

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ РТУТИ В АГРОЦЕНОЗАХ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

А.Е. Побилат ^{1*}, Е.И. Волошин ²

¹ Красноярский государственный медицинский университет

² Красноярский государственный аграрный университет

РЕЗЮМЕ. Цель исследования – экологическая оценка содержания ртути в агроценозах Красноярского края. Ртуть в почвенных и растительных образцах определяли атомно-абсорбционным методом. Показано, что содержание ртути в почвах сельскохозяйственных угодий Средней Сибири колеблется от 0,001 до 0,360 мг/кг. Пространственное содержание и распределение ртути в региональных почвах зависит от их гранулометрического состава и концентрации элемента в почвообразующих породах. Выявлено, что фоновое содержание ртути в почвах на площади 2,54 млн га равно 0,025 мг/кг, что в 2,5 раза больше кларка этого элемента. Количество ртути в растениях определяется свойствами почв, концентрацией в них элемента, погодными условиями и биологическими особенностями сельскохозяйственных культур. Установлено, что содержание ртути в урожае растений колеблется от 0,0003 до 0,016 мг/кг сырой массы. Более высоким содержанием ртути характеризуется зерно ярового ячменя, сено многолетних бобовых и злаковых трав и естественных кормовых угодий, пониженной концентрацией ртути отличаются корнеплоды моркови и столовой свеклы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: почва, ртуть, фоновое содержание, культуры, экологически безопасная продукция.

ВВЕДЕНИЕ

Ртуть – высокотоксичный химический элемент. Согласно ГОСТ 17. 4. 1.02 – 83, этот элемент относится к первому классу опасности. Основными источниками поступления ртути в биосферу являются газопылевые выбросы различных промышленных предприятий, сжигание органического топлива, твердых бытовых отходов и использование в качестве удобрений осадков сточных вод (Sabata-Pendias, 2010; Водяницкий, 2013; Бушуев, Шуравилин, 2014; George et al., 2015; Toth, et al., 2016; Ozkuc, 2016; Toth et al., 2016b; Бутаков и др., 2017; Васбиева, Косолапова, 2018; Rovira et al., 2018). Соединения ртути, попадая в агроценозы, подвергаются различным изменениям, характер которых определяется физическими, химическими и биологическими свойствами почв. Загрязнения почв ртутью может привести к избыточному накоплению токсиканта в растениях и ухудшению качества растениеводческой продукции.

Ртуть обладает высокой способностью восстанавливаться до металла из различных соединений. Этот элемент образует сильные связи с серой, растворяет в себе многие металлы и образует органо-металлические соединения, устойчивые в водной среде. Содержание ртути в почвенном покрове зависит от типа и генетических особенностей почв, их гидротермического режима (Безносиков и др., 2013; Лукин, Четверикова, 2015). Обогащение верхних горизонтов происходит в результате фиксации ртути органическим веществом почвы (Иванов, Кашин, 2010). На распределение ртути в профиле почв оказывает влияние реакция среды и тип водного режима. В почвах легкого гранулометрического состава содержание ртути низкое. При утяжелении гранулометрического состава почв содержание ртути повышается (Сергеев и др., 2017).

Ртуть обнаружена во всех органах и тканях организма человека. По уровню воздействия на живой организм ртуть является одним из наиболее токсичных элементов. Токсичность ртути в

* Адрес для переписки:

Побилат Анна Евгеньевна
E-mail:pobilat_anna@mail.ru

значительной степени зависит от химической формы элемента. В атмосфере преобладающей формой является элементарная ртуть, неорганические соли образуют основные формы ртути в питьевой воде. Наибольшую опасность для живых организмов представляют органические производные ртути, которые характеризуются высоким кумулятивным эффектом. Ртуть больше всего накапливается в щитовидной железе, печени, почках, гипофизе легких. Отравление органическими соединениями ртути приводит к болезням Минамета, энцефалопатии, атаксии, нарушению зрения и слуха (Сусликов, 2002).

