности коллоидного комплекса почв обменными катионами и содержания гуминовых кислот. Ионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} и гуминовые кислоты повышают сорбционную емкость почв, способствуют образованию фиксированных форм металлов, мобилизуют защитные свойства почв. Почвы с высоким содержанием гуминовых кислот, поглощая значительное количество токсичных элементов,

снижают их доступность для растений. Увеличение же доли фульвокислот в составе почв способствует образованию мобильных форм [10].

В качестве примера можно привести результаты исследований, в которых показано, что свинец приоритетно сорбируется алюмосиликатными гелями: поглощается ими в гораздо большей массе, чем Cu, Zn, Cd, Co, Ni. При этом свинец преимущественно закрепляется более стабильными гуматами почвы. Во многих загрязненных почвах свинец сорбируется на гидроксидах железа и оксидах марганца или входит в состав минералов: сульфатов (англезит PbSO_4), карбонатов (церуссит PbCO_3) и оксидов (глёт PbO), фосфат свинца – пироморфит $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$ [27]. Поэтому устойчивость в почвах повлекла за собой резкое увеличение ПДК свинца в западных странах. Значения ПДК свинца в городских почвах в Англии 300 мг/кг, в Канаде 500 и 1000 мг/кг, в США – 2000 мг/кг [11].

Относительно цинка и свинца, так же отмечено, что в отличие от кадмия, кобальта, никеля, тория, достоверно усиливающих эмиссию CO_2 в загрязненной почве, влияние этих металлов было не значимым [12]. Так, вблизи завода цветной металлургии, почвы были сильно загрязнены цинком, его содержание в 10–100 раз превышало фоновые значения. Тем не менее, овощная продукция оказалась не загрязненной. Это можно объяснить как сорбированием Zn компонентами почвы, так и защитными свойствами самих культур [13, 14]. Основными соединениями цинка в почве являются: сорбированный ферригидритом (30%), фосфат цинка (28%), Zn-содержащий керолит (слоистый алюмосиликат) (24%), виллемит (силикат цинка) (11%).

Принимая во внимание сказанное выше, на сегодняшний день, с учетом современных экотоксикологических данных нидерландских экологов, опасные тяжелые металлы/металлоиды в почве образуют ряд: $\text{Se} > \text{Tl} > \text{Sb} > \text{Cd} > \text{V} > \text{Hg} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{As} > \text{Ba}$.

Этот ряд сильно отличается от ряда опасности тяжелых элементов, принятого в России в соответствии с ГОСТ 17.4.1.02-83, в котором опасность Pb, Zn, Co в почвах преувеличена, а V, Sb, Ba – недооценена.

Переходя к проблемам загрязнения воды следует отметить, что качестве водных ксенобиотиков на сегодняшний день наиболее актуальны ТМ: Hg, Pb, Cd, Sn, Zn, Mg, Ni.

При попадании в водную среду тяжелые металлы могут существовать в различных агрегатных состояниях. Грубодисперсные системы — это взвешенные формы, включающие органические и неорганические соединения металлов, сорбированные на взвешенных веществах или входящие в их состав, химически связанные с ними. Мелкодисперсные системы представлены коллоидными формами, которые выделяют, как промежуточные формы между растворенной и взвешенной, образующие с грубодисперсными формами гетерогенные системы. И истинно растворенные формы, образующие гомогенные системы [15].

Воздействие pH среды и окислительно-восстановительных условий на миграции элементов в воде выражено в том, что эти факторы могут контролировать осаждения тяжелых металлов из растворов, коагуляции коллоидов, подвижности металлов. При повышении pH воды растворенные катионные формы металлов переходят в нерастворенные формы, адсорбируются на поверхности твердых частиц взвешенных веществ, которые находятся в водной среде, и осаждаются в донных отложениях (таблица 1).

