

УДК: 10.18522/2308-9709-2022-40-4
<https://new.jbks.ru/archive/issue-40/article-4>

Содержание и подвижность цинка в черноземе обыкновенном агроценозов озимой пшеницы при использовании различных агротехнологий

[Бирюкова О. А.¹](#), [Ильченко Я. И.²](#), [Ерин В. А.³](#), [Илюшечкин В. А.⁴](#)

1. Доктор сельскохозяйственных наук
2. Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского ЮФУ
3. Молодежная лаборатория “Агробиотехнологии для повышения плодородия почв и качества сельскохозяйственной продукции” в рамках программы развития межрегионального научно-образовательного центра Юга России, № ЛабНОЦ-21-01АБ
4. Молодежная лаборатория “Агробиотехнологии для повышения плодородия почв и качества сельскохозяйственной продукции” в рамках программы развития межрегионального научно-образовательного центра Юга России, № ЛабНОЦ-21-01АБ

В работе представлены результаты изучения влияния различных агротехнологий – традиционной (с отвальной вспашкой) и ресурсосберегающих (минимальной и No-till) на содержание и подвижность цинка в почве при возделывании озимой пшеницы в южной зоне Ростовской области. В исследования включены агроценозы озимой пшеницы, различающиеся по длительности использования технологии No-till (2 года, 9 и 11 лет). Общее содержание цинка определяли с помощью рентгено-флуоресцентного анализа. Для определения подвижных соединений биомикроэлемента использовали ацетатно-аммонийный буферный раствор (рН 4,8) с последующим применением атомно-абсорбционной спектрометрии. Установлено, что содержание как валового, так и подвижного цинка в черноземе обыкновенном в исследуемых агроценозах озимой пшеницы соответствует региональному уровню и не превышает ПДК. Общее содержание цинка в посевах озимой пшеницы при использовании различных агротехнологий находится в основном на уровне целинного участка. Многолетнее использование ресурсосберегающей технологии No-Till (9 и 11 лет) способствует повышению данного биомикроэлемента на 15,0% по сравнению с целиной и с традиционной технологией, основанной на отвальной вспашке. В этих же агроценозах выявлено существенное увеличение содержания подвижных соединений цинка до уровня почвы целинного участка, но степень обеспеченности осталась низкой. Доля подвижных соединений этого биофильного элемента от валовых форм составляет в среднем всего 1,0%, что свидетельствует о низкой его биодоступности и необходимости применения минеральных удобрений, содержащих цинк. Ключевые слова: цинк, чернозем обыкновенный карбонатный, озимая пшеница, ресурсосберегающие технологии, технология No-till, традиционная технология.

Введение

Почва является одним из основных природных ресурсов. Качество почвы зависит от комплексного воздействия на свойства, определяющих ее устойчивость и урожайность сельскохозяйственных культур (Anikwe, 2007). 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 тяжелыми 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 счет его снижения из-за недостаточного микроэлементного питания (Biryukova et al., 2015).

Особого внимания из большого числа микроэлементов заслуживает цинк. Этот биомикроэлемент 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 (Побилат, Волошин, 2016). Однако в черноземных почвах подвижность цинка, доступность его растениям низкая (Шеуджен, 2010). 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 (Кирушин, 2019). 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 (Кирюшин, 2006). 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 (Мокриков и др., 2017; Есаулко и др., 2018; Чекаев, Кочмина, 2018; Дригидер и др., 2020). При внедрении данной технологии остается малоизученным микроэлементный состав почв агроценозов, в том числе содержание и подвижность цинка.

Цель работы: оценка влияния различных агротехнологий на содержание и подвижность цинка при возделывании озимой пшеницы на черноземе обыкновенном карбонатном.

Объект и методы исследования

Исследования проводили на базе ЗАО им. С.М. Кирова Песчанокопского района Ростовской области. Преобладающими почвами на этой территории являются черноземы обыкновенные карбонатные различной мощности и степени эродированности (рис. 1).

Image not found or type unknown

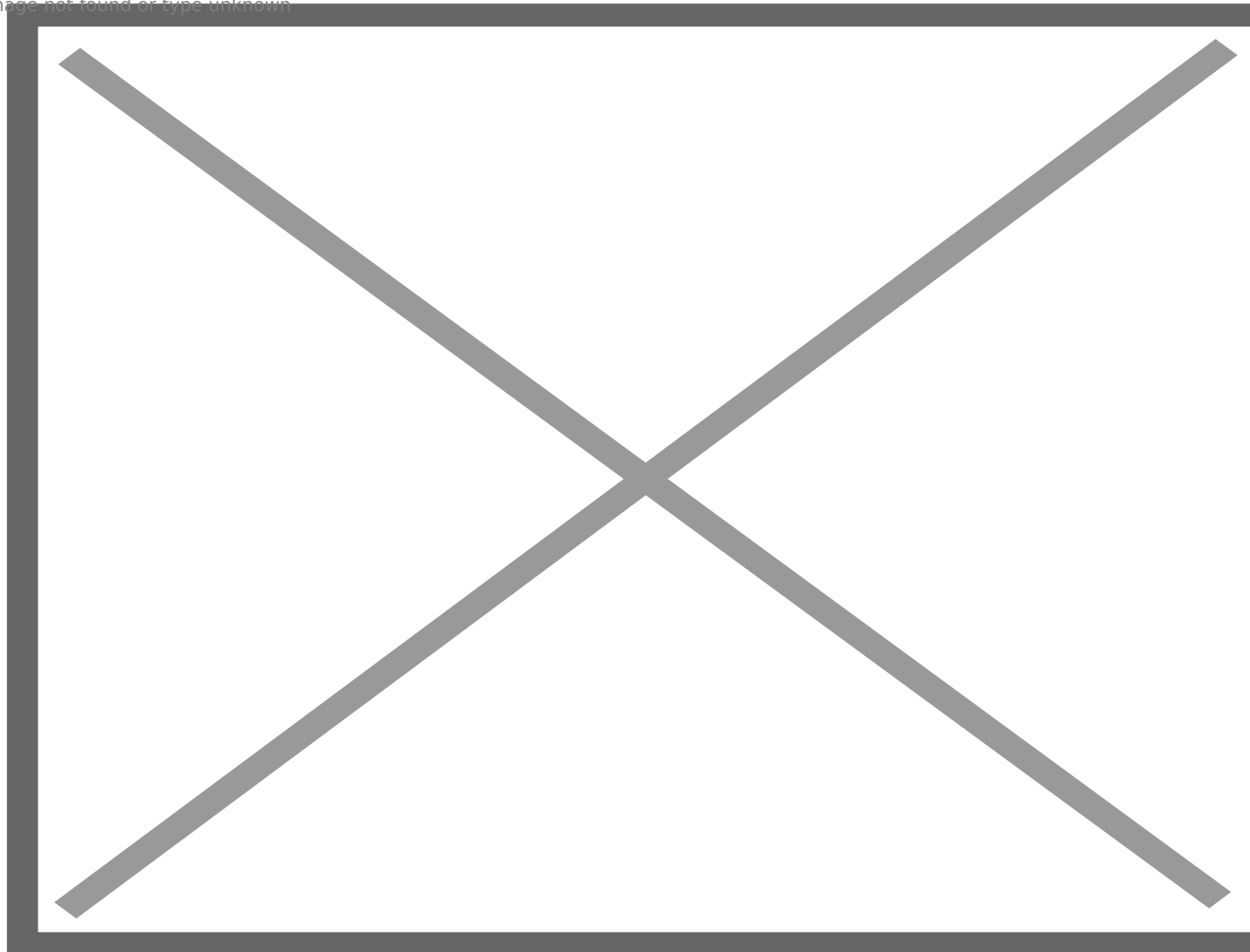


Рис. 1 - Почвенная карта ЗАО им. Кирова Песчанокопского района Ростовской области

Исследуемая почва – чернозем обыкновенный карбонатный среднесиловый тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке. Основными отличительными признаками чернозема обыкновенного карбонатного (предкавказского) являются большая протяженность 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 (Безуглова, Хырхырова, 2008).

Изучение содержания цинка проведено в производственных посевах озимой пшеницы при использовании традиционной и ресурсосберегающих технологий в 2020–2021 году. Традиционная агротехнология основана на отвальной вспашке (глубина 25–27 см, (ПЛН-4-35). Ресурсосберегающие технологии представлены минимальной (поверхностная обработка на глубину 10–12 см (БДТ-3) и No-till в (Semeato TDNG-420 производства Бразилия). В исследования включены агроценозы озимой пшеницы, различающиеся по длительности использования технологии No-till (2 года, 9 и 11 лет).