Красноярский край является крупнейшим индустриальным центром Восточной Сибири. По выбросам загрязняющих веществ регион занимает одно из первых мест в России. Из атмосферы происходит загрязнение сельскохозяйственных земель и растений различными поллютантами, в составе которых встречается и ртуть. В связи с усилением техногенной нагрузки на агроценозы возникает необходимость в проведении регулярного эколого-токсикологического мониторинга за содержанием ртути в почвах и растениях и разработка мероприятий по улучшению качества растениеводческой продукции.

Цель исследований – экологическая оценка содержания ртути в агроценозах Красноярского края.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сельскохозяйственное производство в Красноярском крае сосредоточено в подтаежной, лесостепной и степной зонах. Климат региона характеризуется резкой континентальностью. Среднегодовое количество осадков в подтаежной

зоне составляет 400–520 мм, лесостепной 350–480 мм и степной 250–320 мм при ГТК= 0,8–1,5. Среднегодовая температура ниже нуля градусов. Зима суровая и продолжительная (180–200 дней). Глубина промерзания почвы колеблется от 1,5 до 3,0 м, средняя высота снежного покрова не превышает 30–35 см. Короткий вегетационный период и недостаток тепла ограничивает распространение в региональных условиях многих сельскохозяйственных культур.

В структуре почвенного покрова пашни преобладают черноземы, на долю которых приходится более 60% обследованной пашни, серые лесные занимают 27%, дерново-подзолистые – 5%, лугово-черноземные и другие почвы – 6% (Крупкин, 2002). Разнообразие природных условий в регионе оказывает влияние на потенциальное и эффективное плодородие, формы и степень подвижности химических элементов в почвах.

Эколого-токсикологическое обследование сельскохозяйственных угодий осуществлялось в соответствии с принятыми рекомендациями (Методические указания..., 2003). Определение ртути в почвах и растениях проводили по методике ЦИНАО (1992). Ртуть в почвенных и растительных образцах определяли атомно-абсорбционным методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание ртути в почвах Красноярского края характеризуется большим разнообразием. На концентрацию ртути в почвах оказывает влияние пестрота и неоднородность почвенного покрова. На обследованной территории валовое содержание ртути в почвах колеблется от 0,001 до 0,360 мг/кг (табл. 1).

Таблица 1. Валовое содержание ртути в 0–20 см слое пахотных почв Красноярского края, мг/кг

Природная зона	Обследованная площадь, тыс. га	Количество образцов, шт.	Min – max	Среднее
Подтаежная	104,3	875	0,010 – 0,040	0,025
Красноярская лесостепь	177,3	3059	0,010 – 0,040	0,022
Ачинско-Боготольская лесостепь	143,4	1440	0,010 – 0,080	0,030
Назаровская лесостепь	196,4	2431	0,006 – 0,134	0,037
Чулымско-Енисейская лесостепь	414,1	5946	0,006 – 0,093	0,029
Канская лесостепь	915,2	4323	0,001 – 0,022	0,014
Минусинская лесостепь	585,9	3088	0,001 – 0,360	0,019
По краю:	2540,0	21162	0,001 – 0,360	0,025

Примечание: предельно-допустимая концентрация (ПДК) – 2,1 мг/кг (Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041–06).

Наиболее высокое содержание ртути отмечается в почвах Назаровской лесостепной зоны, сформированных на углесодержащих почвообразующих породах. Наименьшее количество ртути наблюдается в почвах Канской и Минусинской лесостепных зон, что связано с их облегченным гранулометрическим составом и низкой концентрацией элемента в почвообразующих породах. Среднее содержание ртути в черноземе выщелоченном равняется 0,029 мг/кг, оподзоленном – 0,025 мг/кг, обыкновенном – 0,024 мг/кг, карбонатном – 0,019 мг/кг. Полученные данные показывают, что содержание ртути в пределах одного почвенного типа обладает высокой природной вариабельностью, обусловленной неодинаковыми геохимическими и географическими условиями формирования почв. Кислые почвы незначительно отличаются по содержанию ртути. Среднее содержание ртути в темно-серых лесных почвах равно 0,028 мг/кг, в серых и светло-серых – 0,027 и дерново-подзолистых – 0,025 мг/кг. По концентрации ртути в верхнем горизонте интразональные почвы практически не отличаются от черноземов, серых лесных и дерново-подзолистых почв. Средняя концентрация ртути в этих почвах равняется 0,026 мг/кг. Фоновое содержание ртути в почвах на площади 2,54 млн га со-

