

УДК 631.416.9:631.95

DOI 10.18286/1816-4501-2021-2-62-70

ЦИНК В СИСТЕМЕ «ПОЧВА-РАСТЕНИЕ» ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Волкова Виктория Андреевна¹, младший научный сотрудник лаборатории агрохимии
Воронкова Наталья Артёмовна^{1,2}, доктор сельскохозяйственных наук, ¹ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии, ²профессор кафедры химии и химической технологии;
¹ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», 644012, г. Омск, проспект Королёва, 26;
²ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», 644050, проспект Мира, 11.
тел. 89045880709, e-mail: volkovaVA1989@yandex.ru

Ключевые слова: минеральные удобрения, вынос, лугово-черноземная почва, цинк, яровая пшеница.

В условиях длительного стационарного опыта на лугово-черноземной почве в южной лесостепи Омской области Западной Сибири установлено, что систематическое внесение минеральных удобрений (в течение шести ротаций пятипольного зернопарового севооборота) не привело к накоплению цинка выше ОДК в соответствии с Гигиеническими нормативами ГН 2.1.7.2511-09. Доказано, что количество валового цинка (экстракция 5М HNO₃) за годы исследования снизилось в сравнении с первоначальным значением на 15% на естественном фоне и на 25% - на удобренном фоне за счет большего выноса его растениями и миграции вниз по профилю. Систематическое внесение минеральных удобрений в среднем за три года (2017-2019 гг.) повышало на 16% ежегодный вынос цинка растениями пшеницы. Содержание подвижной формы цинка в почве (экстракция ААБ, рН=4,8) оценивается как среднее (2,1-2,2 мг/кг). Выявлена зависимость подвижных форм цинка от кислоторастворимых, которая описывается уравнением $y=0,072x-0,643$. Содержание цинка в растениях яровой пшеницы в зависимости от фона удобренности варьировало от 5,8 до 7,6 в соломе и от 30,8 до 34,3 мг/кг в зерне. Коэффициент биологического поглощения составлял 13,1-12,8; коэффициент биологического накопления - 14,9-15,9, что свидетельствует о том, что цинк при выращивании яровой пшеницы наиболее интенсивно вовлекается в биохимический круговорот агроценоза, и его дефицит становится фактором, лимитирующим урожайность культуры.

Введение

Система «почва-растение» является стартовым звеном пищевой цепочки, в котором формируется поток минеральных компонентов, поглощаемый животными и человеком. На протяжении не одного десятилетия внимание ученых привлекает вопрос влияния удобрений на содержание и трансформацию элементов в почве. Оптимизация питания растений, повы-

шение эффективности внесения удобрений в огромной степени связаны с обеспечением оптимального соотношения в почве макро- и микроэлементов. Достоверная информация о распределении минеральных элементов в почвах является основой для построения рациональных, экологически безопасных систем удобрений сельскохозяйственных культур в современном земледелии. В связи с этим, установление

закономерностей влияния длительного применения минеральных удобрений на фонд микроэлементов в почве необходимо для прогностической информации обеспеченности растений микроэлементами, экологического мониторинга и биогеохимического районирования окружающей среды. Содержание микроэлементов в почве является важным экологическим фактором, определяющим продуктивность и качество сельскохозяйственных культур в агроценозах [1, 2].

Цинк – один из биофильных микроэлементов, широко распространенных в природе. Среднее содержание цинка в земной коре (кларк) – $8,3 \pm 10^{-3} \%$ [3]. Он обладает двойственной характеристикой: с одной стороны – это тяжёлый металл, с другой – микроэлемент, который в небольших количествах необходим для оптимального роста и развития растений. Цинк входит в состав металл-ферментов, активирующих биохимические реакции метаболизма растений (карбоангидраза, дегидрогеназа и др), способствует повышению интенсивности фотосинтеза, влияет на синтез и гидролиз углеводов. При избытке его в почве ослабляется рост растений, проявляется хлороз [4].

В почвах различают водорастворимые, обменные, легкорастворимые (непрочносвязанные), кислоторастворимые, фиксированные и прочно фиксированные формы цинка. Водорастворимые, обменные, легкорастворимые (непрочносвязанные) формы цинка в почве наиболее подвижны и принимают непосредственное участие в питании растений. Прочносвязанные соединения микроэлемента в почвах представлены химическими соединениями в составе первичных и вторичных минералов силикатной и несилкатной природы, труднорастворимыми солями, органическими и органоминеральными веществами. На их долю приходится основная часть общего содержания микроэлемента в почвах (до 90 % и более) [5].

