

Читайте
онлайн
Read
online

Евсеева И.С., Ушакова О.В., Каменецкая Д.Б., Юдин С.М.

Проблемы и перспективы нормирования молибдена в почве

ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью»
Федерального медико-биологического агентства, 119121, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Нормирование химических веществ в почве — одно из сложных и перспективных направлений гигиены. В настоящее время на территории Российской Федерации отсутствует утверждённый норматив содержания молибдена в почве. Как показывают исследования последних лет, молибден способен значительно загрязнять почву, особенно в местах техногенных выбросов, и его избыточное содержание в почве может привести к отрицательным последствиям для здоровья человека.

Цель исследования заключалась в определении на основе данных литературы и собственных исследований перспектив и проблем нормирования молибдена (Мо) в почве.

Материалы и методы. Для поиска публикаций о влиянии молибдена на состояние окружающей среды и здоровье населения использовали базы данных PubMed, Scopus, Web of Science, MedLine, Global Health, RINЦ. Проведены натурные исследования содержания молибдена в почве различного назначения: г. Курчатова Курской области и г. Яровое Алтайского края.

Результаты. Установлено, что содержание молибдена в почве города с развитой химической промышленностью превышает этот показатель в почве города с ядерной промышленностью более чем в два раза. Коэффициент концентрации химического вещества (K_c) молибдена на изученных территориях больше 1, что может значительно влиять на суммарный индекс загрязнения почв. Установлено также, что содержание Мо в почве исследуемых территорий превышает нормативы, установленные в других странах. Показано, что без разработки единого норматива оценить качество и безопасность как почв, так и продукции, выращенной на территориях, потенциально загрязнённых молибденом, невозможно. Также отмечена необходимость совершенствования нормативной базы для лабораторных методов определения молибдена в почве.

Ограничения исследования: отбор проб проведён на двух территориях с развитой ядерной и химической промышленностью, почвы территорий с другими источниками загрязнения не изучали.

Заключение. Разработка гигиенически обоснованного норматива предельно допустимой концентрации молибдена в почве позволит объективно выявлять как источники загрязнения, так и возможность негативного влияния Мо на население.

Ключевые слова: молибден; нормирование; почва; здоровье; тяжёлые металлы

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Евсеева И.С., Ушакова О.В., Каменецкая Д.Б., Юдин С.М. Проблемы и перспективы нормирования молибдена в почве. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(10): 1263–1268. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-10-1263-1268> <https://elibrary.ru/bjievx>

Для корреспонденции: Евсеева Ирина Сергеевна, e-mail: levseeva@cspfmba.ru

Участие авторов: Евсеева И.С. — концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, написание текста, редактирование; Ушакова О.В. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование; Каменецкая Д.Б. — сбор материала и обработка данных, написание текста, редактирование; Юдин С.М. — концепция исследования, редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания.

Поступила: 26.07.2024 / Принята к печати: 15.10.2025 / Опубликовано: 14.11.2025

Irina S. Evseeva, Olga V. Ushakova, Daria B. Kamenetskaya, Sergey M. Yudin

Problems and prospects of standardization of molybdenum in soil

Center for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Rationing of chemicals in the soil is one of the promising and challenging areas in hygiene. Currently, there is no approved standard for the molybdenum content in the soil in the Russian Federation. As studies in recent years have shown, molybdenum can be a massive soil pollutant, especially in places of its man-made emissions, and its excessive content in the soil can lead to adverse consequences for human health.

The purpose of the study. To determine the prospects and problems of molybdenum rationing in soil based on the literature data and own research data.

Materials and methods. Literature sources on the effects of molybdenum on the environment and public health were studied using the following databases in the literature search: PubMed, Scopus, Web of Science, MedLine, Global Health, RSCI. Field studies were conducted on the molybdenum content in the soil for various purposes in the Kurchatov, Kursk region and in Yarovoye, Altai Territory.

Results. The levels of molybdenum in the soil of a city with a developed chemical industry have been established to exceed the levels of molybdenum in the soil of a city with a nuclear industry by more than 2 times. The concentration coefficient of the chemical substance (K_c) molybdenum in the studied territories exceeds 1, which can significantly affect the total soil pollution index. The molybdenum content in the studied territories was also found to exceed the standards established in other countries. It is shown that without creating a single standard for the molybdenum content in the soil, it is impossible to assess the quality and safety of both soils and products grown in areas potentially contaminated with molybdenum. The need to improve the methodological base on laboratory methods for the determination of molybdenum in soil was also noted.

