

УДК 631.4

## **Подвижность меди и цинка в черноземе миграционно сегрегационном при использовании различных агротехнологий**

*Ильченко Я.И., Бирюкова О.А., Ерин В.А.*

*Южный Федеральный Университет*

### **Аннотация**

*В статье представлены многолетние данные по содержанию валовых и подвижных соединений Си и Zn в профиле чернозема миграционно сегрегационного при использовании различных агротехнологий: традиционной с отвальной вспашкой, минимальной и no-till. Исследования проведены в производственных посевах озимой пшеницы в южной зоне Ростовской области. Эталонном служила почва целинного участка. Содержание как валовых, так и подвижных соединений Си и Zn в почве соответствует региональному уровню и не превышает ПДК. Использование ресурсосберегающих технологий увеличивает подвижность этих микроэлементов, но степень обеспеченности остаётся на низком уровне. Результаты исследования свидетельствуют о необходимости применения микроудобрений для повышения плодородия чернозема миграционно сегрегационного.*

**Ключевые слова:** ЧЕРНОЗЕМ, ЦИНК, МЕДЬ, ОЗИМАЯ ПШЕНИЦА, ТЕХНОЛОГИЯ NO-TILL

---

### **Введение**

Почва является одним из основных природных ресурсов. Качество почвы зависит от комплексного воздействия на свойства, определяющие её устойчивость и урожайность сельскохозяйственных культур [1]. При интенсивном использовании почва начинает функционировать в новых экологических условиях, что приводит к изменению направленности и интенсивности почвообразовательных процессов. Антропогенная нагрузка на почвы нередко сопровождается их деградацией, в том числе агроистощением, загрязнением тяжёлыми металлами. Интенсивное земледелие способствует изменению

содержания как макро-, так и микроэлементов в почве, что может негативно сказаться на качестве получаемого урожая как в связи с загрязнением продукции особо опасными веществами, так и за счёт его снижения из-за недостаточного микроэлементного питания [2].

Среди множества антропогенных факторов, влияющих на изменение качества минерального питания сельскохозяйственных растений, большая роль принадлежит агротехнике. Современное земледелие характеризуется широким освоением почвозащитных, ресурсосберегающих и энергосберегающих технологий, в том числе и технологии no-till [3]. Преимуществами нулевой обработки являются: энергоресурсосбережение, экономичность, защита почвы от эрозии, сохранение влаги, снижение темпов минерализации органического вещества, сокращение потерь минерального азота, мульчирующий эффект, улучшение сложения почвы, перспективы экологизации [4]. В настоящее время установлено, что применение ресурсосберегающих технологий, в том числе и no-till, оказывает положительное действие на физико-химические, биологические и другие свойства почвы, способствует формированию естественной структуры почвы, позволяет получить высокие урожаи [5-8]. При внедрении данной технологии остаётся малоизученным микроэлементный состав почв агроценозов, в том числе содержание и подвижность цинка.

**Цель исследования** - оценка подвижности меди и цинка в черноземе миграционно сегрегационном при возделывании озимой пшеницы по различным агротехнологиям.

### **Объекты и методы**

Исследования проведены на базе ЗАО им. Кирова Песчанокопского района Ростовской области (рис. 1). Минимальная технология на территории хозяйства используется с 2000 г., технология no-till - с 2008 г. Песчанокопский район расположен в самой южной части Ростовской области на границе с тремя регионами – Краснодарским и Ставропольским краями и Республикой Калмыкией [9].

Климат в районе резко континентальный, сухой. Среднегодовая температура воздуха -  $8,5^{\circ}\text{C}$ , суммарная температура выше  $10^{\circ}\text{C}$  -  $3252^{\circ}\text{C}$ , среднемноголетняя температура января - минус  $5,7^{\circ}\text{C}$ , максимальная июля –  $22,8-22,9^{\circ}\text{C}$ . Среднемноголетняя сумма осадков за год – 450-500мм, из них за вегетационный период – 270-300мм, испаряемость за год - 840мм, радиационный баланс –  $2693 \text{ МДж/м}^2$  в год [10].



Рис. 1. Район проведения исследований [11]

Преобладающими почвами ЗАО им. С. М. Кирова являются черноземы миграционно сегрегационные [12] по классификации ФАО и WRB – *haplic Chernozem* [13].

