

## ПОГЛОЩЕНИЕ МЕДИ РАСТЕНИЯМИ ПШЕНИЦЫ В АГРОЦЕНОЗЕ ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ОМСКОГО ПРИИРТЫШЬЯ

*В. А. Волкова, Н. А. Воронкова*

*Омский аграрный научный центр, г. Омск, Россия*

*[volkovava1989@yandex.ru](mailto:volkovava1989@yandex.ru)*

**АННОТАЦИЯ.** В статье отражены результаты опыта с длительным внесением минеральных удобрений по изучению содержания меди в агроценозе яровой мягкой пшеницы: в лугово-черноземной почве, в зерне и соломе. Рассчитаны величины коэффициентов биологического поглощения (КБП) меди, оценена степень ее вовлечения в биогенную миграцию.

**Ключевые слова:** медь, удобрения, почва, зерно, пшеница.

**Актуальность.** Основным показателем в биогеохимических и агрохимических исследованиях, позволяющим выявить закономерности накопления и распределения, трансформации химических элементов, является их содержание в биологических объектах и окружающей среде. Зерно пшеницы содержит все необходимые вещества и элементы, необходимые для жизнедеятельности живых организмов – белки, аминокислоты, жиры, витамины, макро- и микроэлементы и в том числе, медь [1]. Медь участвует в целом ряде метаболических реакций, обеспечивающих жизнедеятельность растений, поэтому ее дефицит приводит к нарушению основных физиологических процессов и снижению продуктивности [2]. Нормальное содержание меди в растениях – 30–40 мг/кг воздушно-сухой массы, предположительно максимальное – 150 мг/кг, минимальное (по В. В. Ковальскому) – 3–5 мг/кг [3,4]. По обобщенным данным исследователей, зерновые культуры содержат меди от 1 до 18 мг/кг сухого вещества [4]. По сведениям Б. А. Ягодина [5] средняя концентрация меди в зерне пшеницы составляет 4,99 мг/кг, что близко к обобщенным данным разных авторов (4,7–5,3 мг/кг), представленных в [3]. В связи с физиологической значимостью микроэлемента, избирательностью поглощения из почвы, а также различных других абиотических и биотических факторов, содержание меди в растениях может существенно различаться. Доказано, что минеральные удобрения – существенный фактор, влияющий на микроэлементный состав получаемой растениеводче-

ской продукции [6–8]. Учитывая важнейшую роль меди в питании зерновых культур, целью исследования являлось изучение закономерностей поглощения меди растениями пшеницы в агроценозе южной лесостепи.

**Условия, объекты и методы исследования.** Исследования проводили в южной лесостепной зоне в длительном стационарном полевом опыте лаборатории агрохимии ФГБНУ «Омский АНЦ» на основе зернопарового севооборота (чистый пар – яровая пшеница – соя – яровая пшеница – ячмень), развернутого во времени и пространстве. Объектами исследования являлись растения яровой мягкой пшеницы (сорт Омская 36), а также пробы почвы, отобранные перед посевом пшеницы по пару. Почва в опыте – лугово-черноземная среднесуглинистая (содержание гумуса 6,6% (по Тюрину) в пахотном слое). Содержание в почве подвижного фосфора и обменного калия (по Чирикову) – 105–128 и 350–420 мг/кг, соответственно, рНводн – 6,7–6,8. Для решения поставленной цели были проанализированы почвенные пробы (слой 0–20 см), отобранные в двух вариантах: 1. Контроль (без удобрений); 2. Удобренный фон (внесение фосфорсодержащего минерального удобрения в дозе Р90 д.в. в паровое поле с 1987 года). Содержание меди в почвах установлено атомно-абсорбционным методом. Определяли массовую долю кислоторастворимой меди, близкую к валовому содержанию, экстрагированием 5М HNO<sub>3</sub> в течение 3 ч при температуре 100 °С и концентрацию ее подвижных форм в 1н ацетатно-аммонийном буферном растворе

при рН = 4,8 (по Крупскому, Александровой). Отбор растительного материала проводили во время уборки пшеницы. Содержание микроэлемента в соломе и зерне культуры определяли после сухого озоления проб методом атомно-абсорбционной спектроскопии, выражено в мг/кг воздушно-сухой массы. Зольность зерна не различалась по вариантам опыта и составила 1,92%.

**Обсуждение результатов.** Содержание меди в почвах может варьировать в широких пределах в зависимости от их генезиса, процессов почвообразования, состава и свойств. В нашем опыте с длительным внесением минеральных удобрений содержание кислотрастворимой меди в почве составило 14,1–17,8 мг/кг в удобренном варианте и 17,6–20,5 мг/кг на естественном фоне, что позволило отнести агропочву к среднеобеспеченной по этому элементу (табл. 1) [8].

Независимо от варианта содержание доступной меди для растений почве при этом характеризовалось как низкое – 0,09–0,11 мг/кг. Установлена средняя сопряженность между содержанием подвижных и кислотрастворимых форм меди ( $r = 0,43$ ), подтверждающая общие закономерности ее распределения в лугово-черноземных почвах, указанные в литературных источниках [7,9]. При этом содержание доступной меди составило всего лишь 0,41–0,70% от ее общего фонда, что соответствовало очень низкой обеспеченности почвы этим элементом. Яровая мягкая пшеница отзывчива на содержание меди в почве [10, 11], и поэтому приме-

нение медьсодержащих микроудобрений будет эффективным приемом в растениеводстве.

Результаты полевого опыта показали, что оптимизация минерального питания оказала влияние на химический состав растениеводческой продукции: на удобренном фоне отмечается тенденция снижения содержания меди в зерне в среднем на 22%, в соломе – на 24%, что вполне закономерно, так как с ростом урожайности концентрация микроэлементов снижалась за счет распространенного в растениеводстве «эффекта ростового разбавления» (табл. 2).