Limitations. The studies were conducted on soils selected from two territories with developed nuclear and chemical industries, and did not affect territories with other sources of pollution.

Conclusion. The creation of a hygienically sound standard for the maximum permissible concentration of molybdenum in the soil makes it possible to objectively identify both the sources of pollution and the possibility of assessing its adverse impact on the population.

Keywords: molybdenum; soil; regulation; heavy metals; health

Compliance with ethical standards. The study does not require submission to a biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Evseeva I.S., Ushakova O.V., Kamenetskaya D.B., Yudin S.M. Problems and prospects of standardization of molybdenum in soil. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal.* 2025; 104(10): 1263–1268. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-10-1263-1268> <https://elibrary.ru/bjievx> (In Russ.)

For correspondence: Irina S. Evseeva, e-mail: levseeva@cspfmba.ru

Contribution: Evseeva I.S. — concept and design of research, collection of material and data processing, text writing, editing; Ushakova O.V. — concept and design of the study, writing, editing; Kamenetskaya D.B. — collection of material and data processing, text writing, editing; Yudin S.M. — research concept, editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Funding. The study was carried out within the framework of a state assignment.

Received: July 26, 2025 / Accepted: October 15, 2025 / Published: November 14, 2025

Введение

Нормирование химических веществ в почве — одно из сложных и перспективных направлений гигиены. Согласно распоряжению Правительства Российской Федерации от 20.10.2023 г. № 2909-р (ред. от 05.06.2024 г.) «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды», молибден и его неорганические соединения (молибдена (III) оксид, парамолибдат аммония и др.) (по молибдену) относятся к веществам, перспективным для контроля в почве. Биологически молибден (Мо) играет важную роль в качестве микроэлемента для растений и животных, в том числе человека. На протяжении нескольких лет Мо рассматривался как вещество, входящее в состав удобрений. Однако, как показывают исследования последних лет, он может быть массивным загрязнителем почвы, особенно в местах техногенных выбросов.

Молибден широко используется в металлургической промышленности для производства легированных конструкционных и нержавеющей сталей различных марок и изделий из металлического молибдена (80% потребления), в химической промышленности для производства катализаторов (10%), а также в пигментах красителей, компонентов, в составе микроудобрений. Природный сульфид молибдена (молибденит) используется также в качестве твёрдой антифрикционной смазки. Молибденовые продукты во многих странах относятся к критическим материалам, в том числе в США, ЕС, Индии [1, 2]. Особой областью применения молибдена являются наноматериалы. Наночастицы (НЧ) широко применяются в промышленности, однако информации об их воздействии на здоровье человека и окружающую среду недостаточно. Наночастицы молибдена применяются в электронной промышленности, при производстве режущих инструментов, твёрдых сплавов, текстиля, микроэлектронных плёнок, покрытий, пластиков, нанопроводов и рентгеновских трубок. Так, MoO_3 широко используют в пищевой, химической, медицинской и прочих отраслях промышленности. Наноматериалы на его основе имеют сверхвысокую удельную площадь поверхности и уникальные оптические, электронные, каталитические и механические свойства, однако, обладая высокой проникающей способностью, молибден может в избытке накапливаться в органах и тканях организма, влияя на их структурную целостность и функциональную активность.

Отмечено, что использование Мо в составе удобрений может привести к накоплению его в сельскохозяйственных растениях, что открывает путь воздействия на организм человека при алиментарном поступлении и увеличивает риск возникновения патологических изменений, вызванных токсическими эффектами. Результаты исследований доказывают наличие токсических свойств у НЧ MoO_3 при пероральном поступлении, что накладывает ограничения на их использование в сельскохозяйственной отрасли и требует дальнейшего изучения возможных негативных эффектов [3–5].

Одна из областей применения молибдена — нефтеперерабатывающая промышленность (изготовление катализаторов доочистки нефти). Увеличение производства и потребления продуктов нефтепереработки ведёт к увеличению объёма токсичных отходов, содержащих молибден, что способствует значительному загрязнению почвы как на самих полигонах захоронения промышленных отходов, так и на прилегающих территориях [12].