Основными отличительными признаками этой почвы являются большая протяжённость перегнойных горизонтов при сравнительно невысоком содержании гумуса, сильная перерытость профиля землероями, неплотное сложение, высокая карбонатность, наличие кроме обычных для черноземов форм карбонатных новообразований (жилок и белоглазки) мицелярной формы в виде карбонатной плесени. Характерны для них и очень растянутые (постепенные) переходы между генетическими горизонтами. В пахотном слое содержится в среднем 4,1 % гумуса. В составе гумуса преобладают гуминовые кислоты, прочно связанные с кальцием, отношение  $C_g : C_f > 1,5$ . Распределение ила и валового химического состава по профилю почв характеризуется относительной однородностью [14].

Содержание гумуса в пахотном слое – 4,3 %, сумма обменных катионов ( $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ ) составляет 34,0 ммоль(экв)/100 г почвы; содержание  $CaCO_3$  – с поверхности 1,8 %, повышается до 12,2 % в горизонте  $V_{ca}$ ; количество физической глины – 55,8 %, ила – 32,0 %; pH в верхней части гумусового горизонта около 7,9–8,0, в нижней части

профиля – 8,3.

Опытная культура – озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), сорт - «Гром». Среднеспелый, высокоурожайный, полужернозерный сорт. Вегетационный период — 223–278 дней [15].

Образцы почвы отбирали в производственных посевах озимой пшеницы. Всего был заложен двадцать один полнопрофильный разрез: 7 - при использовании нулевой обработки почвы - технология прямого посева (no-till); 6 – минимальная обработка - поверхностная обработка на глубину 10-12 см (БДТ-3); 3 – традиционная обработка (отвальная вспашка на глубину 25-27 см (ПЛН-4-35)). Эталонном служила почва целинного участка (5 разрезов). Пробы были отобраны по генетическим горизонтам (Ap, A, AB, Bca, BC, C).

Общее содержание Cu и Zn определено с помощью рентгенофлуоресцентного анализа (спектроскан МАКС-GV), для определения подвижных Zn, Cu использовали ацетатно-аммонийный буферный раствор (рН 4,8) с применением атомно – абсорбционной спектроскопии (отношение почвы к раствору 1:10) [16].

Математическая обработка экспериментальных данных проведена с использованием программы STATISTICA 13.3 с 5 % уровнем значимости ( $P < 0.05$ ).

### **Результаты и обсуждение**

Согласно данным рис. 2 валовое содержание Zn в верхнем гумусовом горизонте (Ap/ Ad) чернозема миграционно сегрегационного колеблется в пределах 70.4–88.8 мг/кг, Cu – 41.3–54.4 мг/кг, что соответствует фоновому уровню исследуемого региона [17, 18]. Вниз по профилю почвы содержание этих элементов снижается.

Проведенные исследования выявили разницу в характере миграции исследуемых элементов по профилю чернозема миграционно сегрегационного. По валовому содержанию меди профиль недифференцированный. Валовой Zn характеризуется аккумулятивным типом профильного распределения с накоплением элемента в верхних слоях почвы. Полученные данные свидетельствуют, что содержание и распределение по профилю Cu и Zn в черноземе миграционно сегрегационном определяют специфические свойства изучаемых элементов и генетические особенности почвы. Микроэлементный состав черноземов формируется под влиянием процессов гумусонакопления, миграции карбонатов и их аккумуляции [19]. Микроэлементы в составе первичных минералов

служат связующим звеном между почвой и исходными породами. Несмотря на возможность в некоторых условиях образования собственных минералов и труднорастворимых соединений Zn и Cu, основные их формы в незагрязнённых почвах, так или иначе, связаны с минеральными и органическими составляющими [20].

Статистический анализ показал относительную стабильность валового содержания Cu и Zn как на целинном участке, так и при использовании изучаемых агротехнологий. Коэффициент вариации для обоих элементов в большинстве случаев не превышает 10 %.

Внедрение ресурсосберегающих технологий по сравнению с отвальной вспашкой способствовало достоверному росту содержания Cu и Zn в профиле чернозема миграционно сегрегационного (рис. 2–3). Так, в горизонте Ap отмечено увеличение количества Zn на 26 % при обеих ресурсосберегающих агротехнологиях, для Cu - на 34 % при минимальной и 28 % при no-till относительно отвальной вспашке.