В настоящее время для определения общего количества кислоторастворимых форм микроэлементов-металлов используют реагент $5M HNO_3$. По данным Ю.А. Азаренко [5], воздействие на почвы $5M HNO_3$ при температуре $100^\circ C$ позволяет извлечь из нее 90% цинка от валового его количества, прочно связанного с минеральными и органическими компонентами и составляющего общий резерв его в почве. В целях агрохимической оценки количество микроэлементов, извлекаемое $5M HNO_3$, принято для характеристики общего резерва элемента в по-

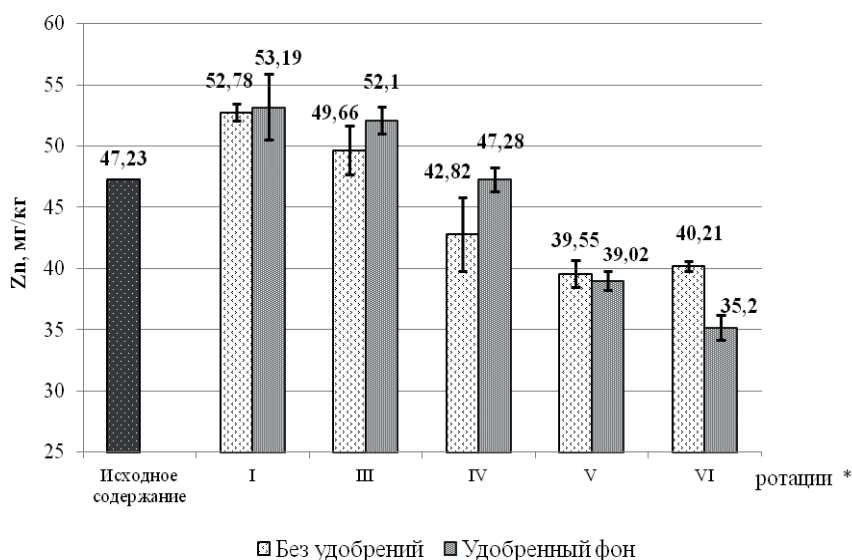
чве. Значительное количество подвижных форм микроэлементов – водорастворимых и обменных – в почве разного генезиса извлекается ацетатно-аммонийным буфером (ААБ), $pH=4,8$.

Большинство почв пашни Западной Сибири характеризуется низким содержанием доступного для растений цинка (97,3%) [6], в то время, как и 98,8% пахотных почв Омской области имеют низкое содержание этого элемента [7]. Аналогичные результаты ранее были представлены Г.П. Гамзиковым [8], указывающим на низкое содержание подвижного цинка в $1n KCl$ (0,10-0,40 мг/кг) и незначительной подвижности (0,2-0,3% от валового содержания) его во всех типах почв Омской области.

Важная роль цинка в вегетации растений и тесная корреляция его содержания в почве с продуктивностью сельскохозяйственных культур подтверждена в исследованиях авторов [9-11]. Однако, тема аккумуляции и трансформации соединений цинка при длительном и систематическом применении удобрений в агроценозе во взаимосвязи с продуктивностью сельскохозяйственных культур остаётся актуальной.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в 2017-2019 гг. на опытном поле лаборатории агрохимии ФГБНУ «Омский АНЦ» в длительном стационарном опыте, заложенном в 1987 г. в южной лесостепи Западной Сибири на основе зернопарового севооборота (чистый пар – яровая пшеница – соя – яровая пшеница – ячмень). Севооборот развернут во времени и пространстве, опыт заложен по общепринятой методике для полевых исследований методом расщепленных делянок. Площадь делянок первого уровня – $640 m^2$, второго уровня – $320 m^2$, третьего уровня – $160 m^2$. Повторность четырехкратная, размещение вариантов – систематическое. Дозы минеральных удобрений рассчитаны балансовым методом по методике Ю.П. Жукова (1977). В данном эксперименте предполагалось изучение изменения содержания цинка в системе «почва-растение» в двух вариантах удобрения – без применения минеральных удобрений и применение дозы минеральных удобрений, рассчитанной на положительный баланс фосфора сверх выноса сельскохозяйственными растениями (внешение дозы аммофоса в паровое поле в дозе, рассчитанной по фосфору P_{90} кг д.в. на гектар). Объекты исследования – яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum*) сорт Омская 36, лугово-черноземная почва. Норма высева – 4,5 млн всхожих семян на гектар, агротехника в опыте –



*- почвенные образцы, отобранные за 2-ю ротацию отсутствуют

Рис. 1 – Динамика содержания кислоторастворимых форм цинка в почве (слой 0-20 см) в зависимости от применения минеральных удобрений, 1987-2016 гг., НСР₀₅ = 3,35.

общепринятая для зоны. Урожайность культуры в опыте, а также содержание цинка в зерне и соломе яровой пшеницы в зависимости от применения минеральных удобрений учитывалась за 2017-2019 гг. Почва опытного участка – лугово-черноземная среднесиловатая тяжелосуглинистая с содержанием гумуса в слое 0...20 см 6,4...6,6 % (по Тюрину), $pH_{\text{водн}}$ – 6,4...6,7 (ГОСТ 26483-85). Содержание в почве подвижного фосфора и обменного калия (по Чирикову) соответствует средней обеспеченности в варианте без применения минеральных удобрений (95-105 мг/кг), повышенной и высокой (128-187 мг/кг) – в варианте с внесением P_{90} . Содержание обменного калия независимо от варианта было очень высоким (350-420 мг/кг). Определено исходное содержание кислоторастворимого цинка (в архивных почвенных пробах 1987 г.) – 47,2 мг/кг.

