

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

КАДМИЙ В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

А.Е. Побилат^{1*}, Е.И. Волошин²

¹ Красноярский государственный медицинский университет, г. Красноярск, Россия

² Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск, Россия

РЕЗЮМЕ. Изучено содержание валового кадмия в незагрязненных почвах Средней Сибири. Установлено, что оно колеблется от 0,001 до 0,80 мг/кг. Пространственное содержание и распределение кадмия в почвах определяется различиями в гранулометрическом составе и концентрации элемента в почвообразующих породах. Среднее содержание кадмия в черноземах составляет 0,12 мг/кг, интразональных почвах – 0,11, серых лесных и дерново-подзолистых почвах – 0,10 мг/кг. Среднее фоновое содержание кадмия на площади 2,54 млн га равно 0,11 мг/кг, или 0,2 кларка. Количество подвижного кадмия в агроценозе зависит от фонового содержания, плодородия почвы, погодных условий и особенностей сельскохозяйственных культур. Среднее количество подвижного кадмия в почвах колеблется от 0,02 до 0,04 мг/кг, или 18,7–37,5% от валового содержания. Самая высокая подвижность кадмия отмечена в темно-бурых заливных и темно-серых лесных почвах. Резко континентальный климат, частые весенние и летние засухи, неблагоприятный водный и температурный режим являются основными причинами флуктуаций подвижного кадмия в почвах. Свойства почв, их безопасность с точки зрения подвижных форм элемента, климатические и биологические особенности сельскохозяйственных культур влияют на концентрацию кадмия в растениях. Среднее содержание кадмия в урожае зерновых, кормовых, овощных культур и картофеля варьируется в пределах 0,008–0,140 мг/кг. Из зерновых культур более высокое содержание кадмия отмечается в яровой пшенице. Кукуруза по концентрации кадмия превосходит зеленую массу однолетних трав. Повышенным содержанием кадмия характеризуются зеленая масса многолетних злаковых трав и сено естественных угодий. В клубнях картофеля больше содержится кадмия, чем в продуктивной части урожая овощных культур. Выявлено, что среднее содержание кадмия в растениях ниже МДУ и ПДК, что свидетельствует о незагрязненности растениеводческой продукции в агроценозах Средней Сибири.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: почва, кадмий, содержание, гранулометрический состав, культуры, урожайность.

ВВЕДЕНИЕ

Кадмий участвует в синтезе ДНК, белков, нуклеиновых кислот и повышает эффективность ферментов в растениях. Этот элемент может поступать в растения как из почвы, так и через листья и усваиваться избирательно разными видами. При повышенных концентрациях в почвах кадмий является токсичным для растений, в них повреждается корневая система, наблюдается задержка роста и хлороз листьев. Высокие концентрации кадмия в почве приводят к дисбалансу элементов питания в растениях и отрицательно влияют на функции ферментов, витаминов, гормонов и других биологически активных соединений. При поступлении из почвы избыточного количества кадмия в растениях уменьшается содержание фосфора, кальция, магния, железа, цинка и снижается продуктивность сельскохозяйственных культур (Ильин, Сысо, 2001).

Кадмий в почвах содержится в небольшом количестве. На содержание кадмия в почвах влияют многие факторы почвообразования, среди которых основную роль играет химический состав почвообразующих пород. Этот элемент является химическим аналогом цинка. Его содержание в почвах определяется теми же факторами почвообразования, что и содержание цинка. В почвах кадмий накапливается в гумусовом горизонте, что обусловлено биогенной аккумуляцией этого элемента. При избыточном содержании кадмия в почвах нарушается фиксация атмосферного азота, уменьшается интенсивность процессов аммонификации, нитрификации и денитрификации (Реуце, Кырстя, 1986).

