

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ЦИНК В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – РАСТЕНИЕ – ЧЕЛОВЕК» В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

А.Е. Побилат^{1*}, Е.И. Волошин²

¹ Красноярский государственный медицинский университет

² Красноярский государственный аграрный университет

РЕЗЮМЕ. Изучено содержание цинка в незагрязненных пахотных почвах Средней Сибири, которое колеблется в пределах 9,4–115,0 мг/кг; среднее содержание цинка на обследованной территории в 2,536 млн га равно 25,3 мг/кг. Наибольшая концентрация цинка отмечается в почвах подтаежной и Канской лесостепной зоне и наименьшая – в Минусинской лесостепи. Пространственное распределение цинка в разных природных зонах края связано со значительной пестротой почвенного покрова, с различиями в гранулометрическом и минералогическом составе почв и концентрации элемента в почвообразующих породах. Выявлено, что почвы земледельческой части края имеют низкую и среднюю обеспеченность подвижным цинком. Наибольшие площади с дефицитом цинка наблюдаются в Ачинско-Боготольской, Минусинской, Назаровской и Чулымо-Енисейской лесостепных зонах. Недостаточная обеспеченность почв цинком связана с низкой подвижностью этого элемента. Подвижная форма цинка в большинстве почв составляет 0,8–5,5% от общего содержания. Показано, что повышенная гумусированность региональных почв (средневзвешенное содержание – 6,5%) и близкая к нейтральной реакция среды (средневзвешенное содержание – 5,9) способствует уменьшению биодоступности этого элемента растениям. Отмечен дефицит цинка в урожае зерновых, кормовых и овощных культур, который приводит к ухудшению качества растительной продукции. Для улучшения качества продукции необходима оптимизация питания растений макро- и микроэлементами. Комплексное применение органических и микроудобрений будет способствовать улучшению микроэлементного состава растений, повышению качественных параметров продукции (крахмала, белка, сахара, витаминов, питательной ценности кормов и т.д.) при сохранении ее экологической безопасности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: цинк, содержание, распределение, обеспеченность, дефицит, оптимизация, микроудобрения.

ВВЕДЕНИЕ

Цинк имеет большое значение в жизни растений. Этот элемент входит в состав ферментов, участвует в синтезе ДНК, белковом, липоидном, углеводном, фосфорном обмене, биосинтезе витаминов и ростовых веществ. Под влиянием цинка активизируется процесс размножения растений. Цинк оказывает существенное влияние на содержание в растениях, поступление и потребление ими других питательных веществ.

При дефиците цинка в растениях задерживается образование сахарозы, крахмала и ауксинов, нарушается процесс синтеза белков и фотосинтез, в них накапливаются небелковые соединения. При недостатке цинка в почвах у растений наблюдается задержка роста междоузлий, проявляется хлороз и мелколистность, развивается розеточность, снижается продуктивность сельскохозяйственных культур.

Почва является основным источником питания растений цинком. Количество цинка в почвах обусловлено различиями в агрохимических и агрофизических свойствах, неодинаковым минералогическим и гранулометрическим составом почвообразующих пород (Сысо, 2007; Ильин, 2012; Гурин и др., 2013). Недостаток или избыток цинка в окружающей среде сопровождается заболеваниями животных и человека (Лебедев, 1990; Сусликов, 2002).

Для определения уровней содержания различных макро- и микроэлементов в организме человека приняты методы количественного анализа их в биосубстратах. Аналитическое определение микроэлементного состава, как правило, проводится по волосам, в частности, по методике «Атомно-абсорбционный анализ микроэлементов в биосредах» (Дорогова и др., 1992). Содержание микроэлементов в волосах является инте-

* Адрес для переписки:

Побилат Анна Евгеньевна

E-mail: pobilat_anna@mail.ru

гральным показателем минерального обмена у человека, коррелирует с уровнем загрязнения окружающей среды, отражает МЭ-статус организма в целом и помогает диагностировать ряд заболеваний с разработкой профилактических мероприятий.

В связи с интенсификацией земледелия, развитием промышленности и транспорта в регионе возникла необходимость в расширении исследований о содержании цинка в окружающей природной среде.

Цель исследований – изучить закономерности поведения цинка в зональных почвах и растениях и оценить его влияние на микроэлементный состав и состояние здоровья человека в условиях Средней Сибири.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований выбраны черноземы, серые лесные, дерново-подзолистые и интразональные почвы, которые преобладают в структуре почвенного покрова в лесостепной, степной и подтаежной зонах Красноярского края. Почвенные образцы отбирали в соответствии с принятыми указаниями (Методические указания, ... 2003).