Для решения поставленной цели была проведена оценка содержания кислоторастворимых форм цинка в архивных почвенных пробах из слоя 0-20 см, отобранных перед посевом яровой пшеницы по пару за шесть ротаций севооборота (период 1987-2016 года): в варианте без удобрений и в варианте длительного ежегодного внесения P_{90} д.в. Экстракция проводилась раствором 5М HNO_3 при температуре 100°C в течение трех часов с последующим определением элемента атомно-абсорбционным анализом по РД 52.18.191-89. Тем же методом было определено содержание кислоторастворимого цинка послойно от 0 до 100 см в почвенных образцах 2017-2019 гг. Извлечение подвижных форм из

почвы проводили в соответствии с РД 52.18.191-90 раствором ААБ с рН 4,8 в свежеотобранных почвенных пробах 2017-2019 гг. на поле яровой мягкой пшеницы при соотношении почва:раствор 1:10. Конечное определение элемента осуществляли на атомно-абсорбционном спектрометре Varian AA140. Растительные образцы были отобраны в фазу полной спелости зерна яровой пшеницы. Зольность растений определялась озолением в муфельной печи СНОЛ 6/11 в фарфоровых тиглях при температуре 550-650°C, с последующим взвешиванием на весах ВЛТЭ 150. Содержание цинка в зерне и соломе пшеницы определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии в соответствии с ГОСТ 30692-2000 после сухого озоления размолотого растительного материала при температуре 550°C с последующей кислотной экстракцией.

Для оценки степени биофильности цинка в опыте нами были рассчитаны значения следующих коэффициентов [3, 12]:

- биологического накопления КБН = $S_{\text{зерно}}/S_{\text{подв}}$, где $S_{\text{подв}}$ – содержание подвижного цинка в почве, $S_{\text{зерно}}$ – содержание цинка в зерне пшеницы;

- биологического поглощения КБП = $S_{\text{зерно}}/S_{\text{зал}}$, где $S_{\text{зал}}$ – содержание кислоторастворимых форм цинка в почве, $S_{\text{зерно}}$ – содержание цинка в золе (после озоления зерна пшеницы).

При статистической обработке данных использовали расчеты доверительного интервала для средней величины ($\bar{x} \pm t_{05} S_x$) и коэффици-

ента вариации (V,%) [14].

Результаты исследований

Изменение содержания цинка в почве в зависимости от абиотических и биотических факторов, а также агротехнических приемов отмечалось многими авторами [5,6,14]. Проводимые в этом направлении исследования свидетельствуют о том, что систематическое длительное применение минеральных и органических удобрений, а также известки могут приводить как к недостатку микроэлементов, так и к избыточному их накоплению в почвах [14-16]. В нашем исследовании приходной статьей поступления цинка в агроэкосистему являлось внесение минеральных удобрений (аммофоса), содержащих цинк в виде естественных примесей. В одном килограмме действующего вещества аммофоса (P-52%), по данным исследователей [16], содержится около 27,9 мг цинка. Соответственно, в нашем эксперименте при дозе ежегодного внесения удобрений в дозе P_{90} д.в./га за 30 лет было внесено примерно 75,3 г цинка. Изучение изменения содержания кислоторастворимых форм цинка в лугово-черноземной почве в динамике показало, что их количество в течение тридцати лет варьировало от 35,2 до 53,2 мг/кг (рис.1).

Статистическая обработка результатов исследования методом вариационного ряда показала, что за тридцать лет землепользования наблюдалась средняя вариабельность признака (13%). После трех ротаций севооборота отмечалась тенденция повышения валового содержания цинка в почве до 52,78 -53,2 мг/кг, а к шестой ротации его количество снижалось на 15% в варианте без применения удобрений и на 25% – в варианте длительного внесения минеральных удобрений. Следует отметить, что к шестой ротации севооборота на фоне систематического внесения удобрений аккумуляции цинка не наблюдалось, валовое содержание его в пахотном слое почвы даже снизилось до 35,2 мг/кг почвы.

Отсутствие накопительного эффекта этого элемента в почве объясняется, прежде всего, небольшой дозой внесения цинка в виде балласта с минеральными удобрениями, выносом его растениями и возможной его миграцией вниз по профилю. Кроме того, о загрязнении почвы цинком не может быть и речи, так как ОДК (ориентировочно допустимая концентрация в соответствии с ГН 2.1.7.2511-09) для содержания валовых форм цинка в почве составляет 220,0 мг/кг, что значительно превышает полученные результаты в опыте.