Исследования проводили с использованием следующих методик:

1. Отбор проб почвы и подготовка почв к анализу – ГОСТ 17.4.4.02-17;
2. Определение валовых форм Zn – с помощью рентгено-флуоресцентного анализа на приборе «Спектроскан МАКС-GV» (Минеев, 2001);
3. Для определения подвижных форм Zn в почве использовали ацетатно-аммонийный буферный раствор (pH 4,8) с последующим применением атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе «Квант 2МТ» (отношение почвы к раствору 1:10) (Методические указания, 1992);
4. Для математической обработки полученных результатов использовали программы Microsoft Excel и STATISTICA 13.3

Результаты исследования и их обсуждения

Почва является основным источником питания растений цинком. К основным факторам, определяющим содержание микроэлементов в почвах, относятся содержание в материнской породе, направленность и интенсивность процессов почвообразования, а также антропогенное воздействие (Шеуджен, 2010).

Согласно полученным данным в черноземе обыкновенном карбонатном общее содержание цинка на целинном участке довольно высокое и составляет в среднем 76,2 мг/кг почвы, что характерно для исследуемого региона (рис.2).

Image not found or type unknown

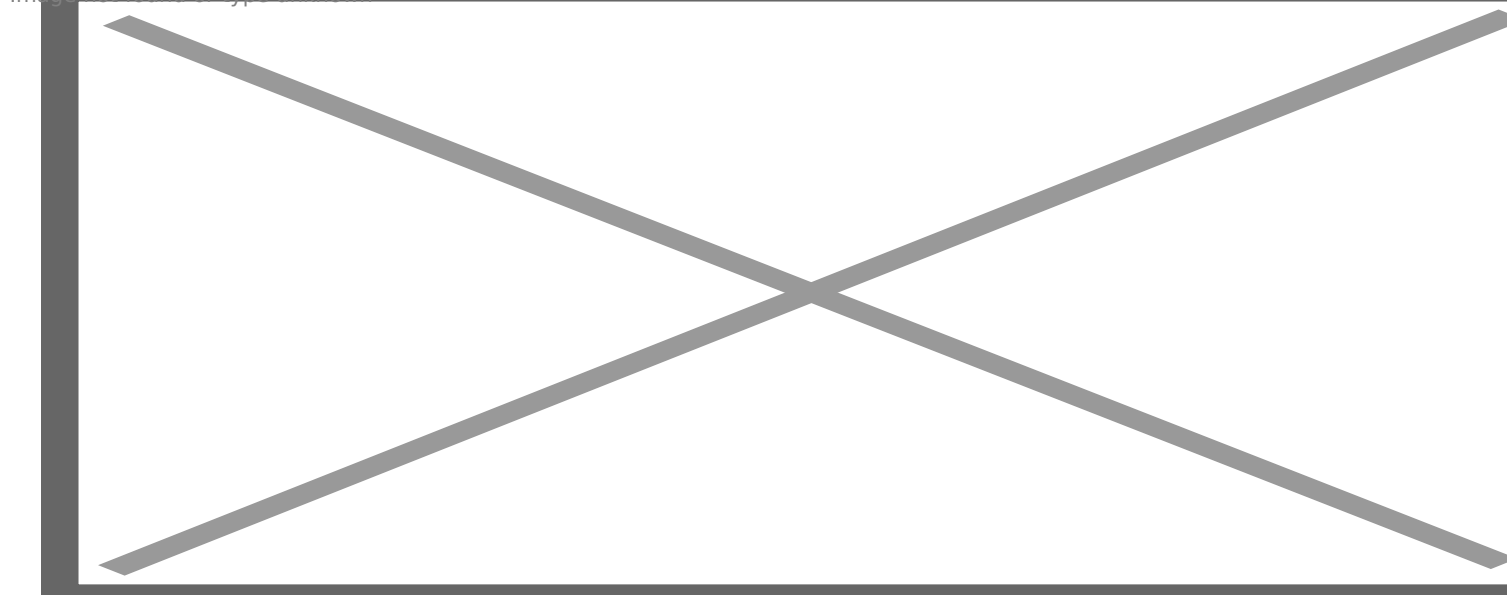
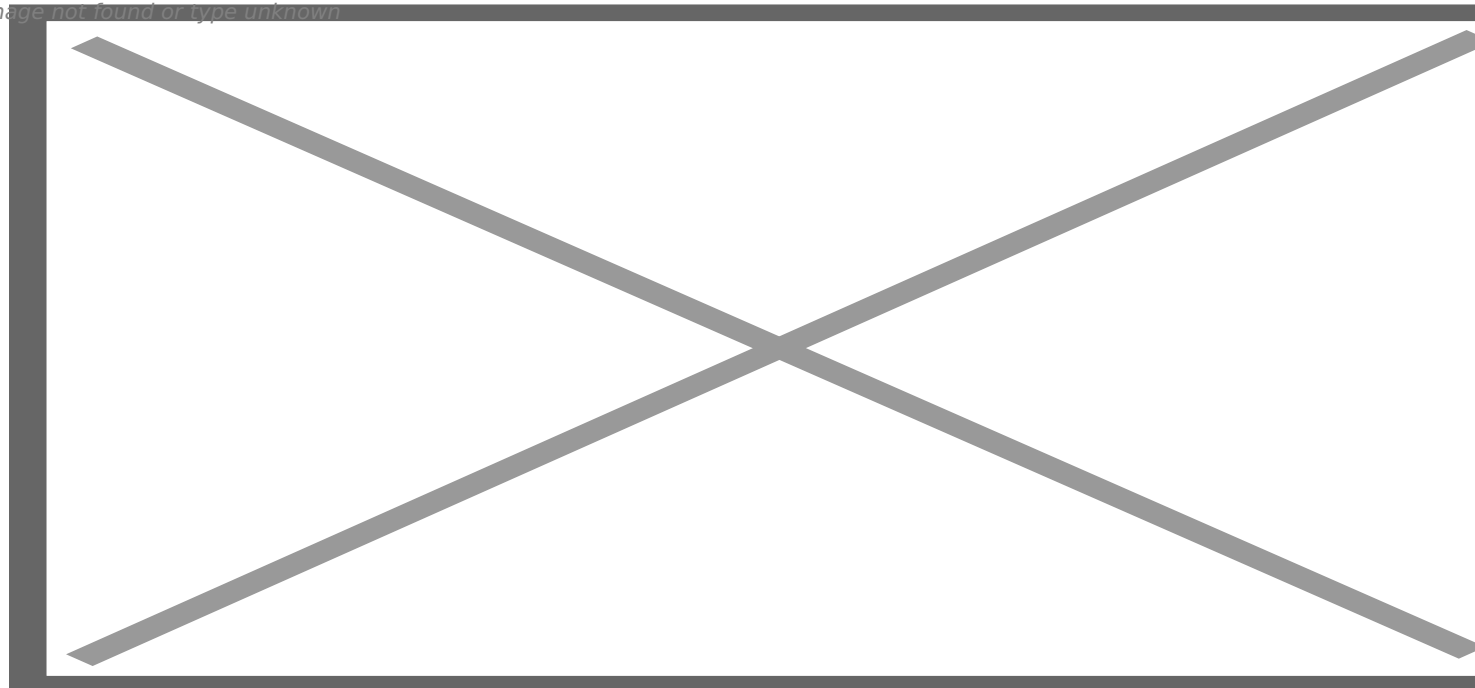


Рис. 2 – Общее содержание цинка в черноземе обыкновенном, мг/кг

Сельскохозяйственное использование существенно изменяет процессы трансформации цинка в почве исследуемых агроценозов, что подтверждается результатами дисперсионного анализа (рис.3).

Image not found or type unknown



а)

б)

Рис. 3 - Результаты дисперсионного анализа валового содержания цинка в черноземе обыкновенном: а) 2020 г., б) 2021 г.

Коэффициент вариации общего содержания цинка в исследуемых производственных посевах колеблется от 8,0 до 15,0 % , что характеризует низкий и средний уровень пространственной изменчивости данного биомикроэлемента в агроценозах озимой пшеницы (табл. 1). Это обусловлено, вероятно, варьированием агрохимических свойств почвы, особенностями севооборотов на исследуемых полях, количеством и видом применяемых минеральных удобрений.

Таблица 1 - Описательная статистика общего содержания цинка за 2020-2021 гг.