Кадмий относится к первому классу опасности и обладает высоким кумулятивным эффектом. При загрязнении почв этот элемент по пищевым цепям может поступать в организм животных и

* Адрес для переписки:

Побилат Анна Евгеньевна

E-mail: pobilat_anna@mail.ru

человека. В животных организмах кадмий легко усваивается из пищи и воды и быстро проникает в различные органы и ткани. Накапливаясь в печени, почках, костях повышенные концентрации кадмия могут вызывать эндемические заболевания (Таланов, Хмелевский, 1991). При кадмиевом токсикозе человек заболевает специфической болезнью «итай – итай» и кадмиевым ринитом (Сусликов, 2002). Избыток кадмия нарушает усвоение и обмен цинка, меди, железа, селена и вызывает их дефицит в организме.

Источником поступления кадмия в почву являются предприятия цветной и черной металлургии, приборостроения, химическая промышленность и автотранспорт (Гигиеническая оценка..., 1999). В агропромышленном комплексе загрязнение почв и растениеводческой продукции кадмием происходит при ненормированном применении фосфорных удобрений и осадков сточных вод. Обогащение биосферы токсикантом способствует возникновению геохимических аномалий, увеличивает количество загрязненных земель, что вызывает необходимость в проведении регулярного агрохимического и экологического контроля за содержанием кадмия в почвах и растениях.

Цель исследования – эколого-агрохимическая оценка содержания кадмия в почвах и растениях Средней Сибири.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эколого-агрохимическое картографирование почв сельскохозяйственных угодий прово-

дилось в подтаежной, лесостепной и степной зонах Средней Сибири. В структуре почвенного покрова этих зон преобладают черноземы, серые лесные, дерново-подзолистые и интразональные почвы (Крупкин, 2002).

Почвенные образцы отбирали в соответствии с принятыми рекомендациями (Методические указания..., 2003). Определение валового кадмия в почвах проводили по методике ЦИНАО (1992). Подвижную форму извлекали при помощи ацетатно-буферного раствора с рН 4,8. Содержание кадмия в растениях определяли после мокрого озоления. Кадмий в почвах и растениях выявляли атомно-абсорбционным методом в пламени ацетелен – воздух.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В почвах сельскохозяйственных угодий Средней Сибири наблюдается значительное варьирование содержания кадмия (табл. 1). Концентрация этого элемента в разных типах и подтипах черноземов, серых лесных, дерново-подзолистых и интразональных почв колеблется от 0,001 до 0,80 мг/кг, или в 800 раз. Такой характер распределения кадмия в почвах связан с неодинаковыми условиями их почвообразования и разной концентрацией элемента в почвообразующих породах. Наиболее сильные колебания в содержании кадмия наблюдаются в почвах Назаровской и Чулымо-Енисейской лесостепных зон. Наименьшее количество кадмия отмечается в почвах Минусинской лесостепной зоны.

Таблица 1. Валовое содержание кадмия в 0–20 см слое почв Средней Сибири, мг/кг

Природная зона	Обследованная площадь, тыс. га	Число образцов, шт	Min–max	Среднее
Подтаежная зона	104,3	875	0,1–0,20	0,10
Красноярская лесостепь	177,3	3059	0,1–0,20	0,14
Ачинско-Боготольская лесостепь	143,4	1440	0,1–0,40	0,10
Назаровская лесостепь	196,4	2431	0,04–0,39	0,14
Чулымо-Енисейская лесостепь	414,1	5946	0,03–0,80	0,15
Канская лесостепь	915,2	4323	0,04–0,28	0,12
Минусинская лесостепь	585,9	3088	0,001–0,21	0,05
По всему региону:	2540,0	21162	0,001–0,80	0,11

Примечание: кларк кадмия в почвах – 0,5 мг/кг (Виноградов, 1957), ориентировочно допустимая концентрация (ОДК) – 2 мг/кг (Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2042-06).