Анализ содержания кислоторастворимого цинка в почве по вариантам опыта в динамике показал, что в первое десятилетие возделывания культур в севообороте в обоих вариантах (без применения удобрений и внесение P_{90}) наблюдалась тенденция увеличения его количества на 5-13%. Мобилизация цинка была обусловлена введением почвы в активное землепользование: это в первую очередь, ежегодные механические обработки, в результате которых идет разрушение кристаллической решетки почвенных минералов и дополнительное высвобождение катионов цинка в почвенный раствор. А также это является следствием повышения биологической активности почвы за счёт увеличения аэрации верхнего почвенного горизонта, возделывания сельскохозяйственных культур, отличающихся разной активностью корневой экссудации, что в совокупности и объясняет повышение содержания кислоторастворимых форм в пахотном слое почвы. После четвертой ротации севооборота наблюдается устойчивое снижение кислоторастворимых форм цинка в обоих вариантах. Запасы их снизились в сравнении с исходным количеством на 20,11 – 25,10 кг/гектар. Прежде всего, это произошло за счет биологического выноса: согласно нашим исследованиям в варианте внесения P_{90} ежегодный вынос цинка растениями пшеницы составил

Таблица

Вынос цинка яровой пшеницей в зависимости от внесения удобрений, 2017-2019 гг.

Вариант	Урожайность, т/га	Содержание цинка, мг/кг		Вынос цинка, г/га		Общий ежегодный вынос, г/га	Расход, г/т зерна
		зерно	солома	зерно	солома		
Контроль	2,45	34,3	5,8	84,0	18,5	102,5	41,8
P_{90}	2,87	30,8	7,6	88,4	30,5	118,9	41,4
$НРС_{05}$	0,30	$F_{\phi} \leq F_T$		5,17	10,21	6,88	$F_{\phi} \leq F_T$

Примечание: соотношение солома:зерно= 1,3 – на контроле, 1,4 – при внесении P_{90}

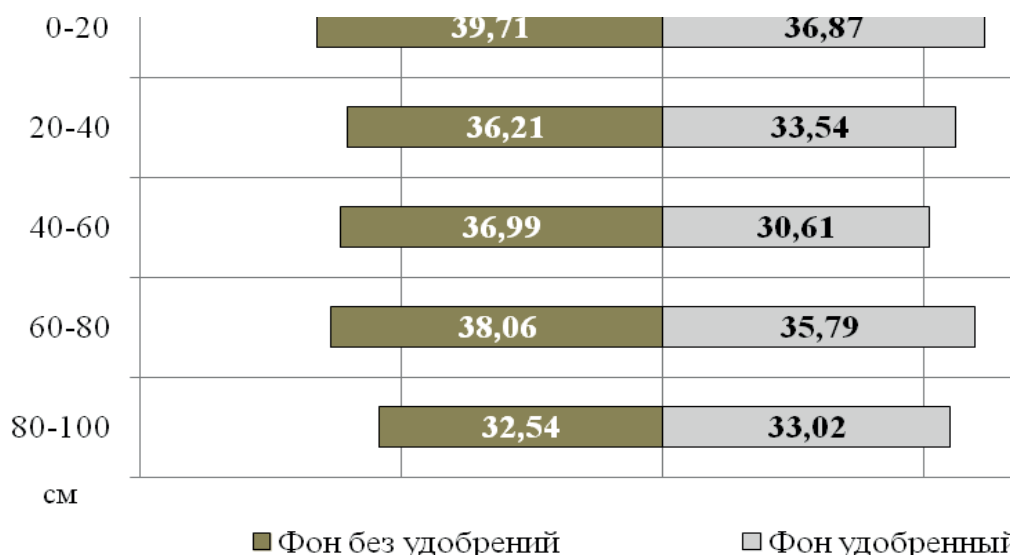


Рис. 2 – Содержание кислоторастворимого цинка в лугово-черноземной почве в слое 0-100 см (до посева пшеницы по пару) в зависимости от внесения удобрений, мг/кг, 2017-2019 гг., n=12, $F_{\phi} \leq F_{\tau}$

118,9 г/га, а в варианте без удобрений – 102,5 г/га (таблица).

Ранее нами было высказано предположение, что цинк, поступающий в почву вместе с макроудобрением, может мигрировать за пределы биологически активного слоя почвы. Это подтверждается исследованием образцов, взятых из слоев от 0 до 100 см почвенного профиля изучаемой лугово-черноземной почвы, отображенным на рисунке 2.

Вниз по профилю в нижнем слое иллювиального горизонта почвы (60-80 см) отмечается тенденция увеличения количества кислоторастворимого цинка в сравнении с подпахотным и низлежащим слоями. Это также может быть и с различием гранулометрического состава по горизонтам почвы [5].

Для оценки доступного для растений фонда элементов наряду с содержанием кислоторастворимой формы необходимо знать содержание и подвижной формы, которое является результатом совокупного взаимодействия многих почвенных факторов. В нашем исследовании в соответствии с градацией обеспеченности И.Г. Важенина [17] содержание подвижных форм цинка в корнеобитаемом слое за 2017-2019 гг было средним – 2,1-2,2 мг/кг, что на порядок меньше ПДК (предельно допустимой концентрации – в соответствии с ГН 2.1.7.2041-06) подвижного цинка в почве (23,0 мг/кг). Значит, накопления цинка в почве вследствие длительного внесения минеральных удобрений не происходит.

