

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

## ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ СВИНЦА В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

*А.Е. Побилат<sup>1\*</sup>, Е.И. Волошин<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Красноярский государственный медицинский университет, г. Красноярск, Россия

<sup>2</sup> Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск, Россия

**РЕЗЮМЕ.** Изучены особенности содержания свинца в почвах и растениях Средней Сибири. Показано, что валовое содержание свинца в пахотных почвах Средней Сибири колеблется от 1,1 до 68,5 мг/кг. Максимальное содержание свинца в почвах превосходит его минимальную концентрацию в 62,3 раза. Содержание и пространственное распределение свинца в почвах разных природных зон региона определяется неодинаковыми условиями их почвообразования и различиями в гранулометрическом составе почвообразующих пород. Наибольшее среднее содержание свинца наблюдается в подтаежной зоне, Ачинско-Боготольской и Назаровской степных зонах. Более низкая концентрация – в Минусинской лесостепной зоне. Фоновое содержание свинца в почвах на площади 2,54 млн га равно 11,4 мг/кг, или 1,1 кларка. На обследованной территории загрязнение почвы свинцом не выявлено. Его максимальное содержание в почвах в 1,9 раза ниже принятых санитарных норм. Количество подвижного свинца зависит от реакции почвенного раствора, валового содержания, гранулометрического состава и гумусированности почв. В черноземах, серых лесных, темно-бурой и темно-цветной пойменных почвах содержание подвижного свинца колеблется от 0,05 до 0,66 мг/кг и составляет 1,1–3,9 % от валового содержания. Концентрация свинца в разных сельскохозяйственных культурах изменяется в зависимости от погодных условий, содержания подвижной формы элемента в почвах и биологических особенностей растений. Из зерновых культур более высокое содержание свинца отмечается у овса (0,30 мг/кг). Кострец по средней концентрации свинца (0,38 мг/кг) превосходит клевер (0,26 мг/кг) и естественное разнотравье (0,24 мг/кг). Овощные культуры и картофель незначительно отличаются по содержанию свинца в продуктивной части растений (0,10–0,13 мг/кг). Невысокое содержание свинца в почвах и растениях гарантирует получение экологически безопасной продукции в условиях Средней Сибири.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** почва, свинец, валовое содержание, подвижная форма, культуры, продуктивность.

### ВВЕДЕНИЕ

Свинец необходим растениям и животным в небольших количествах. Этот элемент имеет среднюю степень поглощения растениями. Различные виды растений характеризуются избирательностью в накоплении свинца, которая обусловлена их биологическими особенностями. Наименьшее содержание свинца отмечается в продуктивной части растений, что связано с деятельностью защитных механизмов, препятствующих поступлению в них избыточного количества токсиканта. Дефицит свинца в растениях наблюдается при его концентрации в надземной части в пределах от 2 до 6 мг/кг сухого вещества (Кальницкий, 1985).

Избыток свинца в растениях ингибирует дыхание и подавляет интенсивность процесса фотосинтеза. Это приводит к увеличению содер-

жания кадмия, снижает поступление в растения цинка, кальция, фосфора, серы и ухудшает качество продукции. При избыточном поступлении свинца в растения его листья становятся темно-зелеными, наблюдается их скручивание и отмирание. Устойчивость растений к избытку свинца неодинаковая, у бобовых она выше, чем у зерновых культур. Свинцовый токсикоз наблюдается в растениях при валовом содержании свинца в почвах от 100 до 500 мг/кг (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

Содержание свинца в почвах определяется его концентрацией в почвообразующих породах. В региональных условиях на содержание свинца в почвах оказывает влияние климат, рельеф местности, условия почвообразования, растительность и хозяйственная деятельность человека (Ильин, Сысо, 2001). Свинец относится к пер-

\* Адрес для переписки:

Побилат Анна Евгеньевна

E-mail: pobilat\_anna@mail.ru

вому классу опасности и является приоритетным загрязнителем окружающей среды. Основными источниками поступления свинца в почвы сельскохозяйственных угодий являются автотранспорт, тепловые электростанции, предприятия цветной и черной металлургии, машиностроения и металлообработки, химической промышленности, использование в качестве удобрений твердых бытовых отходов и осадков сточных вод (Гигиеническая оценка качества..., 1999).