Таблица 2. Валовое содержание и количество подвижного кадмия в 0–20 см слое почв Средней Сибири, мг/кг (n=60)

Почва	Валовое содержание	Подвижный кадмий	% от валового
Темно-бурая пойменная	<u>0,08</u> 0,04–0,12	<u>0,03</u> 0,009–0,04	<u>37,5</u> 22,5–41,6
Темно-цветная пойменная	<u>0,13</u> 0,08–0,26	<u>0,02</u> 0,004–0,05	<u>15,4</u> 5,0–19,2
Серая лесная	<u>0,20</u> 0,07–0,66	<u>0,04</u> 0,01–0,15	<u>20,0</u> 14,3–22,7
Темно-серая лесная	<u>0,15</u> 0,08–0,32	<u>0,04</u> 0,005–0,09	<u>26,7</u> 6,2–28,1
Чернозем выщелоченный	<u>0,16</u> 0,06–0,34	<u>0,03</u> 0,002–0,09	<u>18,7</u> 3,3–26,5
Чернозем обыкновенный	<u>0,13</u> 0,08–0,19	<u>0,03</u> 0,003–0,06	<u>23,1</u> 3,7–31,6

П р и м е ч а н и е : над чертой – среднее содержание, под чертой – пределы колебаний.

Пониженное содержание кадмия в агроценозах этой зоны связано с облегченностью гранулометрического состава почв и почвообразующих пород. Среднее содержание валового кадмия в черноземах равно 0,12 мг/кг, интразональных – 0,11 мг/кг, серых лесных и дерново-подзолистых – 0,10 мг/кг. Фоновое содержание кадмия в почвах на площади 2,54 млн га составляет 0,11 мг/кг, или 0,2 кларка. Почвы Средней Сибири обеднены кадмием по сравнению с аналогами в Западной Сибири (Ильин, Сысо, 2001) и Центральном Черноземье (Протасова, Щербаков, 2004). На обследованной территории не обнаружено загрязнения кадмием почв сельскохозяйственных угодий.

Количество подвижного кадмия зависит от направленности почвообразовательного процесса, валового содержания, агрофизической и агрохимической характеристики почв, погодных условий и биологических особенностей сельскохозяйственных культур. В региональных условиях концентрация кадмия характеризуется высокой вариабельностью, обусловленной изменениями влажности и температуры почвы, ее окислительно-восстановительного потенциала и реакции среды (табл. 2).

Среднее содержание подвижного кадмия в почвах колеблется от 0,02 до 0,04 мг/кг, или 18,7–37,5% от валового содержания. Наиболее высокая подвижность кадмия отмечается в темно-бурой пойменной и темно-серой лесной поч-

вах. Состояние подвижного кадмия в пойменных почвах, серых лесных и черноземах в разные годы исследований было подвержено значительным колебаниям, которые связаны с климатическими условиями земледельческой части Средней Сибири. Резко континентальный климат, частые весенние и летние засухи, неблагоприятный водный и температурный режимы являются основными причинами колебания содержания кадмия в региональных почвах.

Кадмий относится к числу химических элементов, имеющих высокую степень поглощения растениями. На накопление кадмия в урожае сельскохозяйственных культур оказывают влияние физико-химические свойства почв, обеспеченность их подвижной формой элемента и видовые особенности растений. На разных почвах Средней Сибири содержание кадмия в растениях колеблется от 0,008 до 0,140 мг/кг (см. табл. 3). Из зерновых культур более высокое содержание кадмия отмечается у яровой пшеницы. Солома колосовых культур больше содержит кадмия в сравнении с зерном. Кукуруза по содержанию кадмия превосходит зеленую массу однолетних трав. Повышенным содержанием кадмия характеризуются зеленая масса многолетних злаковых трав и сено с естественных кормовых угодий. Концентрация кадмия в клубнях картофеля выше, чем в продуктивной части урожая овощных культур.

Таблица 3. Среднее содержание кадмия в сельскохозяйственных культурах Средней Сибири, мг/кг сырой массы (Волков и др., 2007)