ставляло 0,025 мг/кг, что в 2,5 раза больше кларка этого элемента. Почвы земледельческой части Красноярского края характеризуются пониженным содержанием ртути в сравнении с аналогами из Западной Сибири (Ильин, 2012). На обследованной территории не обнаружено загрязнения почв сельскохозяйственных угодий ртутью.

Содержание ртути в растениях колеблется в широких пределах. На поступление ртути в растения оказывают влияние агрофизические и агрохимические свойства региональных почв, динамика почвенных процессов, состояние и трансформация ее соединений, погодные условия и биологические особенности сельскохозяйственных культур.

Содержание ртути в продуктивной части урожая полевых культур колеблется от 0,0003 до 0,016 мг/кг (табл. 2). Среди зерновых культур более высоким содержанием ртути характеризуется яровая ячмень. В группе овощных культур повышенной концентрацией ртути выделяются кочаны капусты. У кормовых культур больше всего ртути содержится в сене многолетних злаковых и бобовых трав. По содержанию ртути выращиваемая на сельскохозяйственных угодьях края растениеводческая продукция является экологически безопасной.

Таблица 2. Содержание ртути в урожае сельскохозяйственных культурах, мг/кг сырой массы

Культура	Исследованная часть	Min – max	Среднее
Яровая пшеница	Зерно	0,0003 – 0,0020	0,0016
Овес	Зерно	0,0003 – 0,0110	0,0010
Яровой ячмень	Зерно	0,0003 – 0,0040	0,0020
Озимая рожь	Зерно	0,0003 – 0,0160	0,0012
Капуста белокочанная	Кочан	0,0008 – 0,0020	0,0014
Морковь столовая	Корнеплод	0,0004 – 0,0011	0,0007
Свекла столовая	Корнеплод	0,0006 – 0,0008	0,0007
Картофель	Клубень	0,0011 – 0,0013	0,0012
Кукуруза на силос	Зеленая масса	0,0010 – 0,0020	0,0018
Однолетние травы	Зеленая масса	0,0014 – 0,0018	0,0015
Многолетние травы	Сено	0,0026 – 0,0140	0,0040
Естественные угодья	Сено	0,0011 – 0,0028	0,0020

Примечание: предельно допустимая концентрация (ПДК) ртути в овощах, картофеле – 0,02 мг/кг, продовольственном зерне – 0,03 мг/кг (Гигиенические требования. СанПиН 2.3.2.1078–01); кормовом зерне, грубых и сочных кормах – 0,05 мг/кг (Временный максимально допустимый уровень (МДУ)..., 1987).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Валовое содержание ртути в почвах сельскохозяйственных угодий Красноярского края колеблется от 0,001 до 0,360 мг/кг. Пространственное содержание и распределение ртути в почвах зависит от их гранулометрического состава и концентрации элемента в почвообразующих породах. Фоновое содержание ртути в почвах на площади 2,54 млн га равно 0,025 мг/кг.

Количество ртути в растениях определяется свойствами почв, концентрацией в них элемента, погодными условиями и биологическими особенностями сельскохозяйственных культур. Среднее содержание ртути в растениях колеблется от 0,0003 до 0,16 мг/кг. Более высоким содержанием ртути характеризуется зерно ячменя, сено многолетних злаковых и бобовых трав, пониженной концентрацией ртути отличаются корнеплоды моркови и столовой свеклы.