Анализ почвы по содержанию подвижных форм цинка показал, что их количество в течение

трех лет было стабильным. Это свидетельствует о том, что между фракциями кислоторастворимой и подвижной форм существует определенное динамическое равновесие, обеспечивающее растения цинком в течение вегетации. Зависимость содержания подвижных форм (У, мг/кг) от кислоторастворимых форм (Х, мг/кг) элемента в пахотном слое почвы описывается линейным уравнением со средней степенью связи (рис. 3). При этом значение $t_{\text{факт}} \geq t_{\text{теор}}$, что доказывает существенность данной связи [13].

Нами установлено, что в изучаемой лугово-черноземной почве содержание подвижных форм цинка составляет всего лишь 4-7% от общего фонда соединений в пахотном слое. Это, прежде всего, является геохимической особенностью региона [5,7]. Однако имеется достаточно много факторов, снижающих доступность данного элемента для растений. В исследованиях Кукушкина В.К. доказано, что повышенное содержание фосфора в почве ведет к трансформации форм цинка, которая проявляется на начальных этапах взаимодействия в увеличении содержания подвижного цинка, а в последующем происходит постепенный переход части цинка в более стабильные формы [18]. В исследованиях Дильмухаметова И.К. и др. [15] доказана тесная зависимость гидролитической кислотности черноземной почвы и содержания подвижного цинка ($r = 0,74$). На подвижность цинка большое влияние оказывает и природа органического вещества. По данным ряда авторов высокое содержание гумуса в верхних горизонтах является важным фактором увеличения доступности Zn растениям [15]. С другой

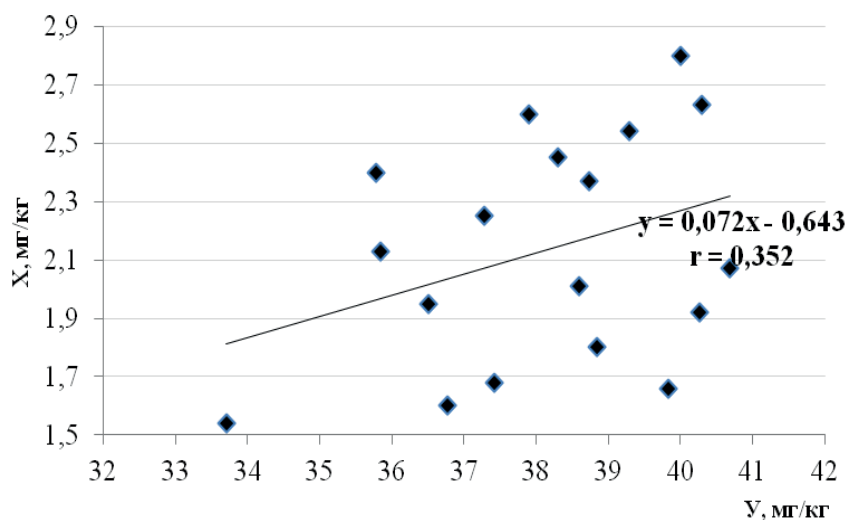


Рис. 3 – Зависимость содержания подвижных форм (Y, мг/кг) от кислоторастворимых форм (X, мг/кг) микроэлементов в лугово-черноземной почве при длительном внесении минеральных удобрений, 2017-2019 гг., n=12

стороны, по некоторым наблюдениям, гумус и внесенные в почвы органические удобрения снижают накопление цинка в тканях растений. Исследования Н.П. Ермоленко [5] подтверждают, что гуминовые и фульвокислоты поглощают цинк, в результате чего понижается его подвижность. Проведенные ранее исследования Н.Ф. Балабановой и Н.А. Воронковой [19] в этом же агроценозе показывают, что в удобренных вариантах содержание легкоразлагаемого органического вещества увеличивалось. Изученные нами запасы доступного для растений цинка после длительного возделывания культур были на одном уровне независимо от фона удобренности, что косвенно подтверждает отсутствие зависимости между содержанием подвижного цинка и органического вещества в почве. Данный вывод подтверждается в исследованиях Г.П. Гамзикова, который установил слабую корреляционную зависимость содержания цинка от количества гумуса в почвах ($r=0,207$) [8].

Для анализа биогенности цинка и интенсивности вовлечения его из почвы в биологический круговорот агроценоза нами были рассчитаны коэффициенты биологического поглощения (КБП) и накопления (КБН). Зольность зерна яровой пшеницы не различалась по вариантам удобренности и составила 1,44%. КБП [3, 12] показывает направленность перераспределения элемента и его обмен между почвенным и растительным компонентом агроценоза; при КБП ≥ 10 – элементы энергично накапливаются; в интервале от 1 до 9 – элементы сильного биологического накопления; если КБП менее 1 – элементы биологического захвата. При этом при

КБП 0,1-0,99 – элементы слабого накопления и среднего захвата и $< 0,1$ – элементы слабого и очень слабого захвата. Исследования авторов [4, 5, 6, 9, 12] подтверждают различную активность накопления цинка не только в пределах вида растения, но и в зависимости от целого ряда факторов. В соответствии с данной градацией, рассчитанный нами КБП =13,1 при длительном внесении удобрений и 12,8 на контроле (при $t_{\text{факт}} < t_{\text{теор}}$), что позволяет сделать вывод, что цинк является элементом энергичного накопления независимо от внесения удобрений.