Молибден является потенциально токсичным веществом для человека, однако механизм токсического действия практически неизвестен. Чрезмерное потребление богатых молибденом зерновых, семян и бобовых может привести к отложению его в мягких тканях и суставах, вызывая симптомы артрита. Отравление молибденом вызывает сильное раздражение желудочно-кишечного тракта, диарею, у животных может вызывать смерть от сердечной недостаточности. Научные исследования установили связь между содержанием молибдена в почве и заболеваемостью рассеянным склерозом [6–11].

Установлено, что рядом с предприятиями цветной металлургии содержание Мо в почве может быть превышено по сравнению с фоновым на расстоянии до 500 м от источника загрязнения. Изучение зелёной массы овощных культур (горох, капуста), выращенных на таких территориях, показало, что содержание молибдена достаточно высоко, и это связано с повышенным содержанием его в почве [13].

Нормирование молибдена в почве было предметом исследований в 80–90-х годах XX века, однако норматив так и не установлен. В настоящее время с учётом новых данных о влиянии молибдена на организм человека и объекты окружающей среды, развития отраслей промышленности, в которых используется молибден и его соединения, будет своевременным и необходимым совершенствование лабораторно-методической базы для установления норматива молибдена в почве.

Цель исследования — определение на основе данных литературы и собственных исследований перспектив и проблем нормирования молибдена в почве.

Материалы и методы

Изучены литературные источники о влиянии молибдена на состояние окружающей среды и здоровье населения. Использовали базы данных PubMed, Scopus, Web of Science, MedLine, Global Health, РИНЦ. Проведены натурные исследования с установлением уровня содержания молибдена в почве (г. Курчатова Курской области и г. Яровое Алтайского края). Почвенные образцы отобраны в соответствии с нормативными требованиями. Исследования проведены в соответствии с общепринятыми принципами оценки качества почв согласно действующим документам: СанПиН 1.2.3685–21, СанПиН 2.1.3684–21, МУ 2.1.7.730–99. Оценка химического загрязнения почв как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения проводилась по показателям, разработанным при сопряжённых геохимических

Эффекты токсического влияния молибдена на животных при пероральном поступлении молибдена

Toxic effects of molybdenum on animals under oral administration of molybdenum

Таблица 1 / Table 1

Доза, мг/кг/день Dose, mg/kg/day	Эффект у животных в зависимости от длительности воздействия Effect in animals depending on exposure duration
51–75	Подострое воздействие: анемия у кроликов, уменьшение прибавки массы тела у крыс, гиперплазия почечных канальцев у крыс Subacute effects: anemia in rabbits, decreased weight gain in rats, renal tubular hyperplasia in rats
26–50	Острое воздействие: повреждение зубной эмали у крыс. Подострое воздействие: уменьшение прибавки массы тела у крыс Acute effects: damage to tooth enamel in rats. Subacute effects: decreased weight gain in rats
1–25	Острое воздействие: снижение количества сперматозоидов и увеличение аномалий в сперматозоидах у крыс, аномалии в ооцитах крыс. Подострое воздействие: изменение эстрогенового цикла Acute exposure: decreased sperm count and increased sperm abnormalities in rats, abnormalities in rat oocytes. Subacute exposure: altered estrogen cycle

и геоигиенических исследованиях окружающей среды городов с действующими источниками загрязнения. Такими показателями были коэффициент концентрации химического вещества (K_c) и суммарный показатель загрязнения (Z_c). Коэффициент концентрации химического вещества (K_c) определяли как отношение фактического содержания определяемого вещества в почве (C_i) к региональному фоновому ($C_{фi}$): $K_c = C_i / C_{фi}$, где C_i – фактическое содержание определяемого вещества в почве, мг/кг; $C_{фi}$ – региональное фоновое содержание определяемого вещества, мг/кг.

