

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

МЕДЬ В АГРОЭКОСИСТЕМЕ ЮГА СРЕДНЕЙ СИБИРИ

А.Е. Побилат^{1*}, Е.И. Волошин²

¹Красноярский государственный медицинский университет

²Красноярский государственный аграрный университет

РЕЗЮМЕ. Исследованы особенности распределения валовой меди в почвах Красноярского края. На содержание валовой меди большое влияние оказывают минералогический и гранулометрический составы почв и концентрация элемента в почвообразующих породах. Содержание меди в разных типах почв обладает высокой природной вариабельностью, обусловленной микропестротой почвенного покрова, географическими и геохимическими условиями формирования региональных почв. Содержание валовой меди в почвах на площади 2,54 млн га равно в среднем 18,2 мг/кг и колеблется от 2,6 до 68,2 мг/кг. Среднее содержание меди в черноземах составляет 19,6 мг/кг, в выщелоченных почвах – 19,2, оподзоленных – 17,9, карбонатных – 15,1. Концентрация меди в серых лесных и дерново-подзолистых почвах колеблется от 15,0 до 16,0 мг/кг, в лугово-чернозёмных – от 19,5 до 20,1 мг/кг. В большинстве почв содержание меди ниже или равно кларку. Обеспеченность почв подвижной медью зависит от валового содержания, гумусированности, реакции среды, гранулометрического состава, уровня применения удобрений и видовых особенностей растений. В разных природных зонах концентрация подвижной меди в почвах колеблется от 5,2 до 9,6 мг/кг, или от 32,5 до 47,5% валовых запасов. В дерново-подзолистых и серых лесных почвах подтаежной зоны среднее содержание подвижной меди составляет 7,9 мг/кг, в черноземах и темно-серых лесных почвах лесостепной зоны – в пределах 6,7-7,6 мг/кг, в лугово-черноземных – 9,6 мг/кг. Содержание подвижной меди в почвах региона в основном высокое. Площадь почв с низким и средним содержанием подвижной меди на обследованной территории составляет 14,2%. Нейтральная и близкая к нейтральной реакция среды зональных почв уменьшает биодоступность меди для растений. На содержание меди в растениях влияют погодные условия, агрофизические и агрохимические свойства почв, обеспеченность их подвижной формой элемента и биологические особенности сельскохозяйственных культур. Среднее содержание меди в растениях колеблется от 2,2 до 9,2 мг/кг. Более высокое содержание меди наблюдается в зеленых частях клевера, костре и природном разнотравье. В урожае зерновых, кормовых и овощных культур отмечается дефицит меди. Для улучшения микроэлементного состава и повышения качества растительной продукции необходимо рациональное применение медных и органических удобрений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: медь, содержание, распределение, обеспеченность, дефицит, медные удобрения.

ВВЕДЕНИЕ

Медь является одним из важнейших элементов в жизнедеятельности растений. Она участвует в процессах окисления, входит в состав ферментов, усиливает интенсивность дыхательных процессов, придает хлорофиллу большую устойчивость, улучшает фотосинтетическую деятельность и водный баланс в растениях. Медь способствует восстановлению и фиксации азота, ее дефицит в растениях приводит к снижению их продуктивности. Под влиянием меди повышается устойчивость растений к высоким и низким температурам и уменьшается их поражаемость грибными и бактериальными заболеваниями. Недостаток меди вызывает у растений задержку роста и цветения, хлороз листьев, потерю

тургора и увядание. При дефиците меди задерживается образование углеводов и белков и происходит торможение роста растений. У зерновых культур при сильном недостатке меди наблюдается заболевание «болезнь обработки» или «белоколосица». От медного голодания страдают бобовые, овощные и плодовые культуры. Избыток меди в растениях может наблюдаться при интенсивном антропогенном загрязнении почв в зонах промышленных предприятий и использовании медьсодержащих фунгицидов в садовых агроценозах.

Основным источником поступления меди в растения является почва. Почвы характеризуются неодинаковым валовым содержанием меди. Медь является элементом биогенной аккумуля-

* Адрес для переписки:

Побилат Анна Евгеньевна

E-mail: pobilat_anna@mail.ru

ции. В региональных условиях на содержание меди в почвах оказывают влияние микропестрота почвенного покрова, географические и геохимические условия формирования почв (Сысо, 2007; Ильин, 2012).