В опыте КБН цинка варьировал незначительно ($t_{\text{факт}} < t_{\text{теор}}$): от 15,9 в варианте без удобрений до 14,9 – при внесении удобрений. В соответствии с градацией А.Л. Ковалевского [12] при КБН 30-300 идет весьма интенсивное поглощение, 3-30 – интенсивное; 0,3-3,0 среднее; 0,03-0,3 слабое и менее 0,03 – весьма слабое поглощение. Полученные нами значения КБН цинка в опыте свидетельствуют о том, что при выращивании яровой пшеницы на лугово-черноземной почве лесостепной зоны Западной Сибири цинк наиболее интенсивно вовлекается в биохимический круговорот агроценоза, и его недостаток может стать фактором, лимитирующим урожайность.

Обсуждение

В результате исследований установлено, что систематическое внесение минеральных удобрений (30 лет) не привело к накоплению цинка выше ОДК. Количество валового цинка снизилось на 15% на естественном фоне и на 25% на удобренном фоне за счет большего выноса его растениями и миграции вниз по про-

филю. Содержание подвижной формы цинка в почве оценивалось как среднее и зависело от содержания валового цинка. Систематическое внесение минеральных удобрений повышало на 16% ежегодный вынос элемента растениями пшеницы. Содержание цинка в растениях яровой пшеницы в зависимости от фона удобренности варьировало от 5,8 до 7,6 в соломе и от 30,8 до 34,3 мг/кг в зерне. Коэффициент биологического поглощения составлял 13,1-12,8; коэффициент биологического накопления - 14,9-15,9, что свидетельствует о том, что цинк при выращивании яровой пшеницы наиболее интенсивно вовлекается в биохимический круговорот агроценоза, и его дефицит становится фактором, лимитирующим урожайность культуры.

Заключение

1. В длительном стационарном опыте с систематическим применением минеральных удобрений в зернопаровом севообороте (чистый пар–яровая пшеница–соя–яровая пшеница–ячмень) установлено, что аккумуляции кислоторастворимого цинка в пахотном слое почвы не наблюдается. Длительное внесение минеральных удобрений (аммофоса) привело к снижению на 25% кислоторастворимых форм цинка (экстракция 5М HNO₃) в пахотном слое лугово-черноземной почвы. Агроэкологическая оценка подвижных форм цинка (экстракция ААБ, рН=4.8) показала среднюю обеспеченность растений подвижными формами элемента на уровне 2,1-2,2 мг/кг.

2. Установлена зависимость между кислоторастворимой и подвижной формами цинка средней степени связи ($r=0,352$) при $t_{\text{факт}} \geq t_{\text{теор}}$, что доказывает наличие динамического равновесия между изучаемыми формами.

3. Содержание цинка в растениях яровой пшеницы зависело от внесения удобрений и варьировало от 5,8 до 7,6 мг/кг в соломе и от 30,8 до 34,3 мг/кг в зерне. Ежегодный общий вынос цинка растениями яровой пшеницы за 2017-2019 гг. в среднем составил 102,5 г/га в варианте без удобрений, в варианте длительного внесения P₉₀ он выше на 16% и составил 118,9 г/га.

4. Коэффициенты поглощения (КБП) и накопления (КБП) цинка растениями пшеницей не зависели от внесения удобрений: КБП составил 13,1 в удобренном варианте и 12,8 – в контроле; величина КБН 14,9 и 15,9 соответственно.

Библиографический список

1. Волкова, В.А. К вопросу о применении соединений меди в технологии возделывания

яровой мягкой пшеницы / В.А. Волкова // Агрохимический вестник. –2020. –№ 2. –С. 68–73.

2. Синдирева, А.В. Интегральный подход к оценке действия тяжелых металлов в системе почва-растение-животное / А.В. Синдирева // Тяжелые металлы в окружающей среде: материалы II Международной школы молодых ученых. – Новосибирск, 2017. –С. 17-28.

3. Перельман, А.И. Геохимия / А.И. Перельман – Изд.2-е, доп. и перераб.– М.: В. школа, 1999. – 527 с.

4. Битюцкий, Н.П. Микроэлементы высших растений: монография / Н.П. Битюцкий – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2011. –368 с.

5. Азаренко, Ю.А. Закономерности содержания, распределения, взаимосвязей микроэлементов в системе почва-растение в условиях юга Западной Сибири: монография / Ю.А. Азаренко. – Омск: Вариант-Омск, 2013. – 232 с.