ЛИТЕРАТУРА

- Безносиков В.А., Ладынин Е.Д., Низовцев А.Н. Пространственное и профилное распределение ртути в почвах естественных ландшафтов. Вестник Санкт-Петербургского университета. 2013. Серия 3. Вып. 1. С. 94–101.
- Бутаков Е.В., Кузнецов П.В., Холодова М.С., Гребенщикова В.И. Ртуть в почвах агропромышленной зоны г. Зима (Иркутская область). Почвоведение. 2017. № 11. С. 1401–1408.
- Бушуев Н.Н., Шуравилин А.В. Влияние сточных вод на загрязнение почв тяжелыми металлами. Плодородие. 2014. № 4. С. 40–41.
- Васбиева М.Т., Косолапова А.И. Тяжелые металлы в системе почва – растение при утилизации сточных вод в качестве удобрения. Агрохимия. 2018. № 3. С. 83–89.
- Водяницкий Ю.Н. Современные тенденции загрязнения почв тяжелыми металлами. Агрохимия. 2013. № 9. С. 88–96.
- Временный максимально-допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических веществ и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках. М., 1987. 5 с.
- Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041–06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве.
- Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.3.2.1078–01. М.: ЗАО «Рит – Экспресс», 2002. 220 с.
- Иванов Г.М., Кашин В.К. Ртуть в гумусовых горизонтах почв Забайкалья. Почвоведение. 2010. № 1. С. 30–36.
- Ильин В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва – растение. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 220 с.
- Крупкин П.И. Черноземы Красноярского края. Красноярск: Изд-во КрасГУ, 2002. 332 с.
- Лукин С.В. Микроэлементы в черноземах: содержание, биогенная миграция, нормирование. Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 6. С. 11–14.
- Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции животноводства. М., ЦИНАО, 1992. 61 с.
- Методические указания по проведению комплексного плодородия земель сельскохозяйственного назначения. М., ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.
- Сергеев А.П., Липатникова Т.Я., Волошин Е.И. Тяжелые металлы в почвах Минусинской лесостепной зоны Красноярского края. Плодородие. 2017. № 3. С. 28–31.
- Сусликов В.Л. Геохимическая экология болезней. Т. 3. Атомовитозы. М.: Гелиос АРВ, 2002. 670 с.
- Cabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crcs Press, 2010. 548 p.
- George J., Mastro RE., Ram LG., Das TB., Rout TK., Mohan M. Human exposure risks for metals in soil near a coal-fired power-generating plant. Arch Environ Contam Toxicol. 2015; 68(3):451–461.
- Ozkul C. Heavy metal contamination in soils around the Tuncbilek Thermal Power Plant (Kutahya, Turkey). Environ Monit Assees. 2016; 188(5):284.
- Rovira J., Nadal M., Schuhmacher M., Domingo JL. Concentrations of trace elements and PCDD/Fs around a municipal solid waste in cinerator in Girona (Catalonia, Spain). Human health risks for the population living in the neighborhood. Sci Total Environ. 2018; 630:34–45.
- Toth G, Hermann T, Szatmari G, Pasztor L. Maps of heavy metals in the soils of the European Union priority areas for detailed assessment. Science of the Total Environment. 2016a; 565: 1054–1062.
- Toth G., Hermann T., Da Siva MR., Montanarella L. Union with implications for food safety. Environ Int. 2016b; 88:299–309.