Переменная	Описательные статистики				
	Среднее	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Zn 2020	91,57	65,43	106,0	13,36	14,59
Zn 2021	80,78	62,40	92,8	6,71	8,31

В среднем за годы исследований общее содержание цинка в производственных посевах озимой пшеницы достигает уровня целинного участка. А длительное использование технологии No-Till способствует повышению данного биомикроэлемента (рис.4). Максимальное накопление цинка выявлено при 9- и 11-летнем применении технологии No-till – 87,5 и 85,8 мг/кг соответственно, что составляет 16,0 и 13,0 % по сравнению с целиной.

Image not found or type unknown

Рис. 4 – Содержание цинка в черноземе обыкновенном при различных агротехнологиях в сравнении с целиной, % (содержание цинка на целине – 100,0%)

Анализ изменения общего содержания цинка в почве после внедрения ресурсосберегающих агротехнологий в сравнении с традиционной показал, что применение No-Till в течение 2 лет практически не влияет на содержание этого биомикроэлемента, его количество остается на уровне традиционной технологии (рис.5). Незначительное повышение (7,0 %) общего содержания цинка выявлено при использовании минимальной технологии. Многолетнее применение технологии No-till (9–11 лет) увеличивает общее содержание цинка в почве по сравнению с традиционной на 15,0 %.

Image not found or type unknown

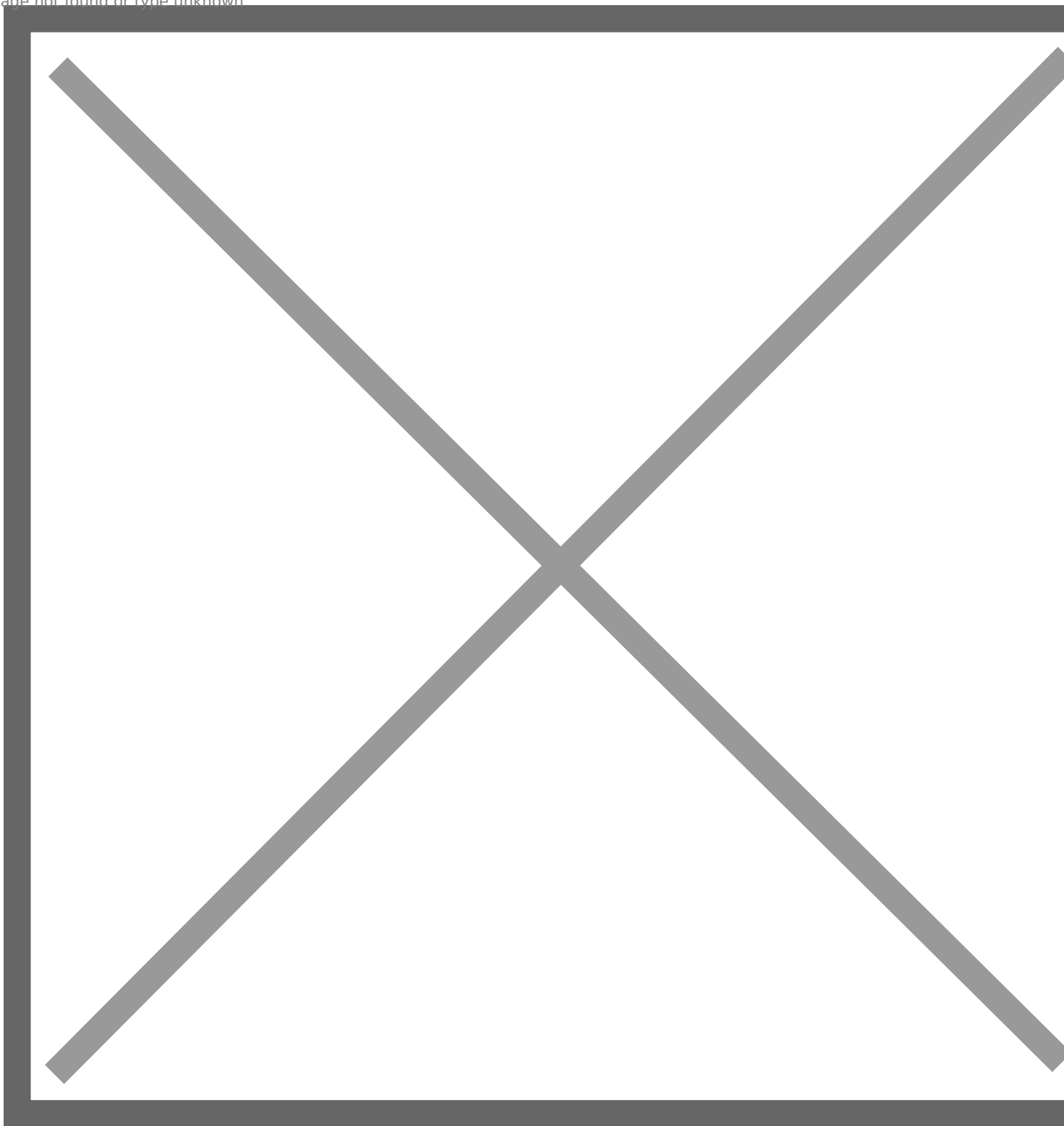


Image not found or type unknown

Рис. 5 - Содержание цинка в черноземе обыкновенном при ресурсосберегающих технологиях в сравнении с традиционной, % (содержание цинка при традиционной технологии - 100,0%)

Увеличение общего содержания цинка при использовании ресурсосберегающих технологий возможно связано с повышением в почве органического вещества, что ранее установлено в исследованиях А. М. Медведевой с соавторами (2018). Органическое вещество является одним из основных компонентом почвы, влияющим на накопление микроэлементов (Бауэр и др., 2015; Протасова, Горбунова, Беляев, 2015; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). В черноземе обыкновенном карбонатном выявлена прямая средняя зависимость общего содержания Zn ($r = 0,6$) от содержания гумуса (Medvedeva et al., 2022).

Поскольку Zn имеет атомную массу > 40 , к этому элементу применим термин «тяжелые металлы». Согласно ГОСТ 17.4.02.-83, цинк относится к 1 классу токсичности и является высоко опасным элементом. Повышенное содержание цинка в почвах, так же, как и его дефицит, негативно отражается на метаболизме растений. При этом задерживаются рост и развитие растений, ускоряется физиологическое старение растений, понижается содержание хлорофилла, подавляется скорость протекания фотосинтеза, возникают симптомы хлороза молодых листьев (Минеев, 2017). Поэтому нами проведена экотоксикологическая оценка чернозема обыкновенного в агроценозах озимой пшеницы с использованием ПДК (Предельно допустимые концентрации..., 2006). Несмотря на некоторые увеличения содержания валового цинка в исследуемых производственных посевах, превышение ПДК не обнаружены. Максимальное повышение валового цинка при использовании технологии No-Till (9-11 лет) достигает 86,0-87,0 % от ПДК (рис.6).