6. Сычев, В.Г. Цинк в агроэкосистемах России: мониторинг и эффективность применения: монография / В.Г. Сычев, А.Н. Аристархов, Т.Я. Яковлева. – М.:ВНИИА, 2015. – 204 с.

7. Красницкий, В.М. Агрохимическая характеристика пахотных почв и эффективность сельскохозяйственного производства в Омской области / В.М. Красницкий, А.Г. Шмидт // Плодородие. –2018. –№ 1. – С. 64-67.

8. Гамзиков, Г.П. Содержание микроэлементов (Mn, Cu, Zn, Co) в почвах Омской области и отзывчивость бобовых культур на микроудобрения: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / Гамзиков Геннадий Павлович. – Омск, 1967. – 213 с.

9. Спицына, С.Ф. Эффективность применения микроудобрений под сою / С.Ф. Спицына, А.А. Томаровский, Г.В. Оствальд [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. –2015. –№8 (130). –С. 43-47.

10. Усовершенствованная технология возделывания яровой пшеницы в условиях Омской области (применение некорневых подкормок агрохимическими средствами): рекомендации / ИП Макшеевой Е.А.– Омск; , 2018. –16 с.

11. Гейгер, Е.Ю. Микроудобрения на хелатной основе: опыт и перспективы использования / Е.Ю. Гейгер, Л.Д. Варламова, В.В. Семенов [и др.] // Агрохимический вестник. – 2017. – №2. – С. 29-32.

12. Ковалевский, А.Л. Биогеохимия растений / А.Л. Ковалевский – Новосибирск: Наука, 1991. – 294 с.

13. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агрохимиздат, 1985. – 351 с.

14. Сысо, А.И. Тяжелые металлы в окружающей среде как угроза растениям, животным и человеку / А.И. Сысо // *Агрохимия в XXI веке: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной памяти академика РАН В.Г. Минеева*. Под редакцией В.А. Романенкова. – Новосибирск: Изд-во ИПА СО РАН, 2018. – С. 30-33.

15. Фракционное распределение соединений меди и цинка в дерново-подзолистой почве при длительном применении минеральных удобрений и известковании / И.К. Дильмухаметова, Л.К. Назарова, В.А. Романенков [и др.] // *Агрохимия*. – 2019. - № 4. - С.39-45.

16. Митрохина, О.А. Оценка содержания и баланса основных микроэлементов в пахотных почвах ЦЧР / О.А. Митрохина // *Агрохимический вестник*. – 2020. - №5. – С. 58-64.

17. Важенин, И.Г. Агрохимическое картографирование почв на содержание микроэлементов / И.Г. Важенин // *Химия почв. Микроэлементы в почвах и современные методы их изучения: научные труды*. – Почвенный институт им. В. В. Докучаева. – М., 1985. – С. 3-6.

18. Кукушкин, В.К. Поведение цинка в системе почва-растение при повышенном содержании фосфора и меди в почве: автореферат дис. ... кандидата биологических наук : 06.01.03 / Кукушкин Владимир Константинович, Москва. – М., 1988. – 22 с.

19. Балабанова, Н.Ф. Влияние длительного применения удобрений в зернотравяном севообороте на содержание лабильного органического вещества в лугово-черноземной почве / Н.Ф. Балабанова, Н.А. Воронкова // *Агрохимия*. – 2015. – №1. – С. 16-22.

ZINC IN THE "SOIL-PLANT" SYSTEM IN CASE OF LONG-TERM APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS IN THE CONDITIONS OF THE SOUTHERN FOREST STEPPE OF THE OMSK REGION

Volkova V.A. 1, Voronkova N. A. 1,2

1FSBSI "Omsk Agrarian Scientific Center", 644012, Omsk, Koroleva Av., 26;

2 Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Omsk State Technical University", 644050, Mira Av., 11.

Tel. 89045880709, e-mail: volkovaVA1989@yandex.ru

Key words: mineral fertilizers, removal, meadow-black soil, zinc, spring wheat.

A long-term stationary experiment was carried out on meadow-black soil in the southern forest-steppe of the Omsk region of Western Siberia, it was found that systematic application of mineral fertilizers (during six rotations of a five-field grain-fallow crop rotation) did not lead to accumulation of zinc above the APC in accordance with the Hygienic Standards GN 2.1.7.2511- 09. It has been proven that the amount of total zinc (5M HNO₃ extraction) over the years of the research decreased in comparison with the initial value by 15% in a natural background and by 25% in a fertilized background due to its greater removal by plants and migration down the soil profile. Systematic application of mineral fertilizers on average over three years (2017-2019) increased the annual zinc removal by wheat plants by 16%. The content of zinc mobile form in the soil (AAB extraction, pH = 4.8) is estimated as average (2.1-2.2 mg / kg). The dependence of zinc mobile forms on acid-soluble forms was revealed, which is described by the equation $y = 0.072x - 0.643$. The zinc content in spring wheat plants, depending on the fertilization, varied from 5.8 to 7.6 in straw and from 30.8 to 34.3 mg / kg in grain. The biological absorption coefficient was 13.1-12.8; the coefficient of biological accumulation was 14.9 -15.9, which indicates that zinc is intensively involved in the biochemical cycle of the agrocenosis during spring wheat cultivation, and its deficiency becomes a factor which limits the crop yield.