Повышенные концентрации свинца в биосфере представляют опасность для здоровья животных и человека. В организме животных и человека свинец концентрируется в мышцах и печени. При свинцовом токсикозе в первую очередь поражаются органы кроветворения (анемия), нервная и сердечно-сосудистая система и почки, угнетается активность многих ферментов, нарушаются процессы метаболизма и биосинтеза (Сусликов, 2002). Эндемические заболевания начинают проявляться при превышении концентрации свинца свыше 0,03 мг/кг в воде, 0,2–0,5 мг/кг сухого вещества в зерне и 20–40 мг/кг в грубых и сочных кормах (Иванов, 2007).

В связи с усилением антропогенной нагрузки на агроценозы возникает необходимость в проведении постоянного эколого-агрохимического мониторинга за содержанием свинца в почвах, воде и растениях. В региональных условиях проведение комплексных исследований за поведением свинца позволяет объективно оценить экологическое состояние сельскохозяйственных земель и разработать мероприятия по улучшению качества растениеводческой продукции.

Цель исследования – изучение особенностей содержания свинца в почвах и растениях Средней Сибири.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Земледельческая территория Средней Сибири включает подтаежную, степную и лесостепную зоны. В структуре почвенного покрова пашни преобладают различные типы и подтипы черноземов, серых лесных, дерново-подзолистых и интразональных почв (Крупкин, 2002). Разнообразие природных условий в регионе оказывает большое влияние на потенциальное и эффективное плодородие почв, содержание и подвижность в них различных химических элементов.

Отбор почвенных и растительных образцов на содержание свинца осуществляли рекомендованными методами (Методические указания..., 2003). Определение валового содержания свинца проводили по методике ЦИНАО (1992). Подвижную форму свинца в почвах извлекали при помощи ацетатно-аммонийного буферного раст-

вора с рН 4,8. Свинец в почвах и растениях определяли атомно-абсорбционным методом.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание и распределение валового содержания свинца в сельскохозяйственных угодьях Средней Сибири связано с большой комплексностью почв, неодинаковыми условиями их почвообразования и разной концентрацией элемента в почвообразующих породах (табл. 1).

Наиболее высокое среднее содержание свинца наблюдается в подтаежной, Ачинско-Боготольской и Назаровской лесостепных зонах. Пониженная концентрация свинца отмечается в легких по гранулометрическому составу почвах Минусинской лесостепной зоны. На обследованной территории максимальное содержание свинца в почвах превышает его минимальную концентрацию в 62,3 раза. Наиболее сильное варьирование свинца отмечается в почвенном покрове Назаровской лесостепи. Различные подтипы черноземов отличаются по содержанию свинца в почвах. Так, у черноземов выщелоченных среднее содержание свинца равняется 11,7 мг/кг, оподзоленных – 11,3 мг/кг, обыкновенных – 10,8 мг/кг, карбонатных – 9,9 мг/кг. В серых лесных почвах пространственное варьирование свинца в верхнем горизонте достигает 1,5 раза. На обследованной территории концентрация свинца у темно-серых лесных почв составляет 12,4 мг/кг, серых лесных – 12,5 мг/кг, светло-серых – 8,3 мг/кг. В дерново-подзолистых почвах подтаежной зоны среднее содержание свинца выше, чем у черноземов и серых лесных почвах, и составляет 16,0 мг/кг. Более высокая концентрация свинца в этих почвах определяется его повышенным содержанием в почвообразующих породах. В различных подтипах интразональных почв концентрация свинца варьирует от 7,3 до 11,9 мг/кг при среднем значении 9,8 мг/кг. Фоновое содержание валового свинца в почвах на площади 2,54 млн га равно 11,4 мг/кг, или 1,1 кларка. Исследуемые почвы обеднены свинцом в сравнении с аналогами из Западной Сибири (Ильин, Сысо, 2001). При проведении эколого-агрохимического мониторинга не обнаружено загрязнения почв свинцом, его максимальное содержание в 1,9 раза ниже принятых санитарных норм.

Количество подвижной формы свинца в почвах связано с реакцией среды, содержанием органического вещества, гранулометрическим составом, растительностью и процессами миграции металла в почвенном покрове. Среди основных факторов, влияющих на концентрацию свинца в почвах, – гранулометрический состав и наличие в них органического вещества.

На высокогумусированных почвах аккумуляция свинца происходит более интенсивно. В легких по гранулометрическому составу почвах содержание свинца в 2,0–2,5 раза ниже в сравнении с глинистыми и тяжелосуглинистыми почвами.

Полученные данные (табл. 2) показывают, что концентрация подвижного свинца в исследуемых почвах колеблется от 0,05 до 0,66 мг/кг, или составляет 1,1–3,9% от валового содержания.