Определение валового содержания цинка в почве проводили по методике ЦИНАО (Методические указания, ... 1992) с последовательным двукратным кипячением с азотной кислотой, обработкой концентрированным пероксидом водорода и последовательным двукратным фильтрованием. Подвижную форму извлекали при помощи ацетатно-аммонийного буферного раство-

ра с рН 4,8. Содержание цинка в растениях определяли после мокрого озоления. В полученных вытяжках определение цинка проводили на ААС-30 в пламени ацетелен–воздух.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Валовое содержание цинка в почвах сельскохозяйственных угодий Красноярского края подвержено большим колебаниям (табл. 1). На пространственное распределение цинка в почвах оказывают влияние неодинаковые условия их почвообразования, различия в гранулометрическом и минералогическом составе и концентрации этого микроэлемента в почвообразующих породах.

На обследованной территории более низкое содержание цинка отмечается в почвах Минусинской лесостепной зоны. Такой характер распределения цинка в почвах этой зоны связан с облегченностью их гранулометрического состава. Более высокое содержание цинка наблюдается в глинистых и тяжелосуглинистых почвах подтаежной зоны. По среднему валовому содержанию цинка пахотные почвы Красноярского края отличаются от своих аналогов из других регионов страны. Почвы Западной Сибири, Забайкалья и Центрально-Черноземной зоны России в 1,2–1,4 раза больше содержат этого микроэлемента в сравнении с аналогами лесостепной, степной и подтаежной зон Красноярского края (Волошин, 2012). Результаты агрохимического мониторинга свидетельствуют о пониженном содержании валового содержания цинка в отдельных природных зонах Красноярского края.

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

Природная зона	Обследованная площадь, тыс. га	Число образцов, шт.	Min–max	\bar{x}	Отношение к кларку*
Подтаежная	104,3	875	20,1–98,1	57,0	1,1
Красноярская лесостепь	177,3	3059	18,2–76,4	49,0	1,0
Ачинско-Боготольская лесостепь	143,4	1440	14,2–94,2	54,6	1,1
Назаровская лесостепь	196,4	2431	12,2–76,9	53,0	1,0
Чулымско-Енисейская лесостепь	414,1	5946	17,2–111,4	50,2	1,0
Канская лесостепь	915,2	4323	9,4–109,9	55,5	1,1
Минусинская лесостепь	585,9	3088	13,9–115,0	46,8	0,9
По краю	2536,6	21162	9,4–115,0	52,3	1,0

П р и м е ч а н и е : * – кларк цинка в почвах – 50 мг/кг (Виноградов, 1957), ориентировочно допустимая концентрация (ОДК) – 110,0 – 220,0 мг/кг (Ориентировочно допустимые концентрации..., 1995).

Содержание подвижной формы цинка в почвах находится в зависимости от их агрохимических и агрофизических свойств и уровня применения минеральных и органических удобрений. В зональных почвах концентрация подвижного цинка колеблется в пределах 0,4–3,3 мг/кг, что составляет 0,8–5,5% от валового содержания. По данным агрохимического мониторинга, почвы в земледельческой части Красноярского края в основном имеют низкую и среднюю обеспеченность подвижным цинком (табл. 2). Наибольшие площади почв с низким и средним содержанием цинка встречаются в Ачинско-Боготольской, Назаровской, Чулымо-Енисейской и Минусинской лесостепных зонах. Слабая обеспеченность почв доступным для растений цинком связана с низкой подвижностью этого элемента. Повышенная гумусированность зональных почв (средневзвешенное содержание – 6,5%) и близкая к нейтральной реакция среды (5,9) способствует уменьшению биодоступности этого элемента растениям.

На содержание цинка в сельскохозяйственных культурах большое влияние оказывают вид и фаза развития растений, плодородие почв, климатические и антропогенные условия их произрастания. В условиях Красноярского края содержание цинка в растениях подвержено большим колебаниям (табл. 3). Из зерновых культур более высокое содержание цинка отмечается в яровой пшенице. У этой культуры содержание цинка в

зерне в 1,4–1,6 раза выше, чем у ячменя и овса. Из кормовых культур лучшая обеспеченность растений цинком наблюдается у подсолнечника на силос, зеленой массе клевера и в агроценозе с естественным разнотравьем. Капуста белокочанная по содержанию цинка превосходит морковь. Результаты исследований показывают, что содержание цинка в кормовых культурах ниже, чем МДУ (50 мг/кг) (Временный максимально допустимый уровень..., 1987) и средняя концентрация этого элемента (40 мг/кг) в растениях (Кондрахин, 1989).