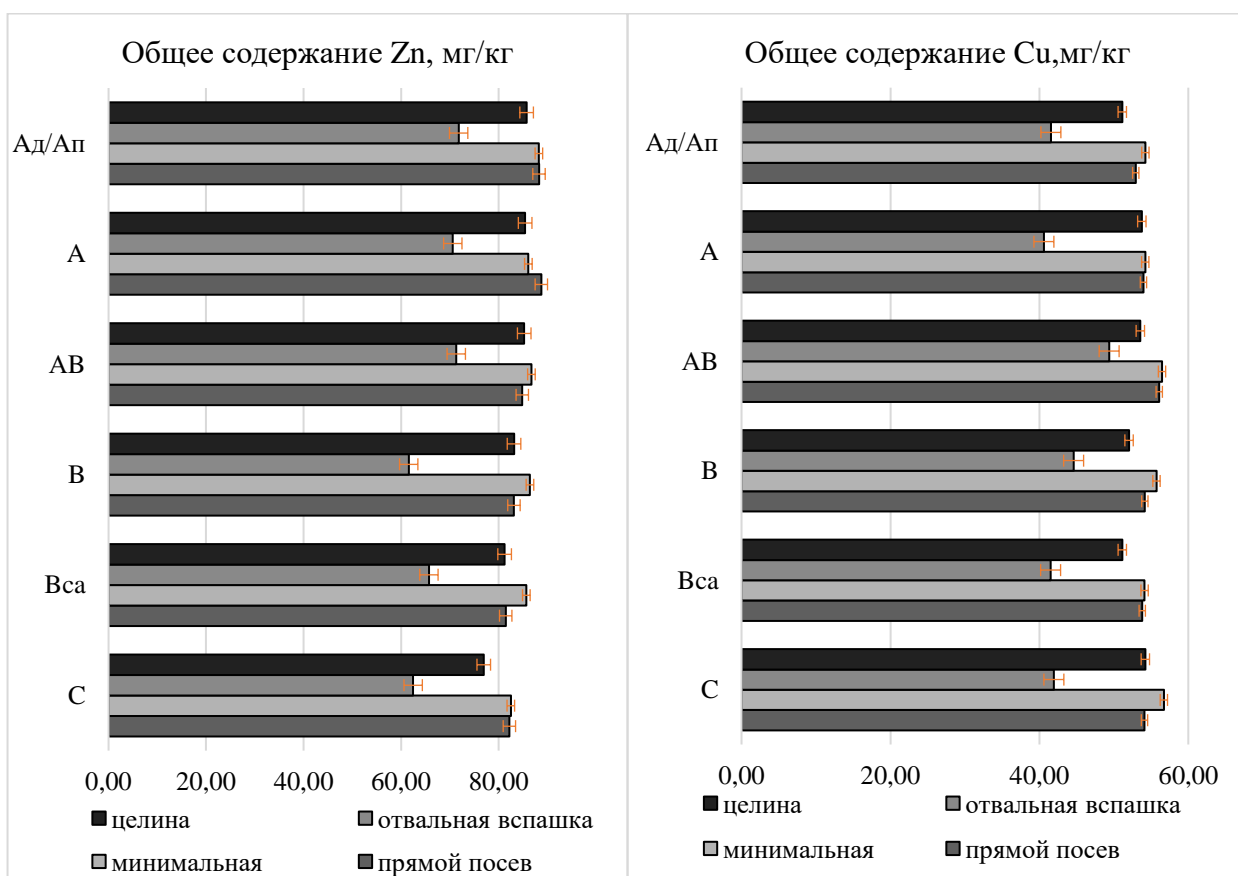


Рис. 2. Профильное распределение общего содержания меди и цинка в черноземе миграционно сегрегационном при различных агротехнологиях, мг/кг

Более достоверную информацию о содержании и влиянии микроэлементов на экологическое состояние агроценозов несёт их подвижное содержание. Анализ распределения подвижных соединений этих биогенных микроэлементов в черноземе миграционно сегрегационном выявил для Cu равномерно-элювиальный профиль с постепенным увеличением её содержания с продвижением в нижележащую толщу. Наши данные подтверждаются исследованиями Протасовой [21], согласно которым в карбонатном горизонте типичных и обыкновенных черноземов наблюдается некоторое увеличение подвижной Cu, где она способна аккумулироваться в результате взаимодействия с карбонатами почвенного раствора. Кроме того, низкое содержание подвижной Cu в верхних горизонтах обусловлено, вероятно, выносом растениями при формировании урожая без соответствующей компенсации удобрениями [22].