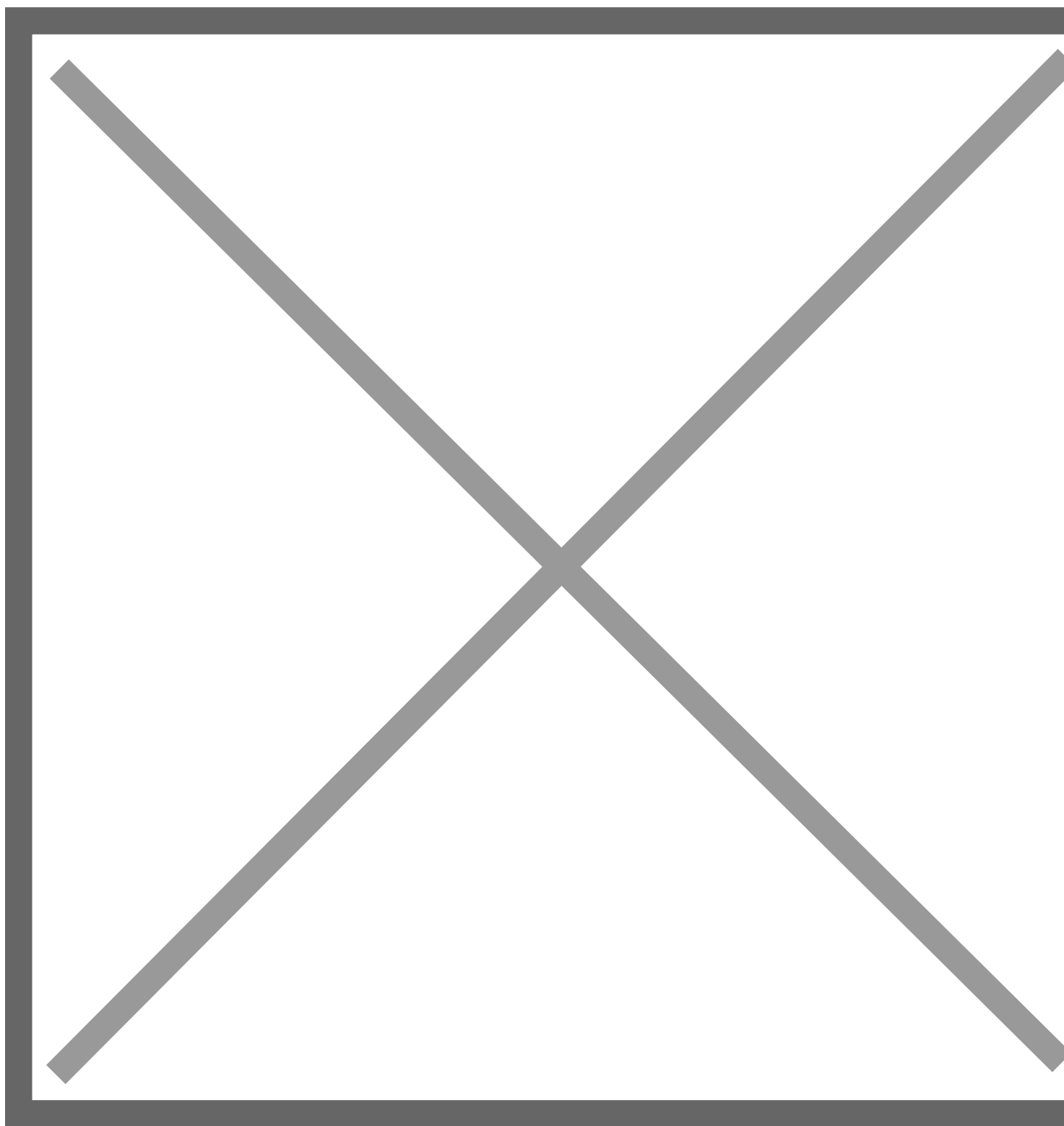


Image not found or type unknown

Рис. 6 - Доля общего содержания цинка в черноземе обыкновенном от ПДК, %

Данные, представленные на рисунке 7, свидетельствуют о том, что черноземы обыкновенные карбонатные исследуемых производственных посевов и целинного участка характеризуются низким содержанием подвижного цинка (Методические указания..., 2003). Полученные результаты подтверждаются данными агрохимического мониторинга области (Экологический вестник Дона, 2020).

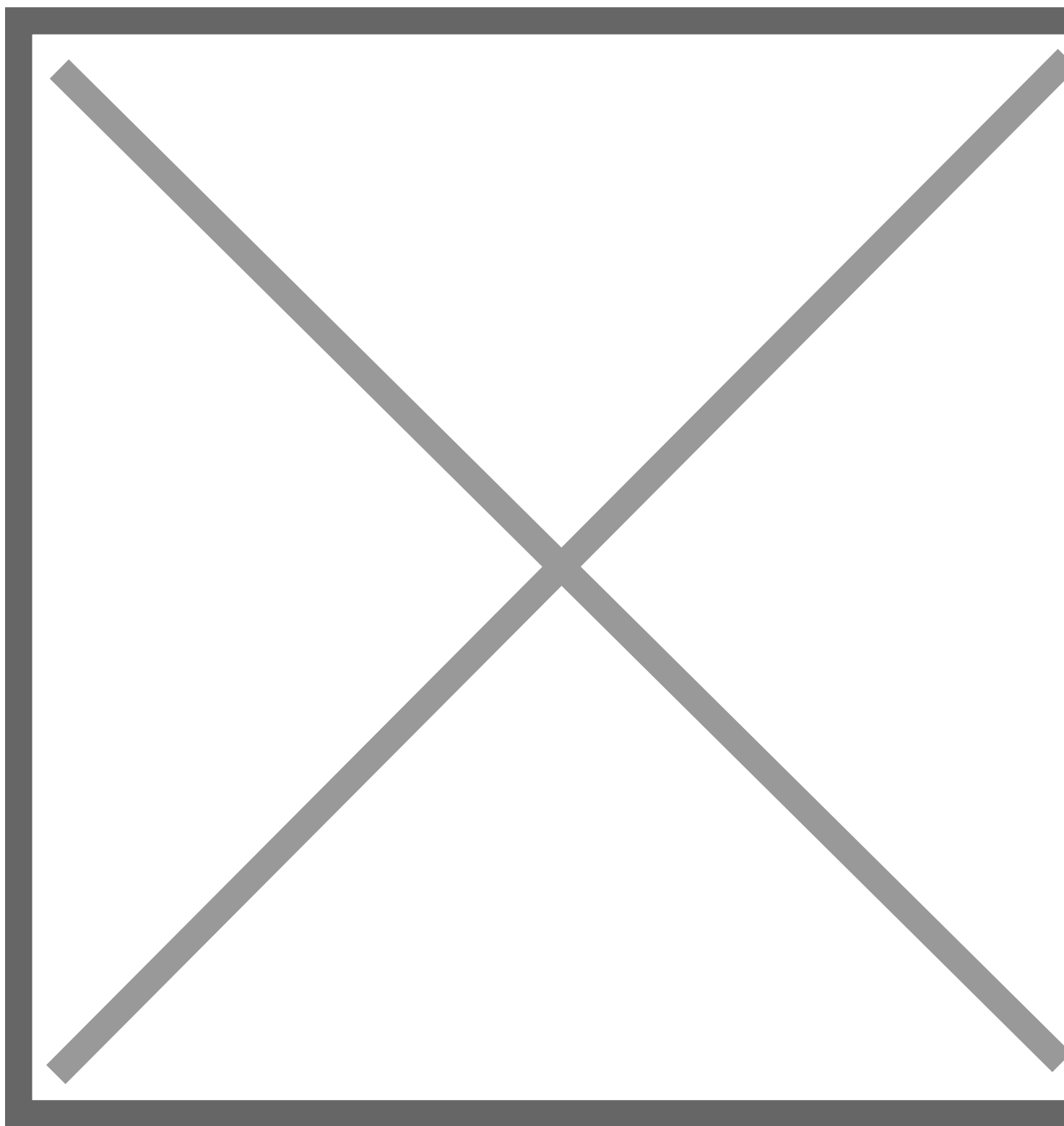


Image not found or type unknown

Рис. 7 – Содержание подвижных форм цинка в черноземе обыкновенном при различных агротехнологиях, мг/кг

Низкая обеспеченность почв подвижными формами микроэлементов – один из негативных факторов, отрицательно влияющих на урожайность и качество продукции сельскохозяйственных культур. Указанная проблема актуальна для многих регионов России. Среди причин низкой обеспеченности пахотных почв подвижными соединениями меди, цинком, кобальтом и молибденом С. В. Лукин (2015) выделяет их отрицательный баланс в агроценозах, вызванный недостаточным уровнем использования минеральных и органических удобрений на протяжении последних 25 лет.

Нами установлена значительная неоднородность в распределении подвижного цинка в почве изучаемых агроценозов. Коэффициент вариации высокий, достигает 41,0 % (табл. 2).

Таблица 2 – Описательная статистика подвижных форм цинка за 2020-2021г

Переменная	Описательные статистики				
	Среднее	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Zn 2020	0,72	0,38	1,26	0,25	35,2
Zn 2021	0,65	0,14	1,37	0,27	41,0

В ходе исследований выявлено, что содержание подвижных соединений цинка в почве как при использовании традиционной технологии, так и при применении ресурсосберегающей минимальной технологии составляет всего 60,0% от уровня целинной почвы (рис.8). Очевидно, это является следствием выноса с урожаем сельскохозяйственных культур этого биофильного элемента на фоне низкого уровня применения цинковых удобрений. Краткосрочное использование технологии No-till (2 года) не позволяет увеличить содержание подвижного цинка в черноземе обыкновенном карбонатном. Многолетнее применение данной технологии (9 и 11 лет) с использованием минеральных удобрений, химических и биологических средств интенсивного ухода за культурами,

повышает содержание подвижного цинка, но степень обеспеченности осталась прежней. Дисперсионный анализ подтвердил существенные изменения содержания подвижного цинка при различных агротехнологиях (рис. 9).