Таблица 1 - Формы тяжелых металлов в воде в зависимости от pH среды

Металл	Значение pH	Форма металла
Zn	менее 7	Zn^{2+}_{aq}
	7 - 8	$[Zn(OH)]^+$
	более 8	$Zn(OH)_2$
Ni	менее 7	Ni^{2+}_{aq}
	менее 9	NiL
	6 - 9	$NiCO_3$, $[Ni(OH)]^+$; $Ni(OH)_2$
Pb	менее 4	Pb^{2+}_{aq}
	5 - 7	PbL, $PbCO_3$
	6 - 10	$[Pb(OH)]^+$
	более 10	$Pb(OH)_2$
Cd	менее 7	Cd^{2+}_{aq}

	5 - 7	CdL
	6 - 10	Cd(OH) ₂ ; [Cd(OH)] ⁺ , [Cd(OH) ₃] ⁻
	более 8	CdCO ₃
Примечание: L – лиганд.		

Самым активным, естественно участвующим в обменном процессе с водной средой является верхний (0–10 см) слой донных отложений [15].

Что же касается атмосферного воздуха, то его элементный состав меньше всего оказывает воздействия на ТМ. Они выступают в воздухе в форме газа или в твердом состоянии. В газообразном виде, то есть в виде пара, в воздухе выступают металлы с высокой плотностью, например, ртуть.

Более распространенной формой существования металлов в воздухе являются пыли с диаметром частиц менее 2 мкм. В регионах с развитой промышленностью и транспортом в пыли находится значительное количество ионов тяжелых металлов таких как Pb, Cd, Ni, Cu, Zn, Cr. Так только в одном С-Петербурге за год в результате сгорания автомобильного топлива в атмосферный воздух поступает 11000 тонн соединений тяжелых металлов, основной состав которых представлен рядом: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn [16].

В настоящее время регламент влияния ТМ на организм человека определен значениями предельно-допустимых концентраций (ПДК) с учетом безопасного воздействия на протяжении всей жизни. Однако существующая проблема обоснования показателей ПДК позволяет актуализировать вопрос о необходимости изучения токсического действия ТМ при длительном хроническом воздействии концентраций ниже ПДК. Так, например в России ПДК для Ni в почве составляет 85 мг/кг, а в странах Западной Европы никель считается более опасным, и его предельная концентрация в почвах изменяется от 10 в Дании до 50 мг/кг в Германии [17].

Следует отметить, что вопросы разработки моделей, основанных на выявлении зависимостей между выраженностью токсического эффекта и скоростью накопления ТМ в организме человека при хронических

поступлениях с водой, пищей и воздухом в сверхмалых концентрациях в последнее время набирают все большую популярность в целях гигиенического нормирования. Ведущую роль в этих исследованиях играют биологические методы качественной и количественной индикации тяжелых металлов в объектах окружающей среды. Которые основаны на выявлении связей между показателями концентраций ТМ в растениях, биологических тест-объектах или биологических субстратах и объектах окружающей среды [18,19,20]. Исследования проводятся на мхах, лишайниках, культурных и дикорастущих растениях, биологических субстратах, клеточных культурах, органах, организмах [21-25]. В качестве аналитического сопровождения исследований, в практике находят применение современные методы спектрографии, отличающиеся, наряду с высокой избирательностью и достаточной чувствительностью, возможностью одновременного определения в одной пробе ряда элементов [26]. Существуют методические разработки определения металлов в биологических средах методом атомно-абсорбционной спектрометрии, являющимся достаточно экспрессным, чувствительным и селективным в современной аналитической практике [27]. Продолжается непрерывная работа над разработками и аттестацией методик выполнения измерений массовых концентраций ряда элементов в биологических пробах вольтамперометрическим методом. Метод вольтамперометрии, в частности инверсионной вольтамперометрии, отличается высокой чувствительностью и в то же время простотой, дешевизной оборудования, находит применение в анализе пищевых продуктов, фармпрепаратов и лекарственного сырья, биологических объектов [28].