Профильное распределение Zn на целинном участке соответствует аккумулятивному типу с максимумом элемента в поверхностном слое при его постепенном падении с глубиной. Известно, что подвижность Zn в черноземах очень мала, с глубиной она уменьшается, что связано с увеличением карбонатов и подщелачиванием среды. Сельскохозяйственное использование чернозема миграционно сегрегационного приводит к изменению профильного распределения Zn. При всех изучаемых агротехнологиях выявлен элювиально-иллювиальный тип профиля.

Содержание подвижных форм Cu и Zn характеризуется более активным варьированием, чем их валовых соединений. Большой коэффициент вариации элементов (до 35–45 % в гор. А) наблюдается в разрезах с минимальной обработкой и no-till. Варьирование Zn в разрезах с ресурсосберегающими обработками достигает максимума в горизонте B<sub>ca</sub> (50–60 %). При использовании отвальной вспашки и на целинном участке этот элемент практически стабилен по всему профилю.

Согласно полученным результатам, чернозем миграционно сегрегационный характеризуется низкой степенью обеспеченности подвижными соединениями Zn (<2.0 мг/кг) и Cu (<0.2 мг/кг), что, вероятно, связано с активным поглощением растениями и свидетельствует о недостаточном использовании цинковых и медьсодержащих удобрений (рис. 3). Недостаточная обеспеченность микроэлементным питанием растений часто приводит к увеличению содержания тяжелых металлов в продукции растениеводства [2]. Так, снижение доступности Zn способствует повышению содержания Cd в растениях. Обладая сходными химическими свойствами и близкими радиусами атомов, Zn и Cd

могут активно замещать друг друга при поглощении растениями из почвы, и накапливаться в выращенной продукции [23].