Результаты

Анализ литературных данных показал, что воздействие молибдена на организм человека и окружающую среду изучено недостаточно полно, несмотря на его широкое использование в промышленности и сельском хозяйстве. В Российской Федерации молибден нормируется в воде водных объектов и атмосферном воздухе, а для почв норматив в настоящее время не установлен. В мире большинство почв содержит молибден в концентрациях от 0,6 до 3,5 мг/кг, хотя общие концентрации могут сильно варьироваться в зависимости от геологического состава или промышленного загрязнения. Средняя концентрация в почвах обычно составляет 1–2 мг/кг. Сообщалось, что в США этот показатель находится в пределах 1,2–1,3 мг/кг при диапазоне от 0,1 до 40 мг/кг. В Российской Федерации среднее содержание молибдена составляет 2 мг/кг.

Нормативы молибдена для почв установлены в странах:

- Республика Беларусь – ориентировочная допустимая концентрация (валовое содержание) – 10 мг/кг;
- США – 75 мг/кг – экологический норматив, 40 мг/кг – уровень санитарного контроля;
- ФРГ – 10 мг/кг;
- Чешская Республика – 50 мг/кг, уровень потенциально неприемлемого риска для почв жилой зоны – 100 мг/кг;
- Литовская Республика – 5 мг/кг;
- Словацкая Республика – 40 мг/кг, уровень потенциально неприемлемого риска для почв жилой зоны – 200 мг/кг;
- Дания – 5 мг/кг;
- Нидерланды – 253 мг/кг;
- Австралия – установлены нормативы для почв различного функционального назначения: для типа почв А (стандартное жилое помещение с садом, доступной почвой (домашняя продукция составляет менее 10% потребления овощей и фруктов, нет домашней птицы), детские сады, дошкольные учреждения и начальные школы) норматив составляет 390 мг/кг, для типа почв F (коммерческие, промышленные помещения, в том числе магазины и офисы, а также фабрики и промышленные площадки) – 5100 мг/кг [14].

Воздействие молибдена на население в целом происходит почти исключительно через пищу. Продукты, полученные из надземных частей растений (бобовые, листовые овощи, цветная капуста), как правило, содержат относительно более

высокую концентрацию молибдена по сравнению с продуктами, полученными из клубней или сырья животного происхождения. Фасоль, зерновые злаки, листовые овощи, бобовые, печень и молоко считаются самыми богатыми источниками молибдена в рационе человека. Почва и вода из источников, расположенных вблизи районов с высоким загрязнением молибденом промышленных сточных вод, может содержать более высокую концентрацию Мо. Этот элемент является важным для организма веществом – потребность взрослого человека составляет 45 мкг/сут (0,64 мкг/кг/сут). Избыточные концентрации молибдена неблагоприятно влияют на здоровье. Исследования последних лет показывают, что повышенное содержание молибдена в растениях и обусловленное этим избыточное поступление в организм человека может оказывать неблагоприятное воздействие. Критическим органом, на который воздействует молибден при регулярном поступлении в организм человека с овощами, являются почки. Наиболее выраженные последствия негативного влияния триоксида молибдена – респираторные эффекты при вдыхании, снижение массы тела, повреждение почек, уменьшение количества сперматозоидов и анемия при пероральном воздействии (табл. 1) [15–18].

Данные, полученные при систематическом обзоре, позволяют сделать выводы о воздействии различных доз молибдена на лабораторных животных и человека. Установлено, что оксиды молибдена влияют на дыхательную систему и почки человека. Предположительно, избыточное поступление молибдена воздействует на печень, уровень мочевой кислоты, репродуктивную функцию.

С целью оценки содержания молибдена в почвах на различных территориях и его вклада в суммарное загрязнение почв, а также определения возможного риска для здоровья населения в зависимости от уровня содержания молибдена в почве проведены исследования на двух территориях (г. Курчатова Курской области и г. Яровое Алтайского края). В Курчатове Курской области основной градообразующий фактор – Курская атомная станция, в Яровом Алтайского края – АО «Алтайский Химпром», один из ключевых производителей химической промышленности Российской Федерации. Средние значения содержания молибдена в образцах почвы, отобранных в 2023–2024 гг. ФМБА России на двух пилотных территориях в различных функциональных зонах, представлены в табл. 2.