У животных и человека дефицит меди (гипокупероз) приводит к анемии, снижению интенсивности роста, потере живой массы, возникновению ревматического артрита и эндемического зоба (Кондрахин, 1989; Сусликов, 2012). Основными причинами эндемических заболеваний являются низкое содержание меди в кормах и продуктах питания и неблагоприятное ее соотношение с элементами-антагонистами (кальций, цинк, свинец и др.), снижающими поступление микроэлемента в организм.

В условиях Красноярского края особенности содержания меди в системе «почва – растение» подробно не изучены. Недостаточная изученность этой проблемы в регионе не позволяет определить эколого-агрохимическую оценку поведения микроэлемента в природной среде и наметить пути улучшения качества растительной продукции.

Цель исследования – установить закономерности содержания меди в агроценозах земледельческой части Красноярского края.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Земледельческая часть Красноярского края подразделяется на Западно-Сибирскую равнину, Восточно-Сибирское плоскогорье, горы и межгорные котловины Южной Сибири. В их пределах сельскохозяйственное производство сосредоточено в Красноярской, Канской, Ачинско-Боготольской, Назаровской, Чулымо-Енисейской, Минусинской лесостепных и прилегающим к ним степной и подтаежной зонах. Среднегодовалая сумма осадков в подтаежной зоне составляет 400–520 мм, лесостепной 350–480 мм и

степной 250–320 мм при гидротермическом коэффициенте (ГТК), равном 0,8–1,5. В структуре почвенного покрова пашни преобладают черноземы, на долю которых приходится 61,8% обследованной площади, серые лесные почвы занимают 27,0%, дерново-подзолистые – 5,0%, лугово-черноземные и другие почвы – 6,0%.

Особенностью почвенного покрова региона является значительная комплексность, повышенная гумусированность, укороченность аккумулятивного горизонта и пониженная степень оподзоленности. Сложность рельефа и геологического строения, разнообразие природных условий в земледельческой части края оказали существенное влияние на валовое содержание, формы и степень подвижности микроэлементов в почвах. Отбор почвенных и растительных образцов, их анализ на содержание меди проводили рекомендованными методами (Методические указания..., 2003). Медь в почвах и растениях определяли атомно-абсорбционным методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На содержание валовой меди в почвах сельскохозяйственных угодий региона большое влияние оказывают неодинаковые условия их почвообразования, различия в гранулометрическом и минералогическом составе и концентрации элемента в почвообразующих породах. Содержание меди в пределах разных типов и подтипов почв обладает высокой природной вариабельностью, обусловленной микропестротой почвенного покрова, географическими и геохимическими условиями формирования почв (табл. 1). Минимальное и максимальное содержание меди в разных почвах различается в 26,2 раза. Более высоким валовым содержанием меди характеризуются почвы Назаровской, Канской и Ачинско-Боготольской лесостепных зон. Пониженное содержание меди наблюдается в почвах Минусин-

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

Природная зона	Обследованная площадь, тыс. га	Число образцов, шт.	Min–max	Среднее (n)	Отношение к кларку*
Подтаежная	104,3	875	6,9–25,3	17,5	0,9
Красноярская лесостепь	177,3	3069	6,3–29,0	16,2	0,8
Ачинско-Боготольская лесостепь	143,4	1440	2,6–30,9	19,6	1,0
Назаровская лесостепь	196,4	2431	4,6–30,4	20,4	1,0
Чулымо-Енисейская лесостепь	414,1	5946	5,9–68,2	18,6	0,9
Канская лесостепь	915,2	4323	4,5–32,9	20,2	1,0
Минусинская лесостепь	585,9	3088	7,6–32,7	14,8	0,7
Всего по краю	2536,6	21162	2,6–68,2	18,2	0,9

Примечание: * – кларк меди в почвах равен 20,0 мг/кг (Виноградов, 1957), ориентировочно допустимая концентрация (ОДК) составляет 66,0–32,0 мг/кг (1995).

ской лесостепной зоны, что связано с облегченностью их гранулометрического состава. Среднее содержание меди в черноземах обыкновенных составляет 19,6 мг/кг, выщелоченных – 19,2, оподзоленных – 17,9 и карбонатных – 15,1. Концентрация меди в серых лесных и дерново-подзолистых почвах ниже, чем в черноземах и колеблется в интервале 15,0–16,0 мг/кг. Такой характер распределения меди в этих почвах происходит за счет подзолообразовательного процесса, в результате которого гумусовый горизонт обедняется соединениями полуторных окислов. Среднее валовое содержание меди в лугово-черноземных почвах колеблется от 19,5 до 20,1 мг/кг.