Однако, изучение вопросов токсического действия ТМ при хроническом воздействии в сверхмалых концентрациях (дозах) требуют разработки и обоснования новых маркеров токсических эффектов, методов и критериев оценки токсического эффекта, а также способов прогнозирования вероятностей развития токсических эффектов (заболеваний) у человека. В качестве решения вопроса предлагаются многокомпонентные биологические тест-системы,

основанные на использовании биообъектов с разным уровнем структурной организации, это позволит разработать математические модели на основе многослойной нейронной сети для прогнозирования вероятности развития токсических эффектов у биологических объектов и человека в зависимости от условия воздействия ТМ [29, 30].

Предлагаемые в статье подходы позволят повысить качество исследований по оценке рисков для здоровья населения при воздействии ТМ, содержащихся в объектах окружающей среды на здоровье население [31].

Заключение. Проведенный анализ позволяет сказать, что при оценке токсического воздействия тяжелых металлов на организм человека при хроническом поступлении в сверхмалых дозах особое внимание отводится разработке и обоснованию маркеров токсического процесса в многокомпонентных биологических тест-системах. При этом, необходимо учитывать не только токсикологические характеристики тяжелых металлов, но и процессы взаимодействия их с элементами объектов окружающей среды. Имеющиеся аналитические методы позволяют проводить исследования при воздействии тяжелых металлов на биологические объекты в концентрациях значительно меньше ПДК. Отмечена перспективность внедрения программных продуктов на основе многослойной нейронной сети для прогнозирования вероятностей развития токсических эффектов от времени воздействия, которые позволят повысить эффективность процедуры оценки рисков для здоровья населения при длительном воздействии ТМ в концентрациях не превышающих предельно допустимые.

Литература

1. *Обзор загрязнения окружающей природной среды в Российской Федерации за 2021 г.* М.: 2022.
2. ГН 2.1.6.3492-17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений.

3. ГН 2.1.7.2041 Почва, очистка населенных мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве.

4. ГН 2.1.5.689-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

5. Теплая Г.А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды (обзор литературы). *Астраханский вестник экологического образования*. 2013; 1(23): 182-192.

6. Ахполова В.О., Брин В.Б. Современные представления о кинетике и патогенезе токсического воздействия тяжелых металлов (обзор литературы). *Вестник новых медицинских технологий*. 2020; 27 (1): 55–61.

7. Медведев И.Ф., Деревягин С.С. *Тяжелые металлы в экосистемах*. Саратов: «Ракурс»; 2017.

8. Водяницкий Ю.Н., Ладонин Д.В., Савичев А.Т. *Загрязнение почв тяжелыми металлами*. М.: МГУ; 2012.

9. Пейве Я. В. *Биохимия почв*. М.: Сельхозиздат; 1961.

10. Куликова Н. А. Связывающая способность и детоксирующие свойства гумусовых кислот отношению к атразину. *Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. биологических наук*. 2003.

11. Водяницкий Ю. Н. Об опасных тяжелых металлах/металлоидах в почвах 2011 г. *Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2011; 68: 58-82.

12. Павлова Н.Н., Егорова Е.И. Некоторые показатели биологической активности почвенных микроорганизмов как индикаторы антропогенного загрязнения почв тяжелыми металлами и радионуклидами. *Современные проблемы загрязнения почв. II Международная конференция Москва, 2007; Т. 2: 146–148*.