При сравнении средних значений содержания молибдена в городах с разными промышленными предприятиями установлено, что в почвах различного функционального назначения на территориях Ярового и Курчатова разница показателей составляет почти два раза. На территориях повышенного риска воздействия на здоровье населения (детские дошкольные, школьные и лечебные учреждения, селитебные территории, зоны санитарной охраны водоёмов, питьевого водоснабжения, занятые под сельхозкультуры земли, рекреационные зоны и др.) среднее содержание молибдена в почве составляло 83 мг/кг (Курчатова) и 173 мг/кг (Яровое), а на промышленных территориях 88,7 мг/кг (Курчатова) и 332 мг/кг (Яровое).

Таблица 2 / Table 2

Средние значения содержания молибдена в образцах почвы, отобранных в 2023–2024 гг. на пилотных территориях ФМБА России в различных функциональных зонах, мг/кг

Функциональное назначение территории Functional purpose of the territory	Курчатов, Курская область Kurchatov, the Kursk region	Яровое, Алтайский край Yarovoe, Altai Kray
Жилая зона / Residential area	55 ± 14.5	169 ± 50.5
Детские дошкольные и школьные учреждения, игровые площадки, территории дворов Children's preschool and school institutions, playgrounds, courtyard areas	141.5 ± 42	215 ± 64
Рекреационные зоны / Recreational areas	121 ± 35	250.3 ± 69
Транспортные магистрали / Transport routes	116 ± 29	214 ± 62
Промышленные зоны / Industrial zones	88.7 ± 28	332 ± 89
Поля, сады и огороды, приусадебные участки, тепличные хозяйства Fields, gardens and vegetable gardens, household plots, greenhouses	96 ± 32	223 ± 69

Таблица 3 / Table 3

Коэффициент концентрации молибдена (K_c) на двух пилотных территориях, мг/кг

Molybdenum concentration coefficient (K_c) in two pilot areas, mg/kg

Функциональное назначение территории Functional purpose of the territory	Курчатов, Курская область Kurchatov, the Kursk region	Яровое, Алтайский край Yarovoe, Altai Kray
Жилая зона / Residential area	22.0	67.6
Детские дошкольные и школьные учреждения, игровые площадки, территории дворов Children's preschool and school institutions, playgrounds, courtyard areas	56.6	86.0
Рекреационные зоны / Recreational areas	48.4	100.12
Транспортные магистрали / Transport routes	46.4	85.6
Промышленные зоны / Industrial zones	44.4	132.8
Поля, сады и огороды, приусадебные участки, тепличные хозяйства Fields, gardens and vegetable gardens, household plots, greenhouses	38.4	89.2

Таким образом, установлено, что содержание молибдена в почве города с развитой химической промышленностью и города с ядерной промышленностью отличается более чем в два раза.

Содержание молибдена зависит от типа почв конкретного региона [19]. Самый высокий уровень фоновое содержания характерен для чернозёма — 4,6 мг/кг. По данным официальных источников, почвы в Курчатове представлены двумя типами: чернозёмы и серые лесные. На пашне преобладают серые лесные почвы, занимающие 53,3% площади [20]. В Яровом преобладают серые лесные почвы и чернозём [21]. Как видно, типы почв исследованных территорий сходны, а фоновое содержание молибдена составляет примерно 2,5 мг/кг [22]. Коэффициенты концентрации молибдена (K_c) для различных функциональных территорий представлены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, коэффициент концентрации молибдена превышает 1. Это может значительно влиять на результат при расчёте индекса суммарного загрязнения почв как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье человека.

Обсуждение

С учётом широкого применения молибдена в различных областях промышленности, длительного (с середины XX века) использования молибденовых удобрений без контроля остаточного количества в почве и продуктах питания считаем целесообразным разработку норматива содержания Мо в почве [23]. В настоящее время предельно допустимая концентрация (ПДК) молибдена в овощах, фруктах и других пищевых продуктах не установлена. В различных источниках средняя рекомендуемая норма потребления молибдена составляет для взрослых людей от 75 до 250 мкг в день.

По данным литературы [17], риск развития неканцерогенных эффектов по значению коэффициента опасности при употреблении овощей, выращенных на техногенно загрязнённых почвах, составляет для молибдена 0,24.