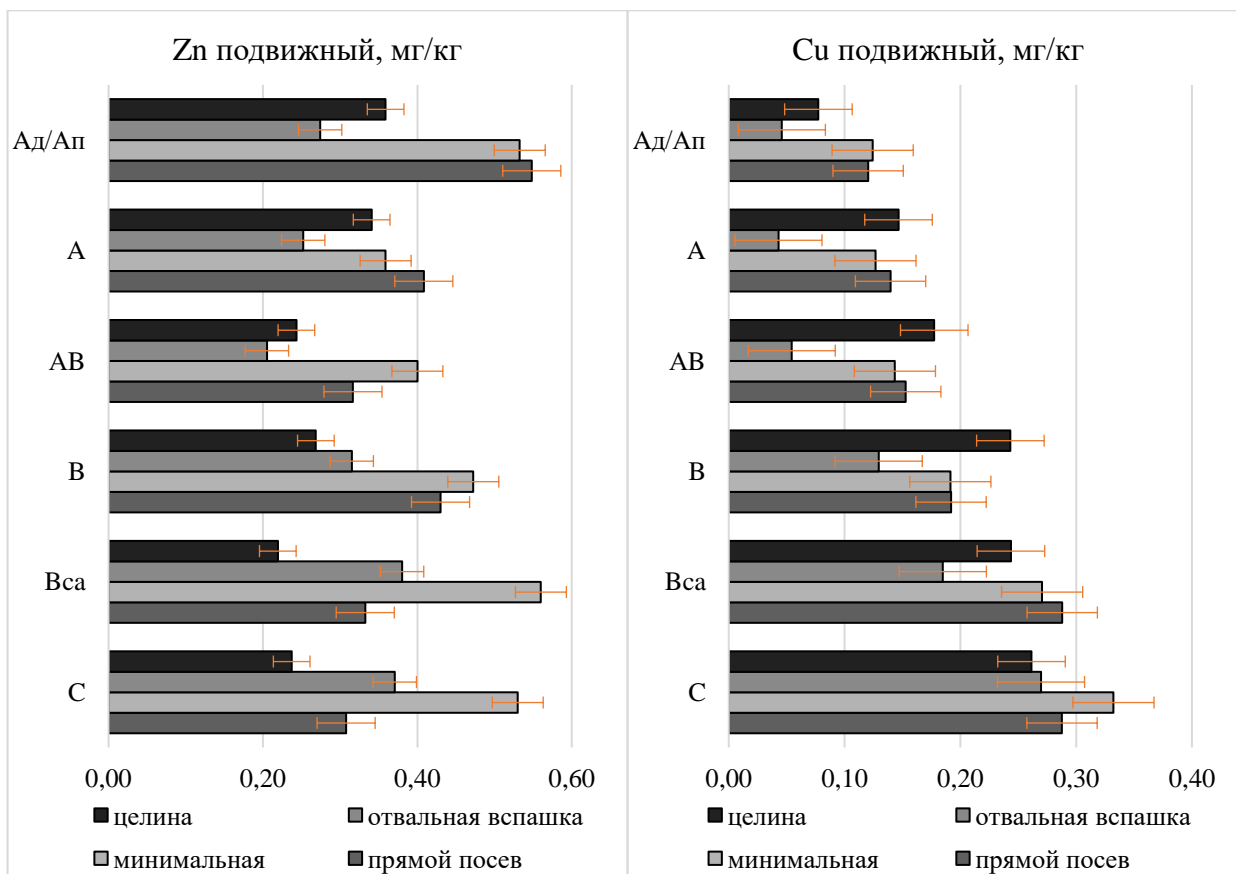


Рис. 3. Профильное распределение подвижных меди и цинка в черноземе миграционно сегрегационном при различных агротехнологиях, мг/кг

Низкая подвижность соединений микроэлементов в черноземе обусловлена влиянием содержания гумуса, содержанием и миграцией карбонатов, слабощелочной реакцией среды и тяжелосуглинистым гранулометрическим составом [17, 21, 24]. По мнению [25] недостаток Zn в почвах чаще всего проявляется при pH 6.0–8.0. В почвах, содержащих CaCO<sub>3</sub>, подвижность его очень мала. Она также снижается в присутствии растворимых фосфатов. Cu в почве присутствует в нескольких формах, которые связаны с различными составными частями почвы. Характер таких ассоциаций влияет на мобильность и наличие этого микроэлемента [26]. По данным Gonzalez et al. [27], на доступность Cu в почве влияет органическое вещество, Fe и Mn, ёмкость катионного обмена, pH почвы, содержание карбонатов и скорость проникновения воды.

Результаты наших исследований показали, что внедрение ресурсосберегающих технологий повышает долю подвижных Cu и Zn от валовых в верхнем горизонте почвы по сравнению с отвальной вспашкой. При минимальной обработке и no-till в горизонте Ap доля Cu составляет 0.2 %, Zn - 0.6 %, тогда как при вспашке – 0.1 и 0.4% соответственно. Следует отметить, что многолетнее использование минимальной обработки почвы после отвальной вспашки увеличивает подвижность Zn по всему профилю. А применение no-till увеличивает долю подвижных Cu и Zn от валовых до карбонатного горизонта. Затем, начиная с горизонта Bca различия в подвижности Cu между обработками сглаживаются, и в горизонте C находятся на одном уровне - 0.5 %. При этом подвижность Zn в горизонтах BC – C выше при вспашке.

В целом, содержание подвижных соединений исследуемых элементов при минимальной обработке и no-till практически в 1.5–2 раза выше, чем при вспашке. Применение ресурсосберегающих технологий даёт ряд преимуществ по сравнению с традиционной обработкой, поскольку они улучшают различные аспекты взаимоотношений между сельскохозяйственной культурой и почвой. Например, накопление органического вещества, улучшение удержания воды и инфильтрации, поддержание температуры почвы, микробиологической и ферментативной активности почвы [28, 29].

Использование ресурсосберегающих технологий, в том числе и нулевой, с использованием достаточно больших доз минеральных удобрений, интенсивного ухода за культурами повышает содержание подвижных соединений Zn и Cu в почве, но степень обеспеченности остаётся на низком уровне. Однако, по данным Смурова [30], способы основной обработки почвы не оказывали влияния на содержание в пахотном слое чернозема типичного подвижных соединений Zn, Cu, Mn и Co. При этом не установлено также существенного влияния способов основной обработки почвы на урожайность изучаемых культур. Полученные нами результаты показывают несомненное преимущество ресурсосберегающих обработок над вспашкой. Урожайность с использованием no-till составила 4.3–6.5 т/га, при минимальной обработке - 4.1–5.9 т/га, а при вспашке - 3.3–3.5 т/га [31]. Отмеченные различия связаны, по нашему мнению, как со свойствами исследуемых почв, так и с биологическими особенностями возделываемых культур.