13. Ильин В.Б. О загрязнении тяжелыми металлами почв и сельскохозяйственных культур предприятием цветной металлургии. *Агрохимия*. 1990; 3: 92–98.
14. Ильин В.Б. Оценка существующих нормативов содержания тяжелых металлов в почве. *Агрохимия*. 2000; 9: 74–79.
15. Давыдова О.А., Климов Е.С., Ваганова Е.С. и др. *Влияние физико-химических факторов на содержание тяжелых металлов в водных экосистемах*. Ульяновск: УлГТУ; 2014.
16. Рахманин Ю.А., Леванчук А.В. Количественная пространственно-временная оценка загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух в результате сгорания топлива автомобильного транспорта. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(11): 1021-1024.
17. Водяницкий Ю.Н. *Тяжелые металлы и металлоиды в почвах*. – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН; 2008.
18. Алексеева, Т. П. Игнатов К.А. Накопление тяжелых металлов в клетках растений. *Молодой исследователь: вызовы и перспективы. Сборник статей по материалам LCI международной научно-практической конференции*. 2018; 38 (91): 105-108.
19. Чанчаева Е. А., Гржибовский А. М., Сухова М.Г. Количественное содержание свинца в волосах населения России: систематический обзор. *Экология человека*. 2022; 6: 371-389.
20. Щепеткова К. М., Батоцыренова Е. Г., Литвиненко Л. А. и др. Антиоксидантная система и перекисное окисление липидов в эритроцитах крыс при низкодозовом воздействии ацетатом ртути. *Педиатр*. 2022; 13 (2): 25-34.
21. Постникова В. В., Погоньшева И. А., Сторчак Т. В. Исследования, проведенные в Европейском регионе Всемирной организации здравоохранения, связанные с влиянием тяжелых металлов на организм человека. *Окружающая среда и здоровье человека: опыт стран Евросоюза : материалы научно-практического семинара*. Нижневартовск; 2018: 33-40.

22. Корякина Л. П., Григорьева Н. Н., Павлова А. И. и др. Содержание тяжелых металлов в говядине в зависимости от биогеопровинций Якутии. *Ветеринария и кормление*. 2020; 7: 25-28.

23. Ильясова Р.Р., Саптаров Ю.Н., Князева О.А. и др. Определение ионов тяжелых металлов методом атомно-абсорбционной спектрометрии в плазме крови при интоксикации медно-цинковой колчеданной рудой. *Вестник Башкирского университета*. 2018; 23 (2): 316-322.

24. Торопов Л. И., Фотина И.В., Игнатова А.М. Взаимосвязь уровня накопления тяжелых металлов в организме человека с их содержанием в окружающей среде в зимний период на территории г. Перми. *Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения : Материалы всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием*. Пермь, 07–11 окт. 2019 г. Пермь: 2019: 330-334.

25. Скальный А.В., Сальникова Е.В., Кудрявцева Е.А. и др. Аккумуляция тяжелых металлов и микроэлементов в волосах населения Оренбургской области. *Микроэлементы в медицине*. 2012; 13(4): 42-451.

26. Нурсеитова А. М. Исследования проб для атомно-эмиссионного спектрального анализа. *Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана*. 2021; 9: 3-5.

27. Ильясова Р. Р., Саптаров Ю. Н., Князева О. А. и др. Определение ионов тяжелых металлов методом атомно-абсорбционной спектрометрии в плазме крови при интоксикации медно-цинковой колчеданной рудой. *Вестник Башкирского университета*. 2018; 23(2): 316-322.

28. Ворошкевич И. А. Исследование токсичных элементов в минеральной воде методом инверсионной вольтамперметрии. *Материалы XXIII Всероссийского экономического форума молодых ученых и студентов, Екатеринбург, 27–30 апр. 2020 года*. Екатеринбург; 2020. ч. I: 61-64.

29. Сергеева М. П., Михайлова П.Г. Разработка нейросетевых моделей прогнозирования нейротоксичности органических растворителей. *Успехи в химии и химической технологии*. 2021; 35(3): 54-56.

30. Гусева Е. А. Применение методов математического моделирования при выборе начальных доз тестирования острой токсичности химических соединений. *Здоровье и окружающая среда : сборник материалов международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию республиканского унитарного предприятия «научно-практический центр гигиены»*, Минск, 24–25 нояб. 2022 г. Минск: 2022: 478-479.

31. Карабаева А. З., Юков Е.С., Лошкарев Ю.В. Создание медико-географической карты Астраханской области с использованием ГИС-технологии. *Астраханский вестник экологического образования*. 2019; 6(54): 94-98.