Таблица 2. Обеспеченность пахотных почв подвижной формой цинка

Природная зона	Площадь почв с низкой и средней обеспеченностью, % от обследованной площади
Подтаежная	99,7
Красноярская лесостепь	100,0
Ачинско-Боготольская лесостепь	99,8
Назаровская лесостепь	100,0
Чулымо-Енисейская лесостепь	100,0
Канская лесостепь	99,1
Минусинская лесостепь	100,0
Среднее по краю:	99,8

Таблица 3. Содержание цинка в растениях, мг/кг воздушно-сухого вещества

Культура	Объем выборки, n	Min	Max	\bar{x}	Отношение к норме
Яровая пшеница, зерно	12	12,4	42,5	28,5	–
Ячмень, зерно	6	17,5	40,1	25,3	0,6
Овес, зерно	7	12,7	20,9	16,8	0,4
Клевер	6	15,7	28,0	20,0	0,5
Кострец	4	8,4	23,4	15,5	0,4
Подсолнечник: силос	4	14,2	42,8	25,3	0,6
Естественное разнотравье	7	22,0	29,0	25,0	0,6
Капуста белокочанная	6	12,0	14,6	13,2	–
Морковь	6	7,5	9,2	8,4	–

П р и м е ч а н и е : среднее содержание в растениях – 50,0 мг/кг (Добровольский, 1983), норма (среднее содержание в кормовых культурах) – 40,0 мг/кг воздушно-сухого вещества (Кондрахин, 1989).

Недостаточная обеспеченность растений цинком связана с пониженным содержанием подвижной формы этого элемента в почвах. В большинстве районов лесостепной, степной и подтаежной зон края в урожае зерновых, кормовых и овощных культур отмечается дефицит

цинка (Волков и др., 2005; Василовский и др., 2011). Недостаток подвижной формы цинка в региональных почвах приводит к ухудшению качества растениеводческой продукции. Для повышения качества продукции необходима оптимизация питания растений по макро- и микроэле-

ментам. Рациональное использование органических и микроудобрений в севооборотах (сплошное и локальное внесение, предпосевная обработка семян, внекорневые подкормки), применение микродобавок в рационы кормления сельскохозяйственных животных является основным условием улучшения микроэлементного состава и повышения качества сельскохозяйственной продукции.

ВЫВОДЫ

1. Содержание валового цинка в незагрязненных почвах сельскохозяйственных угодий Средней Сибири колеблется в пределах 9,4–115,0 мг/кг. Среднее содержание цинка на обследованной территории в 2,536 млн га равно 52,3 мг/кг. Наибольшая концентрация цинка отмечается в почвах подтаежной и Канской лесостепной зоны и наименьшая – в Минусинской лесостепи. Пространственное распределение валового содержания цинка в почвах разных природных зонах Красноярского края связано с различиями в гранулометрическом, минералогическом составе почв и концентрации элемента в почвообразующих породах.

2. Почвы земледельческой части Красноярского края имеют низкую и среднюю обеспеченность (99,8%) подвижным цинком. Недостаточная обеспеченность зональных почв цинком связана с низкой подвижностью этого элемента. Повышенная гумусированность региональных почв (средневзвешенное содержание – 6,5%) и близкая к нейтральной реакция среды (5,9) способствует уменьшению биодоступности этого элемента для растений. В урожае зерновых, кормовых и овощных культур отмечается дефицит цинка, что приводит к ухудшению качества растительной продукции, для повышения которой необходима оптимизация питания растений за счет рационального применения органических и микроудобрений.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Василовский А.М., Волошин Е.И., Скударнов С.Е. Влияние микроэлементного состава подземных вод и почвы на зерновые и овощи. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2011. № 5–6. С. 19–23.

(Vasilovskiy A.M., Voloshin E.I., Skudarnov S.E. [Influence of trace element composition of underground water on cereals and vegetables]. Siberian Herald of Agricultural Science, 2011, 5–6: 19–23 [in Russ]).

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

(Vinogradov A.P. [Geochemistry of rare and trace chemical elements]. Moscow: AN SSSR, 1957 [in Russ]).

Волков А.Д., Танделов Ю.П., Василенко А.Н., Ерышова О.В., Фомченко Н.В. Химический состав и питатель-

ность кормов Красноярского края: учебное пособие. Красноярск: КрасГАУ, 2005. 119 с.

(Volkov A.D., Tandelov Yu.P., Vasilenko A.N., Eryshova O.V., Fomchenko N.V. [Chemical composition and nutritive value of forages in the Krasnoyarsk Territory: a tutorial]. Krasnoyarsk: KrasGAU, 2005 [in Russ]).

Волошин Е.И. Особенности фонового содержания микроэлементов в пахотных почвах Красноярского края. Вестник Красноярского ГАУ. 2012. № 5. С. 147–149.