ECOLOGICAL ASSESSMENT OF MERCURY CONTENT IN THE AGROCENOSIS OF CENTRAL SIBERIA

A.E. Pobilat¹, E.I. Voloshin²

¹ Krasnoyarsk State Medical University, 660022, Krasnoyarsk, Partisan Zheleznyak St., 1, Russia

² Krasnoyarsk State Agrarian University, 6660049, Krasnoyarsk, Mira Ave., 90, Russia

ABSTRACT. The gross content of mercury in soils of farm lands of Krasnoyarsk Region fluctuates from 0.001 to 0.360 mg/kg. The spatial contents and distribution of mercury in regional soils depends on their particle size distribution and the concentration of the element in bedrock. The highest content of mercury is noted in 0 – 20 cm layer of the soils of Nazarovsky forest-steppe zone created on carbonaceous bedrock. The lowered concentration of the element characterizes the soils of Kansk and Minusinsk forest-steppe zones. The average content of mercury in lixivious chernozom makes 0.029 mg/kg, podzolized – 0.025, common – 0.024, carbonate – 0.019 mg/kg. The concentration of mercury in the top horizon is in dark-gray forest soils it equals 0.028 mg/kg, gray and light-gray – 0.027, intrazonal – 0.026 and sod-podsolic – 0.025 mg/kg. The background content of mercury in soils on the area of 2. 54 million. 0.025 mg/kg that is 2. 5 times higher than Clark of this element equal to 1 hectare. The soils of Krasnoyarsk Region are characterized by lowered content of mercury in comparison with analogs from Western Siberia. In the surveyed territory the pollution of soils of farm lands with mercury was not revealed. The content of mercury in plants is defined by the properties of soils, concentration the element in them, weather conditions and biological features of crops. The content of mercury in the yield of crops fluctuates from 0.0003 to 0.016 mg/kg of crude weight. Among grain crops higher content of mercury (0.0020 mg/kg) is typical of summer barley. In the group of vegetable crops the increased concentration of mercury allocates cabbage heads (0.0014 mg/kg). In forage crops most of mercury is contained in hay of perennial beans and cereals (0.0040 mg/kg). According to the content of mercury the crop production grown up in the territory of Krasnoyarsk Region is ecologically safe.

KEYWORDS: soil, mercury, background contents, cultures, ecologically safe production.

REFERENCES

- Beznosikov V.A., Ladynin E.D., Nizovcev A.N. Prostranstvennoe i profil'noe raspredelenie rtuti v pochvah estestvennykh landshaftov. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. 2013. Seriya 3. Vyp. 1. S. 94–101 [in Russ].
- Butakov E.V., Kuznecov P.V., Holodova M.S., Grebenshchikova V.I. Rtut' v pochvah agropromyshlennoy zony g. Zima (Irkutskaya oblast'). Pochvovedenie. 2017. №11. S. 1401–1408 [in Russ].
- Bushuev N.N., Shuravilin A.V. Vliyaniye stochnykh vod na zagryazneniye pochv tyazhelymi metallami. Plodorodie. 2014. №4. S. 40–41 [in Russ].
- Vasbieva M.T., Kosolapova A.I. Tyazhelye metally v sisteme pochva – rasteniye pri utilizatsii stochnykh vod v kachestve udobreniya. Agrohimiya. 2018. №3. S. 83–89[in Russ].
- Vodyanickiy Yu.N. Sovremennyye tendentsii zagryazneniya pochv tyazhelymi metallami. Agrohimiya. 2013. №9. S. 88– 6 [in Russ].
- Vremennyy maksimal'no-dopustimyy uroven' (MDU) sodержaniya nekotorykh himicheskikh veshchestv i gossipola v kormakh dlya sel'skohozyajstvennykh zhivotnykh i kormovykh dobavkah. M., 1987. 5 s. [in Russ].
- Gigienicheskie normativy GN 2.1.7.2041–06. Predel'no dopustimyye koncentracii (PDK) himicheskikh veshchestv v pochve [in Russ].
- Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishchevoj cennosti pishchevykh produktov. Sanitarno – ehpidemiologicheskie pravila i normativy. SanPiN 2.3.2.1078–01. M.: ZAO «Rit – Ehkspress», 2002. 220 s. [in Russ].
- Ivanov G.M., Kashin V.K. Rtut' v gumusovykh gorizontah pochv Zabajkal'ya. Pochvovedenie. 2010. №1. S. 30–36 [in Russ].
- Il'in V.B. Tyazhelye metally i nemetally v sisteme pochva – rasteniye. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2012. 220 s. [in Russ].
- Krupkin P.I. Chernozemy Krasnoyarskogo kraya. Krasnoyarsk: Izd-vo KrasGU, 2002. 332 s. [in Russ].
- Lukin S.V. Mikroehlementy v chernozemah: sodержaniye, biogennaya migratsiya, normirovaniye. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2015. T. 29. № 6. S. 11–14 [in Russ].
- Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu tyazhelykh metallov v pochvah sel'hozogodij i produkcii zhivotnovodstva. M., CINAO, 1992. 61 s. [in Russ].
- Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo plodorodiya zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya. M., FGNU «Rosinformagrotekh», 2003. 240 s. [in Russ].