References

1. Overview of environmental pollution in the Russian Federation for 2021. М.: 202. (in Russian).
2. GN 2.1.6.3492-17. Maximum allowable concentrations (MAC) of pollutants in the atmospheric air of urban and rural settlements (in Russian).
3. GN 2.1.7.2041 Soil, cleaning of populated areas, waste of production and consumption, sanitary protection of soil. Maximum allowable concentrations (MAC) of chemicals in the soil (in Russian).
4. GN 2.1.5.689-98 Maximum allowable concentrations (MAC) of chemicals in the water of water bodies of economic and drinking and cultural and domestic water use (in Russian).
5. Teplaya G.A. Heavy metals as a factor of environmental pollution (literature review). *Astrakhan Bulletin of Environmental Education*. 2013; 1(23): 182-192 (in Russian).
6. Akhpolova V.O., Brin V.B. Modern ideas about the kinetics and pathogenesis of toxic effects of heavy metals (literature review). *Bulletin of New Medical Technologies*. 2020; 27 (1): 55–61 (in Russian).

7. Medvedev I.F., Derevyagin S.S. *Heavy metals in ecosystems*. Saratov: «Rakurs»; 2017 (in Russian).
8. Vodyanitsky Yu.N., Ladonin D.V., Savichev A.T. *Soil pollution by heavy metals*. M: MSU; 2012 (in Russian).
9. Peive Ya. V. *Biochemistry of soils*. M.: Selhozdat; 1961 (in Russian).
10. Kulikova N.A. Binding ability and detoxifying properties of humic acids in relation to atrazine. *Abstract dis. for the competition scientist step. cand. biological sciences*. 2003 (in Russian).
11. Vodyanitsky Yu. N. On hazardous heavy metals/metalloids in soils 2011 *Bulletin of the Soil Institute*. V.V. Dokuchaev. 2011; 68:58-82. (in Russian)
12. Pavlova N.N., Egorova E.I. Some indicators of the biological activity of soil microorganisms as indicators of anthropogenic contamination of soils with heavy metals and radionuclides. *Modern problems of soil pollution. II International Conference Moscow*, 2007; T. 2: 146–148 (in Russian).
13. Ilyin V.B. On heavy metal pollution of soils and agricultural crops by a non-ferrous metallurgy enterprise. *Agrochemistry*. 1990; 3:92–98 (in Russian).
14. Ilyin V.B. Assessment of existing standards for the content of heavy metals in soil. *Agrochemistry*. 2000; 9: 74–79 (in Russian).
15. Davydova O.A., Klimov E.S., Vaganova E.S. *Influence of physical and chemical factors on the content of heavy metals in aquatic ecosystems*. Ulyanovsk: UlGTU; 2014 (in Russian).
16. Rakhmanin Yu.A., Levanchuk A.V. Quantitative spatio-temporal assessment of pollutants entering the atmospheric air as a result of the combustion of motor transport fuel. *Hygiene and sanitation*. 2016; 95(11): 1021-1024 (in Russian).
17. Vodyanitsky Yu.N. *Heavy metals and metalloids in soils*. - M.: Soil Institute. V.V. Dokuchaev RAAS; 2008 (in Russian).
18. Alekseeva, T.P. Ignatov K.A. Accumulation of heavy metals in plant cells. *Young Researcher : Challenges and Prospects. Collection of articles based on the materials of the LCI international scientific and practical conference*. 2018; 38 (91): 105-108 (in Russian).