(Voloshin E.I. [Peculiarities of the microelement background availability in the Krasnoyarsk region arable soils]. Bulletin of KrasGAU. 2012, 5: 147–149 [in Russ]).

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

([Temporary maximum allowable levels (MRLs) content of some chemical elements and gossypol in feed for farm animals and feed additives]. Moscow, 1987 [in Russ]).

Гурин А.Г., Лищуков С.Д., Акинчин А.В. Накопление и трансформация тяжелых металлов в агроэкосистемах ЦЧР. Орел: Изд-во ОрелГАУ, 2013. 211 с.

(Gurin A.G., Litsukov S.D., Akinchin A.V. [Accumulation and transformation of heavy metals in agricultural ecosystems of the Central Black Earth Region]. Orrel: OrrelGAU, 2013 [in Russ]).

Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеивание. М.: Мысль, 1983. 272 с.

(Dobrovolsky V.V. [Geography of trace elements. Global scattering]. Moscow: Mysl', 1983 [in Russ]).

Дорогова В.Б., Лисецкая Л.Г., Журба О.М. Атомно-абсорбционный анализ микроэлементов в биосредах и метрологические основы контроля работ: учебное пособие. Иркутск, 1992. 24 с.

(Dorogova V.B., Lisetskaya L.G., Zhurba O.M. [Atomic absorption analysis of trace elements in biological media and the metrological basis of the work control: a tutorial]. Irkutsk, 1992 [in Russ]).

Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 220 с.

(Il'in V.B. [Heavy metals in the system soil – plant]. Novosibirsk: SO RAN, 2012 [in Russ]).

Кондрахин И.П. Алиментарные и эндокринные болезни животных. М.: Агропромиздат, 1990. 256 с.

(Kondrakhin I.P. [Nutritional and endocrine diseases of animals]. Moscow: Agropromizdat, 1990 [in Russ]).

Лебедев Н.И. Использование микродобавок для повышения продуктивности жвачных животных. Л.: Агропромиздат, 1990. 96 с.

(Lebedev N.I. [The use of microadditives to increase productivity of ruminants]. Leningrad: Agropromizdat, 1990 [in Russ]).

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

([Methodical guidelines for determination of heavy metals in soils of agricultural lands and livestock products]. Moscow: CINAO, 1992 [in Russ]).

Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М., 2003. 227 с.

[Methodical guidelines for conducting integrated monitoring of soil fertility in agricultural lands]. Moscow, 2003 [in Russ]).

Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах: ГН 2.1.7.020–94 (дополнение к перечню ПДК и ОДК № 6229–91). М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1995. 8 с.

(Approximately permissible concentrations (APC) of heavy metals and arsenic in soils: GN 2.1.7.020–94 (addition to

the list of MPC and APC № 6229–91)]. Moscow: Goskomsanehpidnadzor, 1995 [in Russ]).

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

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

Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 277 с.

(Syso A.I. [Regularities in the distribution of chemical elements in soil-forming rocks and soils of Western Siberia]. Novosibirsk: SO RAN, 2007 [in Russ]).

ZINC IN THE SYSTEM «SOIL – PLANT – MAN» IN THE CONDITIONS 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 zinc in uncontaminated soils of Central Siberia was found to vary within 9.4–115.0 mg/kg. The average content of zinc on the studied area of 2,536 million hectares was 25.3 mg/kg. The highest concentration of zinc was detected in soils of subtaiga and Kansk forest-steppe zone, and the smallest one was in Minusinsk forest-steppe. Spatial distribution of zinc in different natural zones of the territory is connected with considerable diversity of soil cover, with differences in particle size and mineralogical distribution of soils and concentration of the element in soil-forming rocks. It was revealed that soils of the agricultural part of the region have low and average supply of mobile zinc. The largest areas of soils with deficiency of zinc were observed in the Achinsk-Bogotol, Minusinsk, Nazarovo and Chulym-Yenisei forest-steppe zones. Insufficient supply of zinc in the soils is connected with low mobility of this element. The mobile form of zinc in the majority of soils makes 0.8–5.5% of total content. It was shown that the increased humus cover of regional soils (the average content is 6.5%) and the near neutral pH (average 5.9) facilitates the reduction of bioavailability of this element for plants. In grain yield, forage and vegetable crops the deficiency of zinc was noted that leads to loss of vegetable production quality. Optimization of plants nutrition with macro- and trace elements is necessary for the improvement of production quality. Complex application of organic fertilizers and microfertilizers will promote the improvement of trace element composition of plants, increasing quality parameters of the production (starch, protein, sugar, vitamins, nutritional value of forages etc.) with saving their ecological safety.

KEYWORDS: zinc content, distribution, safety, deficiency, optimization, microfertilizers.