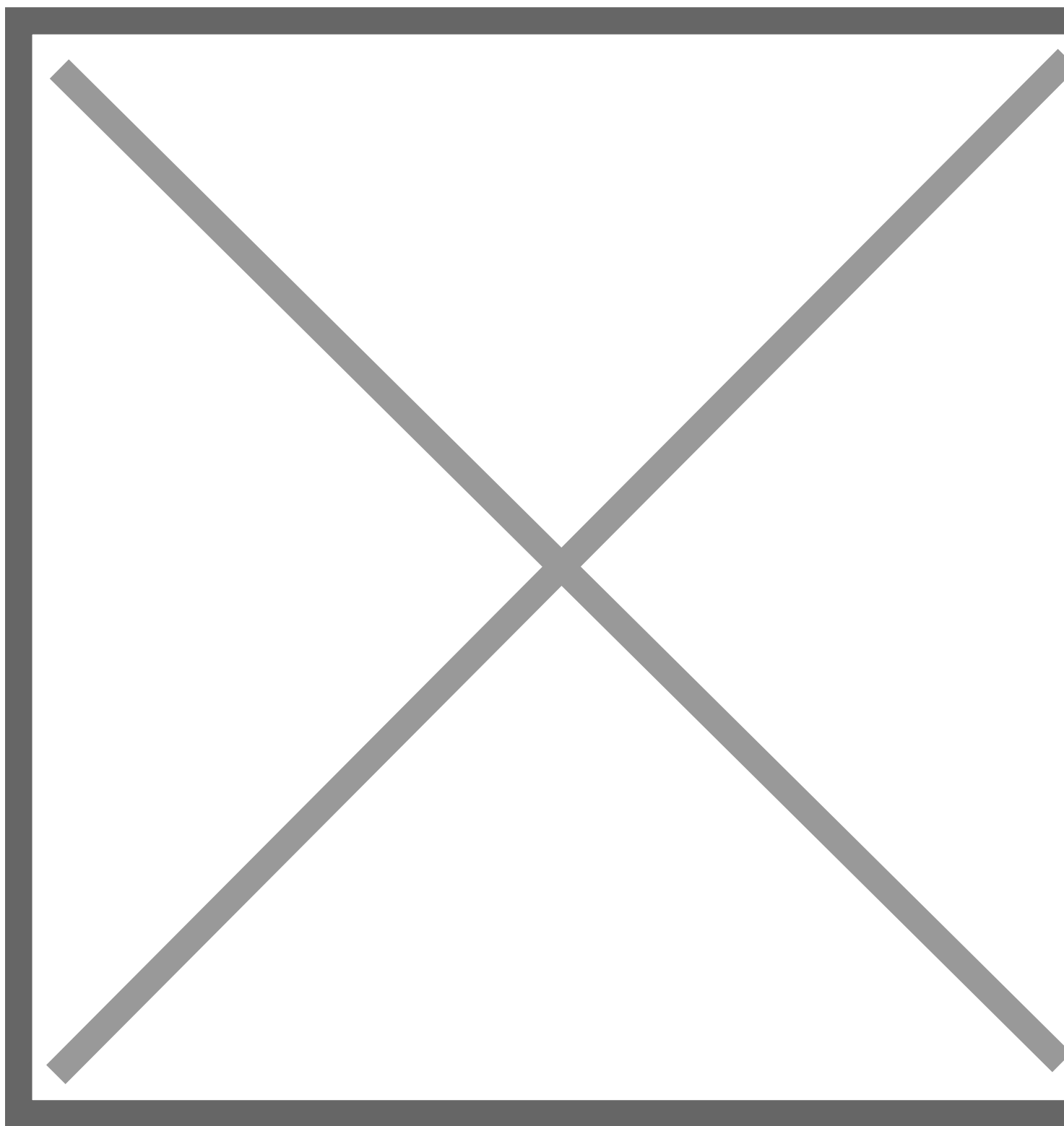


Image not found or type unknown

Рис. 8 - Содержание подвижного цинка в черноземе обыкновенном при различных агротехнологиях в сравнении с целиной, % (содержание цинка на целине - 100,0%)

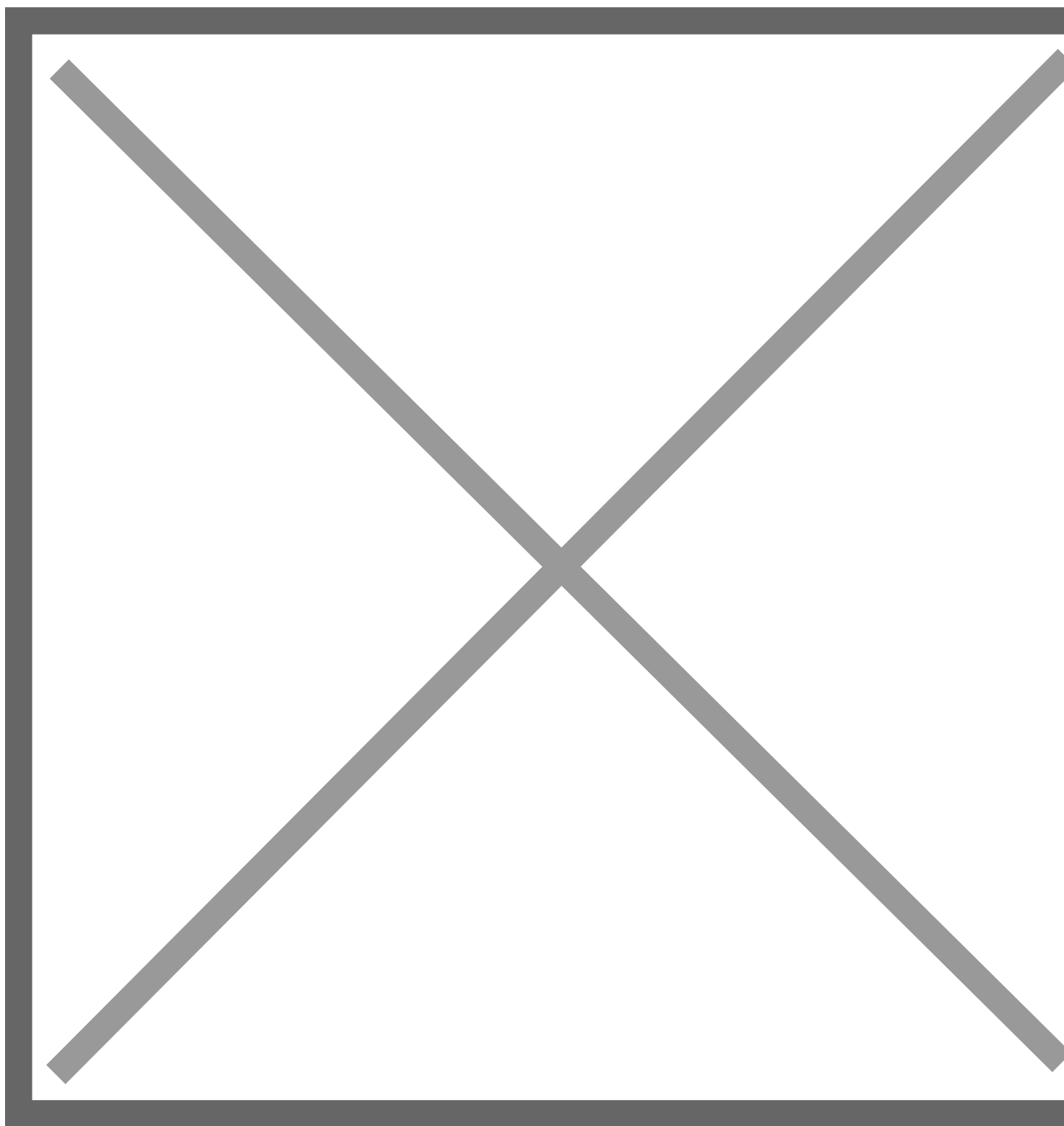
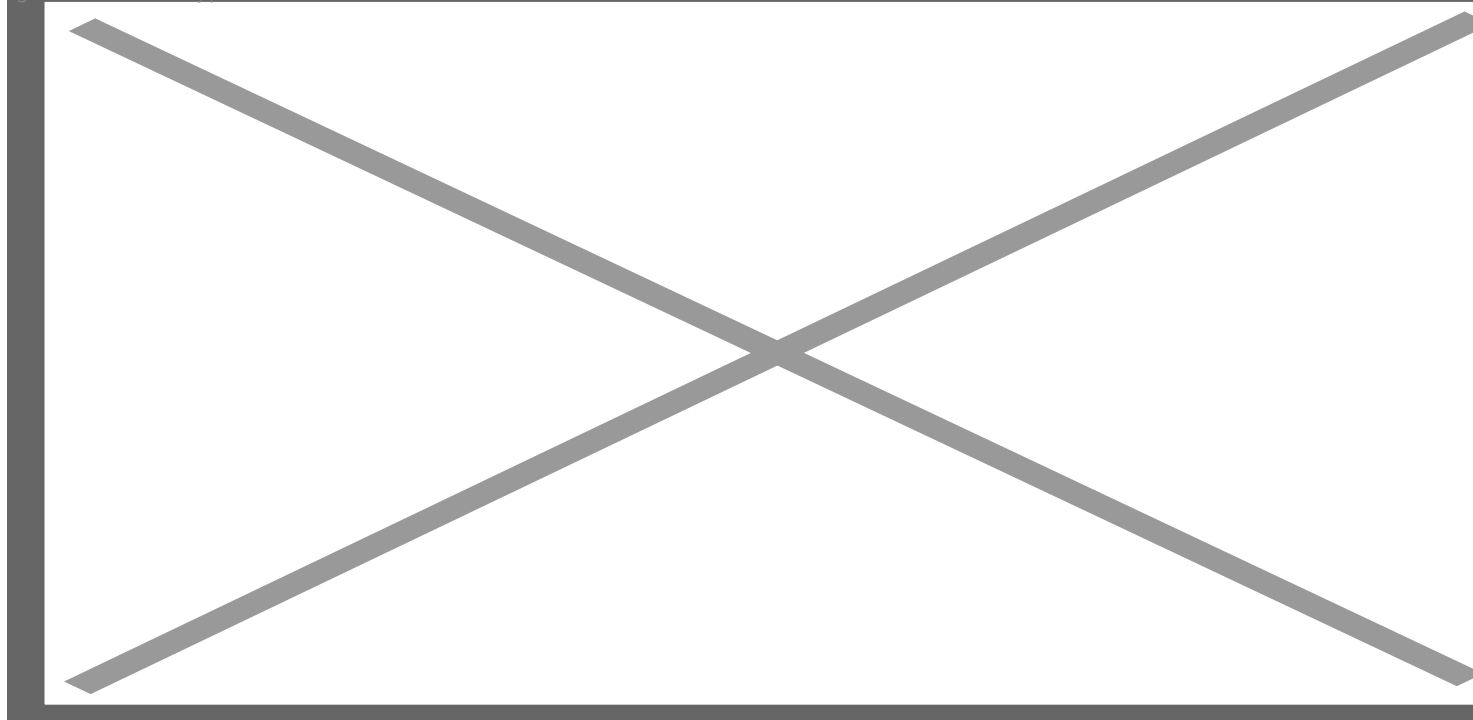