Накопление микроэлементов в почвах агроценозов может привести не только к её



загрязнению, но и к поглощению тяжёлых металлов сельскохозяйственными культурами и, следовательно, может угрожать безопасности продукции и здоровью человека. Оценку степени загрязнения агроценозов исследуемыми микроэлементами проводили с учётом требований СанПин [32]: ПДК для Zn – 220.0 мг/кг и 23.0 мг/кг; для Cu – 132.0 мг/кг и 3.0 мг/кг соответственно по валовым и подвижным соединениям. При использовании всех агротехнологий превышения гигиенических нормативов зарегистрировано не было. Можно заключить, что количество Zn и Cu на исследуемой территории не может вызвать каких-либо патологических изменений или аномалий в ходе биологических процессов и привести к накоплению в сельскохозяйственных растениях.

### **Заключение**

Валовое содержание исследуемых микроэлементов в черноземе миграционно сегрегационном агроценозов озимой пшеницы достаточно высокое и колеблется в пределах от 70.4 до 88.8 мг/кг для Zn, от 41.3 до 54.4 мг/кг для Cu в верхнем гумусовом горизонте. Вниз по профилю их содержание уменьшается. Выявлена разница в характере миграции этих биогенных микроэлементов по профилю почвы. Для Zn выражен биогенный барьер с его аккумуляцией в горизонтах Ap – A, для Cu наблюдается равномерное распределение без чётко выделенных барьеров.

Применение почвозащитных ресурсосберегающих технологий (минимальной и no-till) увеличивает подвижность этих микроэлементов в черноземе миграционно сегрегационном по сравнению с отвальной вспашкой, но степень обеспеченности остаётся на низком уровне.

Превышает ПДК по валовым и подвижным соединениям Cu и Zn в почве не обнаружено.

Полученные результаты свидетельствуют о низкой биодоступности Cu и Zn и необходимости внесения микроудобрений для повышения устойчивости агроценозов озимой пшеницы на черноземе миграционно сегрегационном.

### **Финансирование**

*Исследование выполнено при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета ("Приоритет 2030").*

**Список использованных источников:**

1. Anikwe M.A.N. and Ubochi J.N. Short-term changes in soil properties under tillage systems and their effect on sweet potato (*Ipomea batatas* L.) growth and yield in an Ultisol in south-eastern Nigeria // Australian Journal of Soil Research, 2007. – №45. – P. 351–358.
2. Biryukova O. A., Bozhkov D. V., Minkina, T. M. Medvedeva A. M., Elnikov I. I. Models of Winter Wheat Yield Based on Calcareous Chernozem Fertility Parameters // American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 2015. – №10(4). – P. 186–196.
3. Кирюшин В. И. Научно-инновационное обеспечение приоритетов развития сельского хозяйства // Достижения науки и техники АПК, 2019. – Т. 33. – № 3. – С. 5–10.
4. Кирюшин В. И. Минимизация обработки почвы: перспективы и противоречия // Земледелие, 2006. – № 5. – С. 12–14.
5. Дридигер В. К., Иванов А. Л., Белобров В. П., Кутовая О.Л. Восстановление свойств почв в технологии прямого посева. Почвоведение, 2020. – № 9. – С. 1111–1120.
6. Есаулко А. Н., Коростылев С. А., Сигида М. С. и др. Динамика показателей почвенного плодородия при возделывании сельскохозяйственных культур по технологии no-till в условиях Ставропольского края // Агрехимический вестник, 2018. – № 4. – С. 58–62.
7. Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю. В., Мясникова М.А., Колесников С.И. Влияние технологии no-till на эколого-биологическое состояние почв. Ростов-наДону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. – 140 с.
8. Чекаев Н. П., Кочмина Е. О. Изменение агрохимических показателей чернозема выщелоченного и урожайность сельскохозяйственных культур в условиях прямого посева // Нива Поволжья, 2018. – № 1 (46). – С. 91–96.
9. Муниципалитеты. Агентство инвестиционного развития Ростовской области [Электрон. ресурс]. – URL: <http://www.ipa-don.ru/> (дата обращения: 25.09.2024).
10. Зональные системы земледелия Ростовской области 2022–2026 гг. / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области. Ростов-на-Дону, 2022. – 734 с.
11. Инвестиции – Официальный сайт Администрации Песчанокского района [Электрон. ресурс]. – URL: <http://old-peschanrn.donland.ru/> (дата обращения: 23.09.2024).
12. Классификация и диагностика почв России. Шишов Л. Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. - Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
13. IUSS Working Group WRB, 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015. International soil classification system for naming soil and creating legends for soil maps. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
14. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С. И. Почвы Ростовской области: генезис, география и экология. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2012. – 316 с.
15. Гром. Государственная комиссия РФ по испытанию и охране селекционных

достижений (ФГБУ «ГОССОРТКОМИССИЯ») [Электрон. ресурс]. – URL: <https://gossortrf.ru/> (дата обращения: 23.09.2024).