Таким образом, без разработки единого норматива содержания молибдена в почве оценить их качество и безопасность, а также продукции, выращенной на территориях, потенциально загрязнённых молибденом, невозможно. Как показали наши исследования, в зависимости от типа техногенного загрязнения в различных городах содержание молибдена в почвах одного типа различается до 2–3 раз. При сравнении содержания молибдена в почве на территориях Курчатова и Ярового с нормативами, установленными в различных странах, выявлено, что в Курчатове его содержание превышает норматив, установленный в США, в 1,5 раза, в Чехии — в 2,8 раза. В Яровом норматив по содержанию молибдена превышен в 3 раза по сравнению с США и в 4 раза — с Чешской Республикой.

Нормативы содержания молибдена в почве в различных странах мира могут отличаться на порядок — от 5 мг/кг (Литва, Дания) до 390 мг/кг (Австралия) для территорий одного функционального назначения. Гармонизация данных нормативов даже с учётом типа почв для территории Российской Федерации не представляется возможной. Вероятные причины такого различия нормативных величин в разных странах — использование разных лабораторных методов определения Мо в почве и применение различных способов пробоподготовки почв [14, 24, 25]. В настоящее время существует ряд методик определения молибдена в объектах с его высокой концентрацией. Это атомно-абсорбционная спектроскопия (ААС), водно-адсорбционная (ВА) и электрохимическая спектроскопия (Э-СФ), нейтронно-активационный анализ и др. Однако при анализе природных

и биологических образцов, содержащих молибден в низких концентрациях, выбор методик определения значительно ограничен. Применяемые методы дороги (например, масс-спектрометрические) и требуют привлечения высококвалифицированных специалистов. В Российской Федерации утверждена методика определения подвижных соединений молибдена в почвах по методу Григга в модификации ЦИНАО, которая предполагает экстракцию молибдена из почвы с использованием оксалатного буферного раствора с pH 3,3 и последующее определение Мо фотометрическим методом с тиоцианатом или дитиолатом цинка. Однако данная методика на данном этапе развития исследований не удовлетворяет современным требованиям точности и чувствительности [25]. Поскольку создание норматива невозможно без разработки методики определения вещества, одним из важных направлений наших дальнейших исследований будет совершенствование методики определения молибдена в почве.

Заключение

В Российской Федерации установлены нормативы содержания молибдена в атмосферном воздухе и воде, но в почве этот показатель не нормируется. Широкое использование Мо в металлургии, электронной, нефтеперерабатывающей, химической промышленности, в производстве удобрений и красок, в качестве катализатора при получении аммиака из водорода и азота обуславливает его поступление в почву в процессе производства, со сточными водами, при захоронении содержащих молибден отходов, в результате сельскохозяйственной деятельности. Поскольку один из основных путей поступления молибдена в организм — пищевой (особенно с растительной пищей), необходим контроль содержания данного металла в почве. Разработка гигиенически обоснованного норматива для почвы позволит объективно выявлять источники загрязнения молибденом и оценивать его негативное влияние на население.

Литература

(п.п. 2, 6–11, 13–15, 17, 18, 22–24 см. References)

1. Боярко Г.Ю. Современное состояние молибденовой промышленности России. Известия Томского политехнического университета. *Инжиниринг георесурсов*. 2021; 332(2): 73–86. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/2/3044> <https://elibrary.ru/ggugau>
3. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Степанков М.С., Игнатова А.М., Довбыш А.А., Недошитова А.В. и др. Исследование и сравнительная оценка токсичности наночастиц оксида молибдена (VI) при однократной пероральной экспозиции. *Вестник Пермского университета. Серия: Биология*. 2022; (3): 241–9. <https://elibrary.ru/mlckfd>
4. Землянова М.А., Зайцева Н.В., Степанков М.С. Исследование и оценка подострой токсичности наночастиц оксида молибдена (VI) при ингаляционном пути поступления в организм крыс линии Wistar в сравнении с микроразмерным химическим аналогом. *Гигиена и санитария*. 2023; (10): 1119–24. <https://elibrary.ru/item.asp?id=54904848>
5. Шейда Е.В., Русакова Е.А., Сипайлова О.Ю., Сизова Е.А., Лебедев С.В. Токсические эффекты ультрадисперсных форм металлов (Мо и МоО₃) в эксперименте *in vivo*. *Сельскохозяйственная биология*. 2020; 55(6): 1171–81. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.6.1171rus> <https://elibrary.ru/uowusg>
12. Курмышева А.Ю., Сотникова Е.В., Забенькина Е.О. Экологические аспекты извлечения молибдена из отходов нефтехимической промышленности. *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2013; (2): 152–5. <https://elibrary.ru/pvmcaj>
16. Осипова Н.А., Язиков Е.Г., Янкович Е.П. Тяжелые металлы в почве и овощах как фактор риска для здоровья человека. *Фундаментальные исследования*. 2013; (8–3): 681–6. <https://elibrary.ru/qjgpf>
19. Курчатовский район. Доступно: <https://mke.su/doc/KURChATOVSKII%20RAION.html>
20. Алтайский край. Доступно: <https://altairegion22.ru/territory/o-krae/info/>
21. Катаымов М.В. *Микроэлементы и микроудобрения*. М.: Химия; 1965.
25. Рахимов С.Б., Сманова З.А. Сорбционно-фотометрическое определение молибдена. *UNIVERSUM: Химия и биология*. 2020; (12–1): 39–45. <https://elibrary.ru/olfznx>