Bibliography:

1. Volkova, V.A. On the question of usage of copper compounds in the technology of spring soft wheat cultivation / V.A. Volkova // *Agrochemical Vestnik*. –2020. –№2. – P. 68-73.
2. Sindireva, A.V. An integrated approach to assessing the action of heavy metals in the soil-plant-animal system / A.V. Sindireva // *Heavy metals in the environment: materials of the II International School of Young Scientists*. - Novosibirsk, 2017. – P. 17-28.
3. Perelman, A.I. *Geochemistry / A.I. Perelman - 2nd edition, add. and revised - M.: V. shkola, 1999. - 527 p.*
4. Bityutskiy, N. P. *Microelements of higher plants: monograph / N.P. Bityutskiy - SPb.: Publishing house of St. Petersburg University, 2011. -368 p.*
5. Azarenko, Yu.A. Regularities of the content, distribution, interconnections of microelements in the soil-plant system in the south of Western Siberia: monograph / Yu.A. Azarenko. - Omsk: Variant-Omsk, 2013. - 232 p.
6. Sychev, V.G. Zinc in agroecosystems of Russia: monitoring and application efficiency: monograph / V.G. Sychev, A.N. Aristarkhov, T. Ya. Yakovleva. - M.: All-Russian Research Institute of Automation, 2015. - 204 p.
7. Krasnitsky, V.M., Schmidt A.G. Agrochemical characteristics of arable soils and the efficiency of agricultural production in the Omsk region / V.M. Krasnitsky, A.G. Schmidt // *Soil Fertility*. –2018. –№1. - P. 64-67.
8. Gamzikov, G.P. The content of trace elements (Mn, Cu, Zn, Co) in the soils of the Omsk region and the responsiveness of legumes to micronutrient fertilizers: dissertation of Candidate of Agricultural Sciences: 06.01.03 / Gamzikov Gennadiy Pavlovich, Omsk. - Omsk, 1967. - 213 p.
9. Spitsyna, S.F. Efficiency of application of microfertilizers for soy bean / S.F. Spitsyna, A.A. Tomarovskiy, G.V. Ostvald [et al.] // *Vestnik of Altai State Agrarian University*. –2015. – №8 (130). -P. 43-47.
10. Improved technology of spring wheat cultivation in the conditions of the Omsk region (the use of foliar fertilizing with agrochemical means): recommendations / Maksheeva E.A. - Omsk ;, 2018. –16 p.
11. Geiger, E.Yu. Microfertilizers on a chelate basis: experience and prospects of application / E.Yu. Geiger, L.D. Varlamova, V.V. Semenov [et al.] // *Agrochemical Vestnik*. - 2017. - № 2. - P. 29-32.
12. Kovalevskiy, A.L. *Biogeochemistry of plants / A.L. Kovalevskiy - Novosibirsk: Nauka, 1991. - 294 p.*
13. Dospikhov, B.A. *Field experiment methodology / B.A. Dospikhov. - M.: Agrokhimizdat, 1985. - 351 p.*
14. Syso, A.I. *Heavy metals in the environment as a threat to plants, animals and humans / A.I. Syso // Agrochemistry in the XXI century: materials of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the memory of Academician V.G. Mineev*. Edited by V.A. Romanenkov. - Novosibirsk: Publishing house of Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2018. - P. 30-33.
15. Dilmukhametova I.K. Fractional distribution of copper and zinc compounds in sod-podzolic soil in case of long-term application of mineral fertilizers and liming / I.K. Dilmukhametova, L.K. Nazarova, V.A. Romanenkov [and others] // *Agrochemistry*. - 2019. - № 4. - P. 39-45.

16. Mitrokhina, O. A. Assessment of the content and balance of the main microelements in the arable soils of the Central Black Soil Region / O.A. Mitrokhin // *Agrochemical Vestnik*. - 2020. - № 5. - P. 58-64.
17. Vazhenin, I. G. Agrochemical mapping of soils for the content of microelements / I.G. Vazhenin // *Soil Chemistry. Trace elements in soils and modern methods of their study: scientific work / Soil Institute named after V.V.Dokuchaev*. - M., 1985. - P. 3-6.
18. Kukushkin, V.K. The behavior of zinc in the soil-plant system with an increased content of phosphorus and copper in the soil: abstract of dissertation of Candidate of Biological Sciences: 06.01.03 / Kukushkin Vladimir Konstantinovich, Moscow. - M., 1988. - 22 p.
19. Balabanova, N.F. Influence of long-term usage of fertilizers in grain-grass crop rotation on the content of labile organic matter in meadow-black soil / N.F. Balabanova, N.A. Voronkova // *Agrochemistry*. - 2015. - № 1. - P. 16-22.