В отличие от черноземов и серых лесных почв гумусовый горизонт в лугово-черноземных почвах характеризуется более высоким содержанием меди. Накопление меди в этих почвах происходит за счет ее биогенной аккумуляции. В большинстве региональных почв концентрация меди в верхнем горизонте ниже или равна кларку. Среднее содержание меди в почвах на площади 2,54 млн га равно 18,2 мг/кг. На обследованной площади не обнаружено загрязнение почв медью. В региональных почвах отмечается пониженное содержание меди в сравнении с аналогами из Центрально-Черноземной зоны России (Протасова, Беляев, 2000) и Западной Сибири (Ильин, Сысо, 2001).

Содержание подвижной формы меди в почвах находится в зависимости от агрохимических, агрофизических свойств и уровня применения минеральных и органических удобрений. В региональных условиях на концентрацию подвижной меди оказывает влияние реакция почвенной среды, валовое содержание, гумусированность, гранулометрический состав почв и биологические особенности сельскохозяйственных культур. В пределах разных природных зон края концентрация подвижной меди в почвах колеблется от 5,2 до 9,6 мг/кг, или 32,5–47,5% от валовых запасов. В дерново-подзолистых и серых лесных почвах подтаежной зоны среднее содержание подвижной меди равно 7,9 мг/кг, в черноземах и темно-серых лесных почвах лесостепной зоны – от 6,7 до 7,6 мг/кг и лугово-черноземных – 9,6 мг/кг. Обеспеченность пахотных почв подвижной медью в основном высокая (табл. 2). Пониженной концентрацией меди характеризуются почвы легкого гранулометрического состава. Наибольшее количество почв с низким и средним содержанием подвижной меди отмечается в Минусинской лесостепной зоне.

Медь относится к числу химических элементов, имеющих среднюю степень поглощения растениями. Разные виды растений характеризуются

избирательностью в накоплении меди, обусловленной их биологическими особенностями. Один и тот же вид растений в разных экологических условиях может накапливать неодинаковое количество меди. Нормальная концентрация меди в растениях находится на уровне 0,2–20,0 мг/кг (Минеев, 1990). В региональных условиях на содержание меди в растениях оказывают влияние погодные условия, свойства почв, обеспеченность подвижной формой элемента и выращиваемая культура.

Таблица 2. Обеспеченность пахотных почв Красноярского края подвижной медью

Природная зона	Площадь почв с низкой и средней обеспеченностью медью, % от обследованной площади
Подтаежная	1,1
Красноярская лесостепь	—*
Ачинско-Боготольская лесостепь	—*
Назаровская лесостепь	0,3
Чулым-Енисейская лесостепь	0,4
Канская лесостепь	0,3
Минусинская лесостепь	82,8
Среднее по краю:	14,1

Примечание: * – отсутствие почв с низкой и средней обеспеченностью.

Приведенные данные показывают, что содержание меди в растениях колеблется от 1,6 до 13,4 мг/кг (табл. 3). Более высокое содержание меди наблюдается в зеленой массе клевера, костреца и естественного разнотравья. Максимально допустимый уровень содержания меди в различных кормах растительного происхождения равен 30 мг/кг (Временный максимально допустимый уровень..., 1987). Сравнивая полученные данные с максимально допустимым уровнем и потребностью животных в меди необходимо отметить ее дефицит в урожае всех кормовых культур. Массовые анализы растений в земледельческой части края показывают, что зерновые, кормовые и овощные культуры характеризуются пониженным содержанием меди (Волков и др., 2007). Низкому содержанию меди в растениях способствует реакция почвенного раствора. В земледельческой части края 69,9% почв имеют нейтральную и близкую к нейтральной реакцию среды (Танделов, 2012), при которой биодоступность меди сельскохозяйственным культурам

Таблица 3. Содержание меди в сельскохозяйственных культурах (n= 56), мг/кг воздушно-сухой массы

Культура	Исследованная часть	Min–max	Среднее (n)
Пшеница	Зерно	2,0–4,9	3,4
Ячмень	Зерно	2,1–3,6	3,1
Овес	Зерно	2,0–2,8	2,5
Клевер	Зеленая масса	6,5–13,4	9,2
Кострец	Зеленая масса	1,9–6,3	3,9
Естественное разнотравье	Зеленая масса	3,5–4,6	3,9
Капуста	Кочан	1,6–2,9	2,2
Морковь	Корнеплод	3,1–4,4	3,5

П р и м е ч а н и е : среднее содержание меди в растениях равно 10,0 мг/кг (Добровольский, 1983); норма (среднее) содержания в кормовых культурах составляет 6,0–12,0 мг/кг (Лебедев, 1990).