References

1. Boyarko G.Yu., Khatkov V.Yu. Current state of molybdenum industry in Russia. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2021; 332(2): 73–86. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/2/3044> <https://elibrary.ru/ggugau> (in Russian)
2. Dumas A., De Windt L., Serclerat I., Sanchez F., Huet B., Kosson D.S., et al. Molybdenum-contaminated soil stabilization/solidification by mixtures of magnesium oxide and limestone calcined clay cement. *J. Hazard Mater.* 2025; 492: 138056. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.138056>
3. Zaitseva N.V., Zemlyanova M.A., Stepankov M.S., Ignatova A.M., Dovbysh A.A., Nedoshytova A.V., et al. Study and comparative evaluation of the toxicity of molybdenum (VI) oxide nanoparticles at a single oral exposure. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Biologiya*. 2022; (3): 241–9. <https://elibrary.ru/mlckfd> (in Russian)
4. Zemlyanova M.A., Zaitseva N.V., Stepankov M.S. Study and evaluation of the toxicity of molybdenum (VI) oxide nanoparticles by inhalation into the body of Wistar rats in a reaction with a micro-sized chemical analogue. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; (10): 1119–24. <https://elibrary.ru/item.asp?id=54904848> (in Russian)
5. Sheida E.V., Rusakova E.A., Sipaylova O.Yu., Sizova E.A., Lebedev S.V. Toxic effects of ultra-dispersed forms of metals (Mo and MoO₃) in the experiment *in vivo*. *Selskokhozyaystvennaya biologiya*. 2020; 55(6): 1171–81. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.6.1171rus> <https://elibrary.ru/uowusg> (in Russian)
6. Burguera J.L., Burguera M. Molybdenum in human whole blood of adult residents of the Merida State (Venezuela). *J. Trace Elem. Med. Biol.* 2007; 21(3): 178–83. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2007.03.005>
7. Langard S., Norseth T., Friberg L. *Handbook on the Toxicology of Metals*. Amsterdam: Elsevier; 1986: 322–45.
8. Mobarakeh S.N. The effect of molybdenum rate in soil on multiple sclerosis: case study New Zealand and Isfahan (a review). *J. Geol. Res.* 2020; 2(3): 52–5.
9. Shrivastava K., Agrawal K., Harmukh N. Trace level determination of molybdenum in environmental and biological samples using surfactant-mediated liquid-liquid extraction. *J. Hazard Mater.* 2009; 161(1): 325–9. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.03.092>
10. Siddiqui M.A., Saquib Q., Ahamed M., Farshori N.N., Ahmad J., Wahab R., et al. Molybdenum nanoparticles-induced cytotoxicity, oxidative stress, G2/M arrest, and DNA damage in mouse skin fibroblast cells (L929). *Colloids Surf. B Biointerfaces*. 2015; 125: 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2014.11.014>
11. Yang P.T., Wang S.L. Chemical speciation and availability of molybdenum in soils to wheat uptake. *J. Environ. Manage.* 2025; 374: 124097. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124097>
12. Kurмышева А.Ю., Сотникова Е.В., Забенькина Е.О. Ecological aspects of molybdenum extraction from petrochemical industry waste. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2013; (2): 152–5. <https://elibrary.ru/pvmcaj> (in Russian)
13. Timofeev I., Kosheleva N., Kasimov N. Contamination of soils by potentially toxic elements in the impact zone of tungsten-molybdenum ore mine in the Baikal region: A survey and risk assessment. *Sci. Total. Environ.* 2018; 642: 63–76. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.042>
14. Ashfaq A., Khan Z.I., Ahmad K., Noorka I.R., Memona H., Bibi U., et al. Impact of municipal solid waste amendments on molybdenum bioaccumulation in soil and vegetables: health risk and bioavailability assessment. *International Journal of Applied and Experimental Biology*. 2025. <https://doi.org/10.56612/ijaaeb.v1i1.152> <https://elibrary.ru/yfzchf>
15. Ruban D.A., Mikhailenko A.V., Yashalova N.N. Joint consideration of molybdenum and tourism leads to a new research field. *Discov. Chem.* 2024; 1: 41. <https://doi.org/10.1007/s44371-024-00050-6>
16. Osipova N.A., Yazikov E.G., Yankovich E.P. Heavy metals in soil and vegetables as a risk factor for health of consumers. *Fundamentalnye issledovaniya*. 2013; (8–3): 681–6. <https://elibrary.ru/qjgpf> (in Russian)
17. Hard C. Toxicological profile for molybdenum: draft for public comment; 2017.
18. Shi Y., Yu Y., Xiang M., Cui P., Cui J., Zhang F., et al. Changes in molybdenum bioaccessibility in four spiked soils with respect to soil pH and organic matter. *J. Environ. Manage.* 2023; 334: 117476. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117476>
19. Kurchatov district. Available at: <https://mke.su/doc/KURChATOVSKII%20RAION.html> (in Russian)
20. Altai Territory. Available at: <https://altairegion22.ru/territory/o-krae/info/> (in Russian)
21. Katalymov M.V. *Microelements and Micronutrients [Mikroelementy i mikroudobreniya]*. Moscow: Khimiya; 1965. (in Russian)