19. Chanchaeva E. A., Grzhibovsky A. M., Sukhova M. G. The quantitative content of lead in the hair of the Russian population: a systematic review. *Human ecology*. 2022; 6:371-389 (in Russian).
20. Shchepetkova K. M., Batotsyrenova E. G., Litvinenko L. A. et al. Antioxidant system and lipid peroxidation in rat erythrocytes under low-dose exposure to mercury acetate. *Pediatrician*. 2022; 13(2):25-34 (in Russian).
21. Postnikova V. V., Pogonysheva I. A., Storchak T. V. Studies conducted in the European Region of the World Health Organization related to the influence of heavy metals on the human body. *Environment and human health: the experience of the EU countries: materials of the scientific and practical seminar*. Nizhnevartovsk; 2018: 33-40 (in Russian).
22. Koryakina L.P., Grigoryeva N.N., Pavlova A.I. et al. The content of heavy metals in beef depending on the biogeoprovinces of Yakutia. *Veterinary and nutrition*. 2020; 7:25-28 (in Russian).
23. Ilyasova R.R., Saptarov Yu.N., Knyazeva O.A. Determination of heavy metal ions by atomic absorption spectrometry in blood plasma during intoxication with copper-zinc pyrite ore. *Bulletin of the Bashkir University*. 2018; 23(2): 316-322 (in Russian).
24. Toropov L.I., Fotina I.V., Ignatova A.M. Interrelation of the level of accumulation of heavy metals in the human body with their content in the environment in winter in the territory of Perm. *Fundamental and applied aspects of public health risk analysis: Proceedings of the All-Russian scientific and practical Internet conference of young scientists and specialists of Rospotrebnadzor with international participation*. Perm, 07–11 Oct. 2019 Perm: 2019: 330-334 (in Russian).
25. Skalny A.V., Salnikova E.V., Kudryavtseva E.A. and other Accumulation of heavy metals and microelements in the hair of the population of the Orenburg region. *Microelements in medicine*. 2012; 13(4): 42-451 (in Russian).
26. Nurseitova AM Study of samples for atomic emission spectral analysis. *Science, new technologies and innovations of Kyrgyzstan*. 2021; 9:3-5 (in Russian).

27. Ilyasova R. R., Saptarov Yu. N., Knyazeva O. A. et al. Determination of heavy metal ions by atomic absorption spectrometry in blood plasma during intoxication with copper-zinc pyrite ore. *Bulletin of the Bashkir University*. 2018; 23(2): 316-322 (in Russian).
28. Voroshkevich IA Investigation of toxic elements in mineral water by stripping voltammetry. *Proceedings of the XXIII All-Russian Economic Forum of Young Scientists and Students*, Yekaterinburg, April 27–30. 2020. Ekaterinburg; 2020. Part I: 61-64 (in Russian).
29. Sergeeva M. P., Mikhailova P. G. Development of neural network models for predicting the neurotoxicity of organic solvents. *Advances in chemistry and chemical technology*. 2021; 35(3): 54-56 (in Russian).
30. Guseva E. A. Application of mathematical modeling methods in the choice of initial doses for testing the acute toxicity of chemical compounds. *Health and the environment: a collection of materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of the republican unitary enterprise "scientific and practical center of hygiene"*, Minsk, November 24–25. 2022 Minsk: 2022: 478-479 (in Russian).
31. Karabaeva A. Z., Yukov E.S., Loshkarev Yu.V. Creation of a medical-geographical map of the Astrakhan region using GIS technology. *Astrakhan Bulletin of Ecological Education*. 2019; 6(54): 94-98 (in Russian).

Информация об авторах статьи:

Эрдниев Леонид Петрович (Erdniev Leonid Petrovich) – старший научный сотрудник лаборатории химико-биологического мониторинга качества воды Саратовского МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», преподаватель ГАПОУ СО «Саратовского областного базового медицинского колледжа», кандидат медицинских наук; leonid-erdniev@yandex.ru ORCID: 0000-0001-5187-7361

Морозов Игорь Александрович – директор ГАПОУ СО «Саратовского областного базового медицинского колледжа», кандидат медицинских наук; sobmk@rambler.ru ID РИНЦ:587603 SPIN-код: 7852-6925

Гусев Юрий Сергеевич – начальник лаборатории химико-биологического мониторинга качества воды Саратовского МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», кандидат биологических наук; yuran1989@yandex.ru ORCID: 0000-0001-7379-484X

Неменуцкая Елена Олеговна – заместитель директора по дополнительному образованию – начальник центра дополнительного образования ГАПОУ СО «Саратовского областного базового медицинского колледжа»; sobmk@rambler.ru

Контактное лицо: Эрдниев Леонид Петрович. конт. тел:+79173220255; 410028 Саратов, ул. Чернышевского Н.Г., д.151; leonid-erdniev@yandex.ru