уменьшается. Для улучшения микроэлементного статуса растений необходимо рациональное применение медных и органических удобрений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содержание валовой меди в почвах сельскохозяйственных угодий Красноярского края обладает высокой природной вариабельностью, обусловленной микростратией почвенного покрова, различиями в гранулометрическом, минералогическом составе, концентрации элемента в почвообразующих породах и колеблется от 2,6 до 68,2 мг/кг. В большинстве зональных почв концентрация меди в пахотном горизонте ниже или равна кларку. Среднее содержание меди на площади 2,54 млн га равно 18,2 мг/кг.

Обеспеченность почв сельскохозяйственных угодий подвижной медью в основном высокая. Площадь почв с низким и средним содержанием меди на обследованной территории составляет 14,1%. Нейтральная и близкая к нейтральной реакция почвенного раствора региональных почв уменьшает биодоступность меди растениям.

Концентрация меди в продуктивной части урожая полевых культур зависит от климатических условий, свойств почв, обеспеченности их подвижной формой элемента и биологических особенностей растений. Среднее содержание меди в урожае сельскохозяйственных культур колеблется от 2,2 до 9,2 мг/кг. Зерновые, кормовые и овощные культуры в земледельческой части края характеризуются пониженным содержанием меди. Для улучшения микроэлементного статуса и повышения качества растительной продукции необходимо рациональное применение медных и органических удобрений.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 214 с.

(Vinogradov A.P. Geokhimiya redkih i rasseyannykh himicheskikh ehlementov. M.: Izd-vo AN SSSR, 1957. 214 s. [In Russ.].)

Волков А.Д., Танделов Ю.П., Василенко А.А., Ерышева О.В., Фомченко Н.В. Химический состав и питательность кормов Красноярского края: учеб пособие. 2-е изд., пераб. и доп.; Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2007. 136 с.

(Volkov A.D., Tandelov Yu.P., Vasilenko A.A., Erysheva O.V., Fomcheko N.V. Himicheskij sostav i pitatel'nost' kormov Krasnoyarskogo kraja: ucheb posobie. 2-e izd., perab. i dop.; Krasnoyar. gos. agrar. un-t. Krasnoyarsk, 2007. 136 s. [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.

(Vremennyj maksimal'no dopustimyj uroven' (MDU) sodержaniya nekotorykh himicheskikh ehlementov i gossipola v kormah dlya sel'skohozyajstvennykh zhivotnykh i kormovykh dobavkah. M. 1987. 5 s. [In Russ.].)

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

(Dobrovolskij V.V. Geografija mikroehlementov. Global'noe rasseivanie. M.: Mysl', 1983. 272 s. [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.

(Il'in V.B., Syso A.I. Mikroehlementy i tyazhelye metally v pochvah i rasteniyah Novosibirskoj oblasti. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2001. 229 s. [In Russ.].)

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

(Il'in V.B. Tyazhelye metally v sisteme pochva – rastenie. Novosibirsk: Izd-vo AN SO RAN, 2012. 220 s. [In Russ.].)

Кондрахин И.П. Алиментарные и эндокринные болезни животных. М.: Агропромиздат, 1989. 256 с.

(Kondrahin I.P. Alimentarnye i ehndokrinnye bolezni zhivotnyh. M.: Agropromizdat, 1989. 256 s. [In Russ.].)

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

(Lebedev N.I. Ispol'zovanie mikrodobavok dlya povysheniya produktivnosti zhvachnyh zhivotnyh. L.: Agropromizdat, 1990. 96 s. [In Russ.].)

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

(Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo monitoringa plodorodiya pochv zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya. M. 2003. 227 s. [In Russ.].)

Минеев В.Г. Химизация земледелия и окружающая среда. М.: Агропромиздат, 1990. 287 с.

(Mineev V.G. Himizatsiya zemledeliya i okruzhayushchaya sreda. M.: Agropromizdat, 1990. 287 s. [In Russ.].)

Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах: ГН 2. 1. 7. 094 (дополнение № 1 к перечню ПДК и ОДК № 6229 – 91). М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1995. 8 с.