Image not found or type unknown



а)

б)

Рис.9 – Результаты дисперсионного анализа содержания подвижного цинка в черноземе обыкновенном: а) 2020 г., б) 2021 г

Согласно полученным данным, доля подвижного цинка от валового на целинном участке и на всех исследуемых производственных посевах составляет в среднем 1,0 %, что свидетельствует о низкой биодоступности этого биомикроэлемента (рис.10). Это обусловлено генетическими свойствами почвы. Повышенная гумусированность, карбонатность, слабощелочная реакция среды, тяжелый гранулометрический состав чернозема обыкновенного карбонатного снижает подвижность цинка. Уровень общего содержания цинка в этих почвах на 80–89% обеспечивается прочносвязанными соединениями, связанными с органическим веществом, железистыми и глинистыми минералами (Минкина и др., 2009).

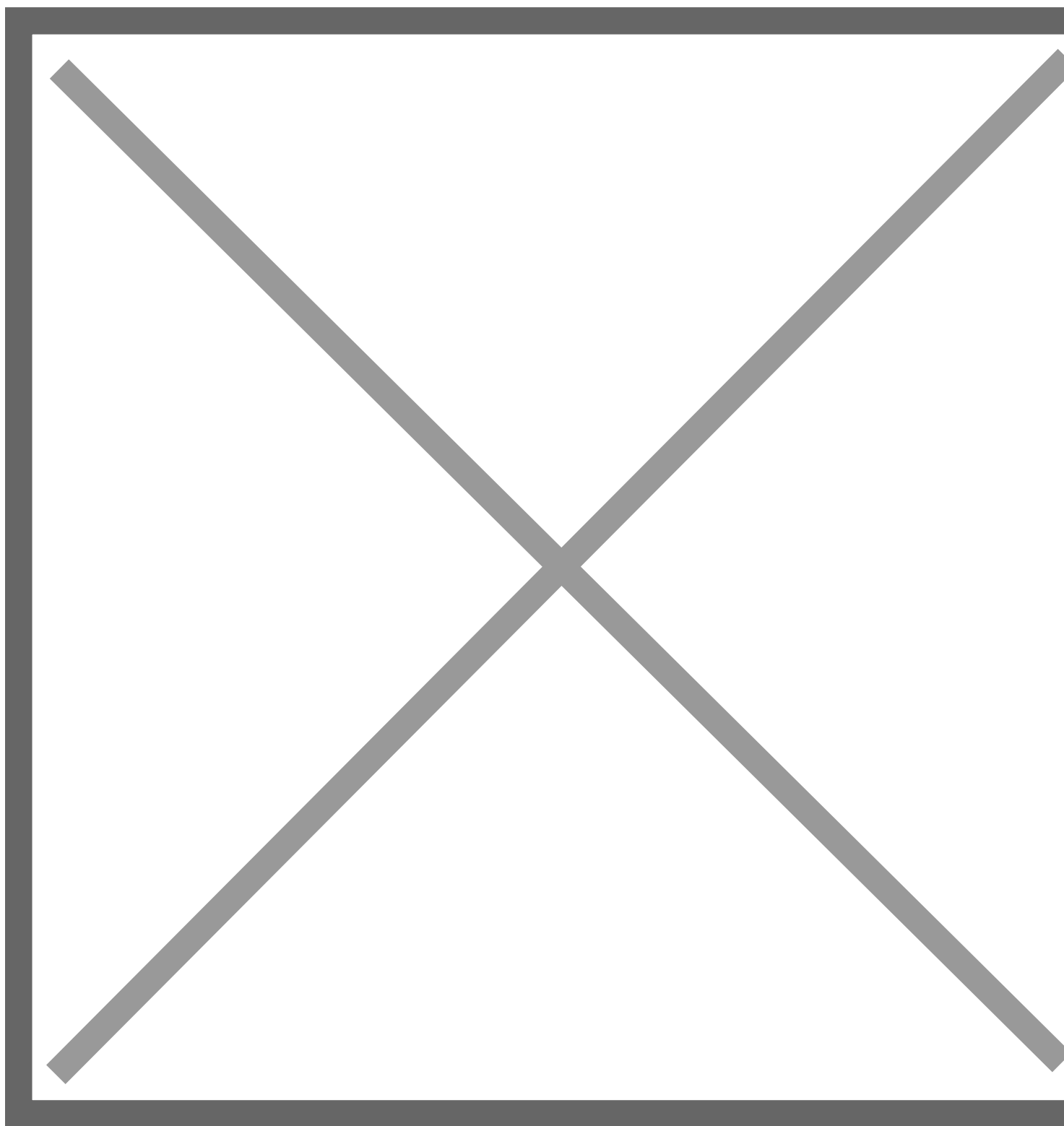


Image not found or type unknown

Рис. 10 - Доля подвижного цинка в черноземе обыкновенном от общего содержания, %

Для нормирования подвижных форм цинка в почвах установлена ПДК в 23,0 мг/кг. Исследования показали, что как на целинном участке, так и на всех исследуемых посевах превышения ПДК не было. Доля подвижного цинка от ПДК низкая и колеблется от 2,0 до 5,0% (рис.11).