Культура	Исследованная часть	Min - max	Среднее
Яровая пшеница	Зерно; солома	0,020–0,023; 0,052–0,082	0,021; 0,072
Яровой ячмень	Зерно; солома	0,019 -0,020; 0,020–0,032	0,020; 0,028
Овес	Зерно; солома	0,016–0,019; 0,032–0,050	0,018; 0,043
Озимая рожь	Зерно; солома	0,018–0,020; 0,024–0,042	0,019; 0,033
Кукуруза	Зеленая масса	0,010–0,72	0,032
Однолетние травы	Зеленая масса	0,011–0,023	0,016
Многолетние злаковые травы	Зеленая масса; сено	0,020–0,032; 0,017–0,048	0,026; 0,038
Многолетние бобовые травы	Зеленая масса; сено	0,018 –0,021; 0,028–0,110	0,019; 0,049
Естественные угодья	Сено	0,026–0,140	0,060
Капуста поздняя	Кочан	0,008–0,010	0,009
Морковь столовая	Корнеплод	0,010–0,014	0,012
Свекла столовая	Корнеплод	0,011–0,013	0,012
Картофель	Клубень	0,012–0,014	0,013

Примечание: предельно-допустимая концентрация (ПДК) кадмия в зерне – 0,1 мг/кг, овощах и картофеле – 0,03 мг/кг (Гигиенические требования СанПиН 2.3.2.1078-01), временный максимально допустимый уровень (МДУ) в грубых и сочных кормах – 0,3 мг/кг (1987).

Полученные данные показывают, что содержание кадмия в урожае кормовых культур ниже МДУ, в зерне и овощах – не превышает ПДК, что свидетельствует об экологической безопасности растениеводческой продукции в агроценозах Средней Сибири.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содержание валового кадмия в незагрязненных почвах Средней Сибири колеблется от 0,001 до 0,80 мг/кг. Пространственное содержание и распределение кадмия в почвах агроценозов связано с различиями в гранулометрическом составе и концентрации элемента в почвообразующих породах. Среднее содержание кадмия в

почвах на площади 2,54 млн га равно 0,11 мг/кг, или 0,2 кларка.

Концентрация подвижного кадмия в почвах определяется погодными условиями, валовым содержанием, агрофизической и агрохимической характеристикой почв. Среднее количество подвижного кадмия в почвах колеблется от 0,02 до 0,04 мг/кг, или 18,7–37,5% от валового содержания.

Содержание кадмия в растениях зависит от климатических условий, обеспеченности почв подвижной формой элемента и биологических особенностей сельскохозяйственных культур. Концентрация кадмия в урожае зерновых, кормовых, овощных культур и картофеле – ниже

МДУ и ПДК, что свидетельствует об экологической безопасности растениеводческой продукции в условиях Средней Сибири.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 259 с.

(Vinogradov A.P. [Geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1957 [in Russ]).

Волков А.Д., Танделов Ю.П., Василенко А.А., Ерышова О.А., Фоменко Н.В. Химический состав и питательность кормов Красноярского края: Учеб. пособие. Красноярск: Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2007. 136 с.

(Volkov A.D., Tandelov Yu.P., Vasilenko A.A., Eryshova O.A., Fomenko N.V. [Chemical composition and nutritional value of fodders in the Krasnoyarsk Territory: Textbook]. Krasnoyarsk, 2007 [in Russ]).

Временный максимально-допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических веществ и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках. М., 1987. 5 с.

([Temporary maximum allowable level (MAL) of the content of certain chemicals and gossypol in feed for farm animals and feed additives]. Moscow, 1987 [in Russ]).

Гигиеническая оценка качества населенных мест: методические указания. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 1999. 38 с.

([Hygienic assessment of the quality of populated areas: Guidelines]. Moscow, 1999 [in Russ]).

Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.3.2.1078-01. М.: ЗАО «РИТ – ЭКСПРЕСС», 2002. 216 с.

([Hygienic requirements for the safety and nutritional value of food. Sanitary-epidemiological rules and regulations]. SanPiN 2.3.2.1078-01. Moscow, 2002 [in Russ]).

Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2042-06. Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почвах.

([Hygienic standards GN 2.1.7.2042-06. Approximate-permissible concentrations (APC) of chemical substances in soils] [in Russ]).

Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.

(Ilyin V.B., Syso A.I. [Trace elements and heavy metals in soils and plants of the Novosibirsk region]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2001 [in Russ]).

Крупкин П.И. Черноземы Красноярского края. Красноярск: Изд-во КрасГУ, 2002. 332 с.