(Orientirovochno dopustimye koncentracii (ODK) tyazhelyh metallov i mysh'yaka v pochvah: GN 2. 1. 7. 094

(dopolnenie № 1 k perechnyu PDK i ODK № 6229 – 91). M.: Goskomsanehpidualzor Rossii, 1995. 8 s. [In Russ.].)

Протасова Н.А., Беляев А.Б. Макро- и микроэлементы в почвах Центрально-Черноземной зоны и почвенно-геохимическое районирование ее территории. Почвоведение, 2000. № 2. С. 204–211.

(Protasova N.A., Belyaev A.B. Makro- i mikroehlementy v pochvah Central'no-Chernozemnoj zony i pochvenno-geohimicheskoe rajonirovanie ee territorii. Pochvovedenie, 2000. № 2. S. 204–211. [In Russ.].)

Сусликов В.Л. Геохимическая экология болезней: В 4 т. Т.3: Атомовитозы. М.: Гелиос АРВ, 2002. 670 с.

(Suslikov V.L. Geohimicheskaya ehkologiya boleznej: V 4 t. T.3: Atomovitozy. M.: Gelios ARV, 2002. 670 s. [In Russ.].)

Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Рос. акад. наук, Сиб. Отд-ние, Ин-т почвоведения и агрохимии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 277 с.

(Syso A.I. Zakonomernosti raspredeleniya himicheskikh ehlementov v pochvoobrazuyushchih porodah i pochvah Zapadnoj Sibiri. Ros. akad. nauk, Sib. Otd-nie, In-t pochvovedeniya i agrohiiii. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2007. 277 s. [In Russ.].)

Танделов Ю.П. Плодородие почв и эффективность удобрений в Средней Сибири. Красноярск, 2012. 302 с.

(Tandelov Yu.P. Plodorodie pochv i ehffektivnost' udobrenij v Srednej Sibiri. Krasnoyarsk, 2012. 302 s. [In Russ.].)

COPPER IN THE AGROECOSYSTEM OF THE SOUTH OF CENTRAL SIBERIA

A.E. Pobilat¹, E.I. Voloshin²

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

² Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira Ave., 90, Krasnoyarsk 660049, Russia

ABSTRACT. The features of distribution of gross copper in the soils of Krasnoyarsk Region were investigated. Mineralogical composition and particle size distribution of soils as well as the concentration of the element in soil-forming rock have a great influence on the content of gross copper. The content of copper in different types of soils possesses high natural variability caused by the microdiversity of soil cover, geographical and geochemical conditions of regional soils formation. In the surveyed territory of 2.54 million hectares the content of copper in soils fluctuates from 2.6 to 68.2 mg/kg, with average content 18.2 mg/kg. Average content of copper in chernozyoms ordinary makes 19.6 mg/kg, leached – 19.2, podzolized – 17.9 and carbonate – 15.1. The concentration of copper in gray forest and sod-podsolic soils fluctuates from 15.0 to 16.0 mg/kg and meadow-chernozyom in the range of 19.5 – 20.1 mg/kg. In the majority of soils the content of copper is lower or equal to Clark. The supply of mobile copper in soils depends on the gross contents, humus condition, pH, particle size distribution, fertilizers usage and specific features of plants. Within different natural zones the concentration of mobile copper in soils fluctuates from 5.2 to 9.6 mg/kg or 32.5 – 47.5% of gross stocks. In sod-podsolic and gray forest soils of subtaiga zone average content of mobile copper is equal to 7.9 mg/kg, in chernozyoms and in dark-gray forest soils of forest-steppe zone within 6.7 – 7.6 mg/kg and meadow-chernozyom – 9.6 mg/kg. The content of mobile copper in soils of the region is generally high. The area of soils with low and average content of mobile copper in the surveyed territory makes 14.2%. Neutral and close to neutral pH of soils reduces bioavailability of copper to plants. Content of copper in plants is affected by weather conditions, agrophysical and agrochemical properties of the soils, supply of the mobile form of the element and biological features of the crops. Average content of copper in plants fluctuates from 2.2 to 9.2 mg/kg. Higher content of copper is observed in green material of clover, brome and natural motley grass. In grain yield, forage and vegetable crops the deficiency of copper is revealed. An improvement of trace element profile and quality of vegetable production requires rational use of copper and organic fertilizers.

KEYWORDS: copper, contents, distribution, supply, deficiency, copper fertilizers.