16. Минеев В. Г. Практикум по агрохимии – М: МГУ, 2001.– 689 с.
17. Минкина Т. М. Состав соединений тяжелых металлов в почвах. – Ростов-на-Дону: Ростов, 2009. – 208 с.
18. Medvedeva A. M., Biryukova O. A., Kucherenko A. V., Ilchenko Y. I., Minkina T. M., Mandzhieva S. S., Mazarji M. The effect of resource-saving tillage technologies on the mobility, distribution and migration of trace elements in soil // *Environmental Geochemistry and Health*. 2022. – V. 45. – P. 85–100.
19. Протасова Н. А., Щербаков А. П. Особенности формирования микроэлементного состава зональных почв Центрального Черноземья // *Почвоведение*. 2004. – № 1. – С. 50–59.
20. Adriano D.C. Trace elements in terrestrial environments. - New York, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2001. – P. 868.
21. Протасова Н. А. Биогеохимия микроэлементов в обыкновенных черноземах Воронежской области // *Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация*. – 2015. – № 4. – С.100–106.
22. Андрианов А. Д., Андрианов Д. А. Биопрепараты на раннем картофеле // *Картофелеводство: сб. науч. тр. Минск*, – 2017. – Т. 25. – С. 105–115.
23. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants – 4th edition. Boca Raton, FL, USA: CRC Press/Taylor & Francis Group. – 2010. – 548 p.
24. Лукин С. В. Микроэлементы в почвах ЦЧО // *Земледелие*. – 2015. – №5. – С. 26–28.
25. Fonseca A. F. Extraction methods and availability of micronutrients for wheat under a No-till system with a surface application of lime // *Scientia Agricola*. – 2010. – 67(1) – P. 60–70.
26. Dong W., Wang Q. Experimental studies on the transport of copper down the soil profile and in runoff during rainfall. // *Aust. J. Crop. Sci.* – 2012. – №6 (6). – С.1080–1087.
27. Gonzalez D., Almendros P., Alvarez J.M. Mobility in soil and availability to triticale plants of copper fertilizers // *Soil Res.* – 2015. – №53 (4). – 412–422.
28. Franzluebbers A.J. Tillage and residue management effects on soil organic matter – In: Magdoff FR, Weil RR (eds) *Soil organic matter in sustainable agriculture* // CRC Press, Boca Raton, FL. – 2004. – P. 227–268.
29. Malhi S.S., Légère A., Vanasse A., Parent G. Effects of long-term tillage, terminating No-till and cropping system on organic C and N, and available nutrients in a Gleysolic soil in Québec, Canada. // *The Journal of Agricultural Science*. – 2018. – №156. – С.472–480.
30. Смуров С. И., Агафонов Г. С., Григоров О. В., Шелухина Н. В. Влияние способов основной обработки почвы на содержание микроэлементов // *Достижения науки и техники АПК*, 2014. – №5– С. 5–7.
31. Medvedeva A. Nitrogen state of Haplic Chernozem of the European Part of Southern

Ильченко Я.И., Бирюкова О.А., Ерин В.А. Подвижность меди и цинка в черноземе миграционно сегрегационном при использовании различных агротехнологий

.....  
**Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»**  
=====

Russia in implementation of resource-saving technologies // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2020. [Электрон. ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.1002/jsfa.10852> (дата обращения 23.09.2024).

32. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. – 2006. – 15 с.  
=====

**Цитирование:**

Ильченко Я.И., Бирюкова О.А., Ерин В.А. Подвижность меди и цинка в черноземе миграционно сегрегационном при использовании различных агротехнологий [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2024. – № 5. – Режим доступа: [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/5/st\\_513.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/5/st_513.pdf)  
DOI: <https://doi.org/10.51419/202145513>.