22. Oskarsson A., Kippler M. Molybdenum – a scoping review for Nordic Nutrition Recommendations 2023. *Food Nutr. Res.* 2023; 67. <https://doi.org/10.29219/fnr.v67.10326>
23. Eiva F., Sim J.L. Analytical Techniques for Molybdenum Determination in Plants and Soils. In: Gupta U.C., ed. *Molybdenum in Agriculture*. Cambridge: Cambridge University Press; 1997: 92–110.
24. Shao X. An analytical method for the determination of molybdenum in the end fitting of PE flexible composite pipe. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 2019; 612(2): 022090. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/612/2/022090>
25. Rakhimov S.B., Smanova Z.A. Sorption-photometric determination of molybdenum. *UNIVERSUM: Khimiya i biologiya*. 2020; (12–1): 39–45. <https://elibrary.ru/olfzxn> (in Russian)

Сведения об авторах

Евсеева Ирина Сергеевна, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. отд. гигиены ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: Ievseeva@cspfmba.ru

Ушакова Ольга Владимировна, канд. мед. наук, вед. науч. сотр. отд. гигиены ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: Oushakova@cspfmba.ru

Каменецкая Дарья Борисовна, канд. биол. наук, вед. науч. сотр. ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: DKamenetskaya@cspfmba.ru

Юдин Сергей Михайлович, доктор мед. наук, профессор, генеральный директор ФГБУ «ЦСП» ФМБА России. E-mail: info@cspfmba.ru

Information about the authors

Irina S. Evseeva, PhD (Medicine), senior researcher, Hygiene department, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-5765-0192> E-mail: Ievseeva@cspfmba.ru

Olga V. Ushakova, PhD (Medicine), leading researcher, Hygiene department, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121 Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2275-9010> E-mail: Oushakova@cspfmba.ru

Daria B. Kamenetskaya, PhD (Medicine), leading researcher, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9050-3757> E-mail: DKamenetskoy@cspfmba.ru

Sergey M. Yudin, DSc (Medicine), professor, general director, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-7942-8004> E-mail info@cspfmba.ru