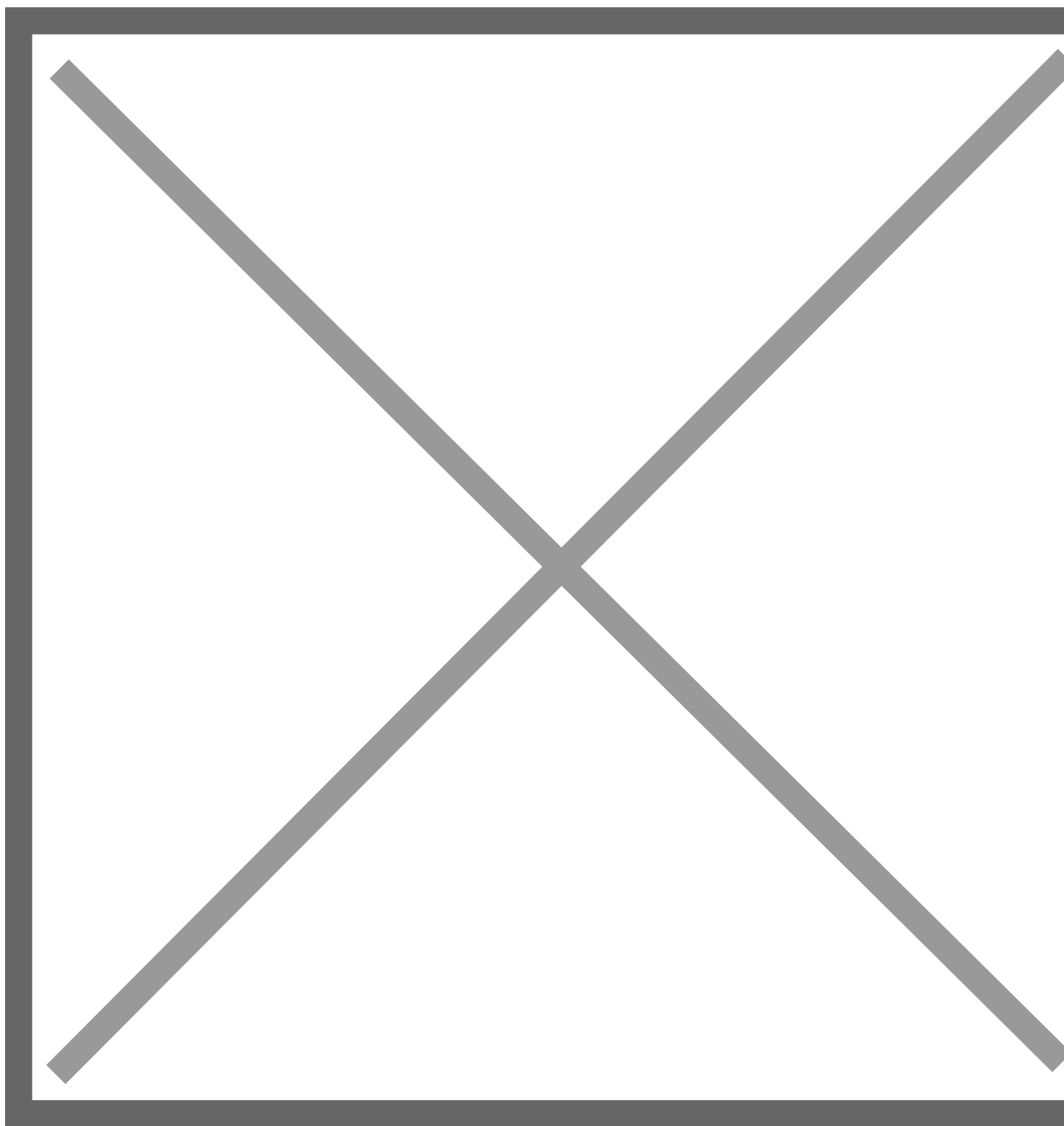


Image not found or type unknown

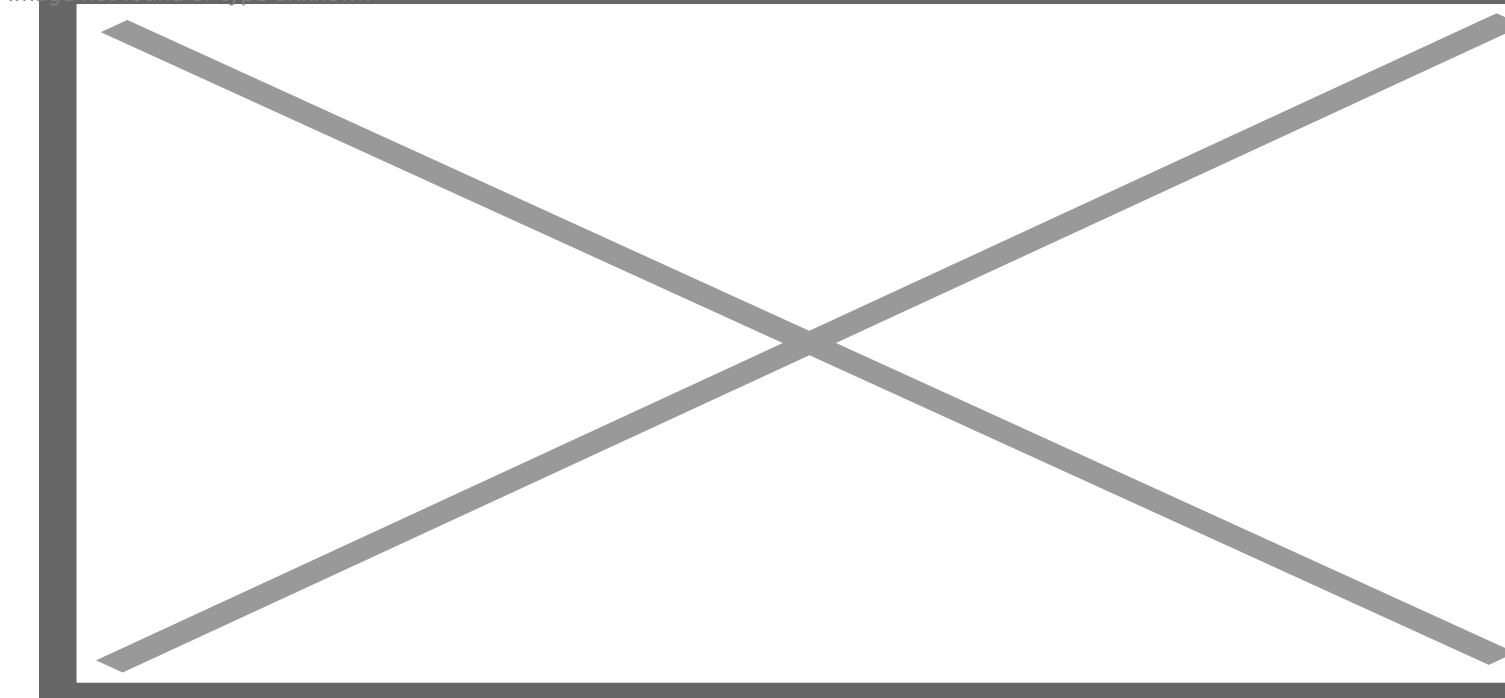


Рис. 11 – Доля содержания подвижных форм цинка в черноземе обыкновенном при различных агротехнологиях от ПДК, %

Выводы

1. Установлено, что содержание валового цинка в черноземе обыкновенном исследуемых агроценозов озимой пшеницы достаточно высокое (76,2 мг/кг), а подвижных соединений биомикроэлемента – низкое (<2,0 мг/кг), что является региональной особенностью данных почв.
2. Общее содержание цинка в посевах озимой пшеницы при использовании различных агротехнологий находится в основном на уровне целинного участка. Только многолетнее использование технологии No-Till (9 и 11 лет) способствует повышению данного биомикроэлемента на 15,0 % по сравнению с целиной и с традиционной технологией, основанной на отвальной вспашке.
3. Многолетнее применение технологии No-till повышает и содержание подвижного цинка до уровня целинного участка, но степень обеспеченности осталась низкой. Вероятно, это является следствием интенсивного выноса растениями элемента на фоне низкого уровня применения цинковых удобрений.
4. Биодоступность цинка в черноземах обыкновенных карбонатных при использовании различных агротехнологий низкая. Доля подвижных соединений этого биофильного элемента от валовых форм составляет в среднем всего 1,0%, что свидетельствует о необходимости применения минеральных удобрений, содержащих цинк.
5. Экотоксикологическая оценка показала, что содержание как валового, так и подвижного цинка в черноземе обыкновенном карбонатном при использовании традиционной и ресурсосберегающих технологий не превышает ПДК этого элемента, следовательно не может привести к накоплению в сельскохозяйственных растениях.