Для характеристики биогеохимических циклов элементов и степени их вовлечения в биологический круговорот в теорию и практику почвенно-геохимических исследований были рассчитаны коэффициенты биологического поглощения (КБП) в агроценозе. Величина КБП меди растениями пшеницы рассчитывалась как отношение содержания элемента в золе зерна к содержанию кислотрастворимых форм ( $5 \text{ M HNO}_3$ ) его в почве. Величина КБП является количественной характеристикой перехода элемента из почв в растения и в системе мониторинга может быть одним из показателей, отражающих региональную специфику почвенно-геохимических условий миграции химических элементов. В варианте без применения удобрений КБП меди варьировал и составил 4,2, на удобренном фоне – 3,8, что в соответствии с градицией позволяет отнести медь в агроценозе культуры к элементам сильного биологического поглощения. Полученные

Таблица 1. Содержание меди в почве (в слое 0–20 см), 2017–2019 гг.

Вариант	Медь, мг/кг		Доля подвижной меди, %
	5M HNO <sub>3</sub>	1н ААБ, рН =4,8	
Без удобрений	18,9	0,11	0,6
P90	16,3	0,09	0,6

Таблица 2. Содержание меди в растениях пшеницы, мг/кг воздушно-сухой массы

Вариант	Зерно	Солома	Отношение Cu в зерне к соломе
Контроль (без удобрений)	4,12±0,77	2,05±0,26	2,0
Удобренный вариант (P90)	3,21±0,89	1,55±0,37	2,1
HCP <sub>05</sub>	Fф<Fт	0,29	–

нами значения КБП меди в опыте свидетельствуют о том, что при выращивании яровой пшеницы на лугово-черноземной почве лесостепной зоны Омского Прииртышья медь интенсивно вовлекается в биохимический круговорот агроценоза, и ее недостаток может стать фактором, лимитирующим урожайность.

**Выводы.** Таким образом, лугово-черноземные почвы лесостепной зоны в целом имеют высокие запасы кислоторастворимой

меди при низком содержании ее доступных соединений. Систематическое применение минеральных удобрений на лугово-черноземных почвах способствовало снижению содержания меди в почве и растениеводческой продукции. Установлено, что медь интенсивно вовлекается в биохимический круговорот агроценоза, и ее недостаток может стать фактором, лимитирующим урожайность культур.

## COPPER UPTAKE BY WHEAT PLANTS IN THE AGROCENOSIS OF THE SOUTHERN FOREST STEPPE OF THE OMSK IRTYSH REGION

*V. A. Volkova, N. A. Voronkova*

*Omsk Agricultural Scientific Center, Omsk, Russia*

*[volkovava1989@yandex.ru](mailto:volkovava1989@yandex.ru)*

**ABSTRACT.** The article reflects the results of an experiment with long-term application of mineral fertilizers to study the copper content in the agrocenosis of spring soft wheat: in meadow-chernozem soil, in grain and straw. The values of the coefficients of biological absorption (CBA) of copper are calculated, the degree of its involvement in biogenic migration is estimated.

**Keywords:** *copper, fertilizers, soil, wheat*

### Литература

- 1 Елькина Г. Я. Содержание аминокислот в растениях при разных уровнях содержания меди в почве // *Агрохимия*. 2018. № 12. С. 88–96.
- 2 Казнина Н. М., Игнатенко А. А., Батова Ю. В. Содержание меди в корнях и побегах культурных злаков при разных способах обработки салициловой кислотой // *Труды Карельского научного центра РАН*. 2022. № 7. С. 92–99.
- 3 Кашин В. К., Убугунов Л. Л. Особенности накопления микроэлементов в зерне пшеницы в Западном Забайкалье // *Агрохимия*. 2012. № 4. С. 68–76.
- 4 Ковальский В. В. Методы определения микроэлементов в органах и тканях животных, растениях и почвах. М.: Колос, 1969. 272 с.
- 5 Ягодин, Б. А. Микроэлементы в СССР. Рига: Зинатне, 1989. 96 с.
- 6 Волкова В. А., Воронкова Н. А. Содержание меди в растениях яровой мягкой пшеницы в зависимости от применения макро- и микроудобрений // В сборнике: *Безопасность городской среды*. Материалы IX Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией Е. Ю. Тюменцевой. Омск, 2022. С. 87–90.
- 7 Азаренко Ю. А., Волкова В. А., Воронкова Н. А. Влияние экологических факторов на содержание меди в почве и яровой мягкой пшенице в условиях Омского Прииртышья // *Пермский аграрный вестник*. 2022. № 2 (38). С. 42–48.
- 8 Сысо А. И. Российские нормативы оценки качества почв и кормов: проблемы их использования // *Экологический мониторинг окружающей среды: материалы междунар. шк. молодых ученых*. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос». 2016. Вып. 1. С. 153–168.
- 9 Азаренко Ю. А. Закономерности содержания, распределения, взаимосвязей микроэлементов в системе почва-растение в условиях юга Западной Сибири: монография. Омск: Вариант-Омск. 2013. 232 с.
- 10 Волкова В. А. К вопросу о применении соединений меди в технологии возделывания яровой мягкой пшеницы // *Агрохимический вестник*. 2020. № 2. С. 68–72.
- 11 Орлова Э. Д., Пыхтарева Е. Г. Микроэлементы в почвах и растениях Омской области и применение микроудобрений: учеб. пособие. Изд. 2-е, перераб. и доп. Омск: изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2007. 76 с.