Sergeev A.P., Lipatnikova T.Ya., Voloshin E.I. Tyazhelye metally v pochvah Minusinskoj lesostepnoj zony Krasnoyarskogo kraja. Plodorodie. 2017. № 3. S. 28–31 [in Russ].

Suslikov V.L. Geohimicheskaya ehkologiya boleznej. T.3. Atomovitozy. M.: Gelios ARV, 2002. 670 s. [in Russ].

Cabata–Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crs Press, 2010. 548 p.

George J., Mastro RE., Ram LG., Das TB., Rout TK., Mohan M. Human exposure risks for metals in soil near a coal-fired power-generating plant. Arch Environ Contam Toxicol. 2015; 68(3):451–461.

Ozkul C. Heavy metal contamination in soils around the Tuncbilek Thermal Power Plant (Kutahya, Turkey). Environ Monit Assees. 2016; 188(5):284.

Rovira J., Nadal M., Schuhmacher M., Domingo JL. Concentrations of trasse elements and PCDD/Fs around a municipal solid waste in cinerator in Girona (Catolonia, Spain). Human health risks for the population living in the neighborhood. Sci Total Environ. 2018; 630:34–45.

Toth G, Hermann T, Szatmari G, Pasztor L. Maps of heavy metals in the soils of the European Union priority areas for detailed assessment. Science of the Total Environment. 2016a; 565: 1054–1062.

Toth G., Hermann T., Da Siva MR., Montanarella L. Union with implications for food safety. Environ Int. 2016b; 88:299–309.

КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ И СЕМИНАРЫ ПО ПРОБЛЕМАМ ЭЛЕМЕНТОЛОГИИ В 2020 Г.

Global Experts Meeting on Mass Spectrometry and Separation Techniques Theme: «Innovation and Challenges in mass Spectrometry & Separation Techniques»

Tokyo, Japan, 13–15 April, 2020

Language of the conference: English.

Registration: September 14, 2019.

Abstract deadline: 1st phase of submission closes on October 20, 2019; 2nd phase of submission closes on December 15, 2020; 3rd phase of submission closes on February 15, 2020.

General information: <https://frontiersmeetings.com/conferences/mass-spectrometry/>

Contact: info@frontiersmeetings.com

Environmental Chemistry and Health 2020

Beijing, China, 27–29 April, 2020

Language of the conference: English.

Registration: Early bird registration deadline 1 April 2020.

Abstract deadline: 15 January 2020.

General information: <http://www.keaipublishing.com/en/conferences/environmental-chemistry-and-health-2020/>

TEMA17

17th International Symposium of Trace Elements in Man and Animals

Aachen, Germany, 20–26 September, 2020

Language of the conference: English

General information:

Contact: Prof. Dr. Lothar Rink, Director, Institute of Immunology Pauwelsstr.

30 D-52074 Aachen, Germany, Phone: +49 (0)241 8080208, Fax: +49 (0)241 8082613,

www.immunologie.ukaachen.de

Conference web site at: <https://www.ukaachen.de/kliniken-institute/institut-fuer-immunologie/institut.html>.