Работа выполнена при поддержке проекта Министерства науки и высшего образования РФ по поддержке молодежной лаборатории “Агробиотехнологии для повышения плодородия почв и качества сельскохозяйственной продукции” в рамках программы развития межрегионального научно-образовательного центра Юга России, №ЛабНОЦ-21-01АБ

Список литературы

1. Бауэр Т. В., Минкина Т. М., Манджиева С. С., Чаплыгин В. А., Невидомская Д. Г., Сушкова С.Н. Фоновое содержание и состав соединений цинка, меди и свинца в черноземе обыкновенном естественных ландшафтов Ростовской области // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, 2015. №4(20). – С. 186-199.
2. Безуглова О. С., Хырхырова М. М., Почвы Ростовской области: учебное пособие. – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2008. – 352 с.
3. Бирюкова О. А., Ельников И.И., Крыщенко В.С. Оперативная диагностика питания растений. Ростов/Д: Изд-во ЮФУ. 2010. – 168 с.
4. Дридигер В. К., Иванов А. Л., Белобров В. П., Кутюва О.Л. Восстановление свойств почв в технологии прямого посева. Почвоведение, 2020. №9. – С. 1111-1120.
5. 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.
6. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
7. Кирюшин В. И. Научно-инновационное обеспечение приоритетов развития сельского хозяйства // Достижения науки и техники АПК, 2019. Т. 33. № 3. – С. 5-10.
8. Кирюшин В. И. Минимизация обработки почвы: перспективы и противоречия // Земледелие, 2006. № 5. – С. 12-14.
9. Лукин С. В. Микроэлементы в почвах ЦЧО // Земледелие, 2015. №5. – С. 26-28.
10. Медведева А. М., Бирюкова О. А., Ильченко Я. И., Кучеренко А. В., Кучменко Е. В. Содержание и запас гумуса в черноземе обыкновенном при использовании различных систем основной обработки // Успехи современного естествознания, 2018. № 1. – С. 29-34.
11. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. – 61 с.
12. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – 240 с.
13. Минеев В. Г. Агрехимия: учебное пособие / под ред. В. Г. Минеева. М.: ВНИИА им. Д.Н.Прянишникова, 2017. – 854 с.
14. Минкина Т. М., Мотузова Г. В., Назаренко О. Г. Состав соединений тяжелых металлов в почвах. Ростов-на-Дону: Изд-во «Эверест», 2009. – 208 с.
15. 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-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. – 140 с.
16. Побилат А.Е., Волошин Е. И. Цинк в системе «Почва – Растение – Человек» в условиях средней Сибири. Красноярский ГАУ, 2016. – С. 39-43.
17. Практикум по агрохимии: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп./ Под ред. академика РАСХН В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. – С. 240-245.
18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 15 с.
19. Протасова Н. А., Горбунова Н. С., Беляев А. Б., Биогеохимия микроэлементов в обыкновенных черноземах Воронежской области // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация, 2015. №4. – С. 100-106.
20. 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.
21. Шеуджен А.Х. Агробиогеохимия. Краснодар: КубГАУ, 2010. – С. 446-460.
22. Экологический вестник Дона / под общей редакцией М. В. Фишкина. Ростов-на-Дону, 2020. – С. 172-174.
23. 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. – С. 351-358.
24. Anna M. Medvedeva. Olga A. Biryukova. Alexey V. Kucherenko. Yaroslav I. Ilchenko. Tatiana M. Minkina. Saglara S. Mandzhieva. Mahmoud Mazarji. The effect of resource-saving tillage technologies on the mobility, distribution and migration of trace elements in soil // Environ Geochem Health, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01193-6>
25. 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. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2015.186.196>

References

1. Bauer T. V., Minkina T. M., Mandzhieva S. S., Chaplygin V. A., Nevidomskaya D. G., Sushkova S.N. Fonovoe sodержanie i sostav soedinenij cinka, medi i svinca v chernozeme obyknovennom estestvennyh landshaftov Rostovskoj oblasti // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem meliorcii, 2015. №4(20). – S. 186-199.

2. Bezuglova O. S., Hyrhyrova M. M., Pochvy Rostovskoj oblasti: uchebnoe posobie. – Rostov n/D: Izd-vo YUFU, 2008. – 352 s.
3. Biryukova O. A., El'nikov I.I., Kryshchenko V.S. Operativnaya diagnostika pitaniya rastenij. Rostov/D: Izd-vo YUFU. 2010. – 168 s.
4. Dinamika pokazatelej pochvennogo plodorodiya pri vozdeleyvanii sel'skohozyajstvennyh kul'tur po tekhnologii No-till v usloviyah Stavropol'skogo kraja / A. N. Esaulko, S. A. Korostylev, M. S. Sigida i dr.// Agrohimičeskij vestnik, 2018. № 4. – S. 58–62.
5. Dridiger V. K., Ivanov A. L., Belobrov V. P., Kutovaya O.L. Vosstanovlenie svojstv pochv v tekhnologii pryamogo poseva. Pochvovedenie. 2020; 9: 1111–1120.
6. Kabata-Pendias A., Pendias H. Mikroelementy v pochvah i rasteniyah: Per. s angl. M.: Mir, 1989. – 439 s.
7. Kiryushin V. I. Nauchno-innovacionnoe obespechenie prioritetov razvitiya sel'skogo hozyajstva // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2019. T. 33. № 3. S. 5–10.
8. Kiryushin V. I. Minimizaciya obrabotki pochvy: perspektivy i protivorechiya// Zemledelie, 2006. № 5. – S. 12–14.
9. Lukin S. V. Mikroelementy v pochvah CCHO // Zemledelie, 2015. №5. – S. 26–28.
10. Medvedeva A. M., Biryukova O. A., Il'chenko YA. I., Kucherenko A. V., Kuchmenko E. V. Soderzhanie i zapas gumusa v chernozeme obyknovennom pri ispol'zovanii razlichnyh sistem osnovnoj obrabotki // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya, 2018. № 1. – S. 29–34.
11. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu tyazhelyh metallov v pochvah sel'hozogodij i produkcii rastenievodstva. M.: CINAO, 1992. – 61 s.
12. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo monitoringa plodorodiya pochv zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya. M.: FGNU «Rosinformagrotekh», 2003. – 240 s.
13. Mineev V. G. Agrohimiya: uchebnoe posobie / pod red. V.G.Mineeva. M.: VNIIA im. D.N.Pryanishnikova, 2017. – 854 s.
14. Minkina T. M., Motuzova G. V., Nazarenko O. G. Sostav soedinenij tyazhelyh metallov v pochvah. Rostov-na-Donu: Izd-vo «Everest», 2009. – 208 s.
15. Mokrikov G.V., Kazeev K.SH., Akimenko YU. V., Myasnikova M.A., Kolesnikov S.I Vliyanie tekhnologii No-Till na ekologo-biologicheskoe sostoyanie pochv. Rostov-na-Donu; Taganrog: Izdatel'stvo YUzhnogo federal'nogo universiteta, 2017. – 140 s.
16. Pobilat A.E., Voloshin E. I. Cink v sisteme «Pochva – Rastenie – Chelovek» v usloviyah srednej Sibiri. Krasnoyarskij GAU. 2016. – S. 39–43.
17. Praktikum po agrohimii: Ucheb. posobie. – 2-e izd., pererab. i dop. / Pod red. akademika RASHN V.G. Mineeva. M.: Izd-vo MGU, 2001. – S. 240–245.
18. Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) himicheskikh veshchestv v pochve: Gigienicheskie normativy. – M.: Federal'nyj centr gigieny i epidemiologii Rospotrebnadzora, 2006. – 15 s.
19. Protasova N. A., Gorbunova N. S., Belyaev A. B., Biogeohimiya mikroelementov v obyknovennyh chernozemah Voronezhskoj oblasti // Vestnik VGU. Seriya: Himiya. Biologiya, Farmaciya, 2015. №4. – S. 100–106.
20. Chekaev N. P., Kochmina E. O. Izmenenie agrohimičeskikh pokazatelej chernozema vyshchelochennogo i urozhajnost' sel'skohozyajstvennyh kul'tur v usloviyah pryamogo poseva // Niva Povolzh'ya, 2018. № 1 (46). – S. 91–96.
21. Sheudzhen A.H. Agrobiogeohimiya. Krasnodar: KubGAU, 2010. – S. 446–460.
22. Ekologičeskij vestnik Dona / pod obshchej redakciej M. V. Fishkina. Rostov-na-Donu, 2020. – S. 172–174.
23. 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. – C. 351–358.
24. Anna M. Medvedeva. Olga A. Biryukova. Alexey V. Kucherenko. Yaroslav I. Ilchenko. Tatiana M. Minkina. Saglara S. Mandzhieva. Mahmoud Mazarji The effect of resource-saving tillage technologies on the mobility, distribution and migration of trace elements in soil // Environ Geochem Health, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01193-6>
25. 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). – C. 186–196. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2015.186.196>