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

Природная зона	Обследованная площадь, тыс. га	Число образцов, шт.	Min–max	Среднее
Подтаежная	104,3	875	1,2–18,6	12,6
Красноярская лесостепь	177,3	3069	3,7–30,7	10,7
Ачинско-Боготольская лесостепь	143,4	1440	4,3–18,2	12,9
Назаровская лесостепь	196,4	2431	7,0–68,5	12,9
Чулымо-Енисейская лесостепь	414,1	5946	1,7–35,3	10,6
Канская лесостепь	915,2	4323	1,1–24,4	11,5
Минусинская лесостепь	585,9	3088	2,4–24,0	8,9
Всего по краю:	2540,0	21162	1,1–68,5	11,4

Примечание: кларк свинца в почвах – 10,0 мг/кг (Кашин, Иванов, 1997), ориентировочно-допустимая концентрация (ОДК) – 65–30 мг/кг (Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2042-06).

Таблица 2. Валовое содержание и количество подвижного свинца в почвах (0–20 см), мг/кг

Почва	Число образцов, шт.	Валовый	Подвижный	% от валового
Темно-бурая пойменная	6	<u>6,1</u> 6,0–6,3	<u>0,24</u> 0,19–0,31	<u>3,9</u> 3,2–4,9
Темно-цветная пойменная	6	<u>8,6</u> 7,5–9,6	<u>0,14</u> 0,07–0,21	<u>1,6</u> 0,9–2,2
Серая лесная	8	<u>13,9</u> 12,4–15,4	<u>0,46</u> 0,31–0,57	<u>3,3</u> 2,5–3,7
Темно-серая лесная	8	<u>10,9</u> 10,0–11,6	<u>0,35</u> 0,18–0,66	<u>3,2</u> 1,8–5,7
Чернозем выщелоченный	20	<u>11,4</u> 8,7–13,7	<u>0,20</u> 0,07–0,41	<u>1,7</u> 0,8–3,0
Чернозем обыкновенный	12	<u>8,4</u> 7,9–9,0	<u>0,09</u> 0,05–0,12	<u>1,1</u> 0,6–1,3

Примечание: предельно допустимая концентрация (ПДК) подвижного свинца в почвах – 6,0 мг/кг (Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06).

Из разных типов почв более высокая подвижность свинца отмечается в темно-бурой пойменной и серой лесной почве. Результаты исследований показывают, что в почвах Средней Сибири содержание подвижного свинца в 9,1–120,0 раза ниже принятой для этого элемента предельно-допустимой концентрации.

Сельскохозяйственные культуры характеризуются неодинаковым содержанием свинца. Коле-

бания свинца в растениях связаны с наличием геохимических аномалий, с различиями в валовом содержании элемента и плодородии почв. Уровнем содержания свинца в растениях определяются качественные показатели и экологическая безопасность растениеводческой продукции. В разных природных зонах Средней Сибири количество свинца в сельскохозяйственных культурах изменяется в зависимости от погодных условий, биологи-

ческих особенностей растений и содержания подвижной формы элемента в почвах (табл. 3)

Таблица 3. Содержание свинца в сельскохозяйственных культурах,  
мг/кг сырой массы (Волков и др., 2007)

Культура	Исследованная часть	Min–max	Среднее
Пшеница	Зерно	0,16–0,27	0,24
Ячмень	Зерно	0,17–0,25	0,23
Овес	Зерно	0,28–0,31	0,30
Клевер	Зеленая масса	0,22–0,35	0,26
Кострец	Зеленая масса	0,23–0,44	0,38
Естественное разнотравье	Зеленая масса	0,20–0,29	0,24
Капуста	Кочан	0,10–0,13	0,11
Морковь	Корнеплод	0,08–0,12	0,10
Картофель	Клубни	0,11–0,16	0,13

Примечание: предельно допустимая концентрация (ПДК) свинца в зерне, овощах, картофеле – 0,5 мг/кг (Гигиенические требования СанПиН 2.3.2.1078-01), МДУ свинца в грубых и сочных кормах – 5,0 мг/кг (Временный максимально-допустимый уровень..., 1987).