(Krupkin P.I. [Chernozems of the Krasnoyarsk Territory]. Krasnoyarsk: Izd-vo KrasGU, 2002. 332 s. [in Russ]).

Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции животноводства. М., ЦИНАО, 1992. 61 с.

([Methodical instructions for the determination of heavy metals in soils of farmland and livestock products]. Moscow: CINAO, 1992 [in Russ]).

Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.

([Methodical instructions on conducting complex monitoring of fertility of agricultural land]. Moscow, 2003 [in Russ]).

Протасова Н.А., Щербаков А.П. Особенности формирования микроэлементного состава зональных почв Центрального Черноземья. Почвоведение. 2004. № 1. С. 50–59.

(Protasova N.A., Shcherbakov A.P. Microelemental composition of zonal soils in the central chernozemic region. Eurasian Soil Science. 2004, 37(1):40-48).

Реуце К., Кырстя С. Борьба с загрязнением почв. Пер. с румын. К.И. Станькова. Под ред. В.К. Штефана. М.: Агропромиздат, 1986. 221 с.

(Reutse K., Kyrstya S. [Fight against soil pollution]. Translated from Romanian by K.I. Stankov. Ed by V.K. Shtefan. Moscow: Agropromizdat, 1986 [in Russ]).

Сусликов В.Л. Геохимическая экология болезней. Т.3. Атомовитозы. М.: Гелиос АРВ, 2002. 670 с.

(Suslikov V.L. [Geochemical ecology of diseases. Vol.3. Atomovitoses]. Moscow: Gelios ARV, 2002 [in Russ]).

Таланов М.Т., Хмелевский Б.Н. Санитария кормов: справочник. М.: Агропромиздат, 1991. 303 с.

(Talanov M.T., Khmelevsky B.N. [Sanitation of feed: a guide]. Moscow: Agropromizdat, 1991 [in Russ]).

CADMIUM IN SOILS AND PLANTS OF CENTRAL SIBERIA

A.E. Pobilat¹, E.I. Voloshin²

¹ Krasnoyarsk State Medical University, Partizan Zheleznyak str. 1, Krasnoyarsk, 660022, Russia

² Krasnoyarsk State Agricultural University, Mira ave. 90, Krasnoyarsk, 660049, Russia

ABSTRACT. The content of gross cadmium in uncontaminated soils of Central Siberia was found to fluctuate from 0.001 to 0.80 mg/kg. The spatial contents and distribution of cadmium in soils is conditioned by differences in particle size distribution and concentration of the element in soil forming rocks. The average content of cadmium in chernozems equals 0.12 mg/kg, intrazonal soils – 0.11, gray forest and sod-podzolic soils – 0.10 mg/kg. The background gross content of cadmium on the area of 2.54 million hectares is equal in soils 0.11 mg/kg or 0.2 Clark. The amount of mobile cadmium in agrocenosis depends on the gross contents, fertility of soils, weather conditions and specific features of crops. The average content of mobile cadmium in soils fluctuates from 0.02 to 0.04 mg/kg or

18.7–37.5% of the gross contents. The highest mobility of cadmium is noted in dark-brown inundated and in dark-gray forest soil. Sharply continental climate, frequent spring and summer droughts, the adverse water and temperature modes are the main reasons for fluctuation of mobile cadmium in regional soils. The properties of soils, their safety with mobile form of element, climate and biological features of crops have impact on the concentration of cadmium in plants. The average cadmium content of grain yield, forage, vegetable crops and potatoes fluctuates from 0.008 to 0.140 mg/kg. Among grain crops a higher content of cadmium is found in spring-wheat. Corn surpassed green mass of annual grasses in the content of cadmium. A raised content of cadmium characterizes green mass of long-term cereals and hay of natural fodder grounds. The concentration of cadmium in tubers of potatoes was higher, than in productive part of a crop of vegetable cultures. Average content of cadmium in plants was found below MAL and MAC that testifies to not impurity of crop production in agrocenosis of Central Siberia.

KEYWORDS: soil, cadmium, contents, particle size distribution, cultures, productivity.