Из зерновых культур более высокое содержание свинца отмечается у овса. Кострец по средней концентрации свинца превосходит клевер и естественное разнотравье. Овощные культуры и картофель незначительно отличаются по содержанию свинца в продуктивной части растений. Полученные данные свидетельствуют о том, что среднее содержание свинца в урожае зерновых, кормовых, овощных культур и картофеле ниже в сравнении с существующими санитарными нормами (Максимально допустимый уровень..., 1987; Гигиенические требования..., 2002). По результатам анализов почв и растений свинец не представляет опасности для загрязнения растениеводческой продукции в агроценозах Средней Сибири.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содержание валового свинца в почвах Средней Сибири изменяется от 1,1 до 68,5 мг/кг, или в 62,3 раза. Фоновое содержание свинца в почвах на площади 2,54 млн га равно 11,4 мг/кг. Пространственное содержание и распределение свинца в региональных почвах определяется разнообразием условий почвообразования и различиями в гранулометрическом составе почвообразующих пород.

Подвижная форма свинца в черноземах, серых лесных и пойменных почвах колеблется от 0,05 до 0,66 мг/кг и составляет 1,1–3,9% от валового содержания.

Количество свинца в растениях определяется погодными условиями, содержанием подвижной формы элемента в почвах и видовыми особенностями сельскохозяйственных культур.

Среднее содержание свинца в растениях варьирует от 0,10 до 0,38 мг/кг. Наибольшее количество свинца отмечается у овса, костреца и наименьшее – в овощных культурах и картофеле.

### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

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 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве.

([The maximum permissible concentration (MPC) of chemicals in the soil]. Hygienic regulations GN 2.1.7.2041-06. [in Russ]).

Иванов Г.М. Микроэлементы – биофилы в ландшафтах Забайкалья: монография. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2007. 239 с.

(Ivanov G.M. [Trace elements – biophils in landscapes of Transbaikalia: a monograph]. Ulan-Ude, 2007 [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]).

Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: пер. англ. М.: Мир, 1989. 439 с.

(Kabata-Pendias A., Pendias H. [Trace elements in soils and plants]. Translated from English. Moscow: Mir, 1989 [in Russ]).

Кальницкий Б.Д. Минеральные вещества в кормлении животных. Л.: Агропромиздат, 1985. 2007 с.

(Kal'nitskiy B.D. [Mineral substances in animal feeding]. Leningrad: Agropromizdat, 1985 [in Russ]).

Кашин В.К., Иванов Г.М. Свинец в растительности Забайкалья. Агрохимия. 1997. № 8. С. 61–67.

(Kashin V.K., Ivanov G.M. [Lead in vegetation of Transbaikalia]. Agrokimiya. 1997, 8:61–67 [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. 61с.

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

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

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

## PECULIARITIES OF LEAD CONTENT IN SOILS AND PLANTS OF CENTRAL SIBERIA

*A.E. Pobilat<sup>1</sup>, E.I. Voloshin<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Krasnoyarsk State Medical University, Partizan Zheleznyak str. 1, Krasnoyarsk 660022, Russia

<sup>2</sup> Krasnoyarsk State Agricultural University, Mira ave. 90, Krasnoyarsk 660049, Russia

**ABSTRACT.** The gross content of lead in arable soils of Central Siberia fluctuates from 1.1 to 68.5 mg/kg. The maximum content of lead in soils surpasses its minimum concentration 62.3 times. The contents and spatial distribution of lead in soils of different natural zones of the region is determined by unequal conditions of soil formation and differences in particle size distribution of soil forming rocks. The highest average content of lead is observed in a subtaiga zone, Achinsk-Bogotol and Nazarovo steppe zones. The lowered concentration of lead is noted in light in particle size distribution soils of Minusinsk forest-steppe zone. The background content of lead in soils on the area of 2.54 million hectares is equal to 11.4 mg/kg or 1.1 Clark. No lead pollution of soils revealed in the surveyed territory. Its maximum content in soils is 1.9 times lower than the accepted sanitary standards. The amount of mobile lead depends on the pH of soil solution, the gross lead content, particle size distribution and humus content of soils. In chernozems, gray forest, dark-brown and dark-colored inundated soils the amount of lead fluctuates from 0.05 to 0.66 mg/kg and makes 1.1–3.9% of the gross content. The concentration of lead in crops changes depending on weather conditions, amount of mobile form of an element in soils and on biological features of plants. Among grain crops, a higher content of lead (0.30 mg/kg) was found in oats. In average concentration of lead, brome (0.38 mg/kg) surpasses clover (0.26 mg/kg) and natural motley grass (0.24 mg/kg). Vegetable cultures and potatoes slightly differ in lead content of the productive part of plants (0.10–0.13 mg/kg). Low content of lead in soils and plants guarantees receiving ecologically safe crop production in agrocenosis of Central Siberia.

**KEYWORDS:** soil, lead, gross content, mobile form, cultures, productivity.