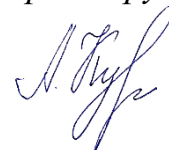


Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*На правах рукописи*



**КУЧЕРЕНКО АЛЕКСЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ**

**СОДЕРЖАНИЕ И ПОДВИЖНОСТЬ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЧЕРНОЗЁМЕ  
ЮЖНОМ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ВИНОГРАДА И ЧЕРЕШНИ  
В РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

1.5.19. Почвоведение (биологические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
**кандидата** биологических наук

Работа выполнена на кафедре почвоведения и оценки земельных ресурсов  
Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского  
Южного Федерального Университета

**Научный руководитель:** **Бирюкова Ольга Александровна,**  
доктор сельскохозяйственных наук, доцент,  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Южный федеральный университет», Академия  
биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского,  
кафедра почвоведения и оценки земельных  
ресурсов, профессор.

**Официальные оппоненты:** **Онищенко Людмила Михайловна,**  
доктор сельскохозяйственных наук, профессор  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Кубанский государственный  
аграрный университет имени И.Т. Трубилина»,  
кафедра агрохимии, профессор;

**Назаренко Ольга Георгиевна,**  
доктор биологических наук, профессор, Ростовский  
филиал Федерального государственное бюджетное  
учреждение «Агрохимическая служба России»,  
директор.

Защита диссертации состоится 29 сентября 2025 г. в 15:30 часов на заседании диссертационного совета ЮФУ801.01.13 по биологическим наукам на базе Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки 194/1, каб. 712

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке им. Ю.А. Жданова Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге, 21Ж и на сайте Южного федерального университета <https://hub.sfedu.ru/diss/show/1346044/>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г.

Отзыв на автореферат в 2-х экз. (с указанием даты, полностью ФИО, учёной степени со специальностью, звания, организации, подразделения, должности, адреса, телефона, e-mail), заверенный печатью организации, просим направлять по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/1, к. 707, ученому секретарю диссертационного совета ЮФУ801.01.13 Бурачевской М.В., а также в формате .pdf на e-mail: mburachevskaya@sfedu.ru.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Бурачевская Марина Викторовна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Чернозёмные почвы являются одними из наиболее плодородных и широко распространённых в мире. Они обладают высоким содержанием гумуса, благоприятными водно-воздушными свойствами и хорошей структурой. Однако интенсивное использование чернозёмов в сельском хозяйстве зачастую приводит к их деградации и снижению показателей плодородия (Лукин, Четверикова, 2015; Черников и др., 2015; Шеуджен, 2018; Жуйков, 2021).

Создание высокопродуктивных, ресурсоэнергоёмких и экологически устойчивых ампелоценозов и садовых агроценозов требует учёта всех почвенных характеристик. Общепринятыми критериями для оценки пригодности почвы для виноградников и садов являются: гранулометрический состав, физическое состояние, реакция среды (рН), содержание солей, солонцеватость, глубина залегания грунтовых вод (Черников, 2015; Роева, 2018; Surányi, 2022; Tello et al., 2023). В совокупности с этими важными факторами возрастает необходимость изучения микроэлементного состава, играющего важную роль в регуляции биологических процессов растения, а также в формировании высокой и стабильной урожайности (Даду, Григель, 2018; Роева, 2018; Битюцкий, 2020). Возделывание плодово-ягодных культур в Ростовской области имеет огромное значение для региональной экономики и продовольственной безопасности. Виноград и черешня являются ценными культурами в агропромышленном комплексе, поскольку они отличаются высокими урожаями при многолетней периодичности плодоношения. Их ценность обуславливается богатым составом полезных витаминов (виноград - А, С, К и В6; черешня - С, А, В1, В2, Е, РР), микроэлементов, пектиновых веществ, а также содержанием флавоноидов, оказывающих антиоксидантное действие на организм человека. По данным Федеральной службы государственной статистики урожай фруктов и ягод на Дону в 2023 году вырос на 15 %, по сравнению с аналогичным периодом 2022 года (<https://rosstat.gov.ru/>). В условиях возрастающей антропогенной нагрузки и необходимости обеспечения продовольственной безопасности, оценка запасов микроэлементов, их подвижности в почвах приобретает особую актуальность.

**Цель работы** – изучить содержание и подвижность микроэлементов в черноземе южном при выращивании винограда и черешни в Ростовской области.

### **Задачи:**

1. Изучить влияние физико-химических свойств на подвижность и внутрипрофильное распределение микроэлементов и железа в черноземе южном при выращивании винограда и черешни.
2. Выявить основные особенности и закономерности внутрипрофильной дифференциации Cu, Mn, Zn, Fe, Ni в черноземе южном различных агроценозов.

3. Изучить групповой состав микроэлементов (Cu, Mn, Zn, Ni) в черноземе южном при сельскохозяйственном использовании.

4. Провести агроэкологическую оценку микроэлементного состава чернозема южного различных агроценозов.

#### **Положения, выносимые на защиту.**

1. Характер внутрипрофильной дифференциации валового содержания и подвижных соединений Cu, Mn, Zn, Fe, Ni отражает генетические особенности чернозёма южного и зависит от распределения в нём содержания гумуса, карбонатов и pH почвенного раствора. На целине и в агроценозах содержание микроэлементов (в различных формах) связано с гумусом, что подтверждает ключевую роль органического вещества в процессах аккумуляции и миграции микроэлементов в черноземе южном. В садовом агроценозе и ампелоценозе в большей степени, чем на целине, проявляется влияние CaCO<sub>3</sub> и pH на подвижность Mn, Zn, Ni.

2. Групповой состав микроэлементов является важным показателем плодородия почв и характеризует интенсивность их сельскохозяйственного использования. Основная часть Cu, Mn, Zn, Ni в черноземе южном целины и различных агроценозов представлена прочносвязанными соединениями. Среди непрочносвязанных наибольшую долю составляют специфически сорбированные. Многолетнее выращивание винограда и черешни в условиях монокультуры приводит к изменению в групповом составе микроэлементов чернозема южного.

3. Расчет запасов микроэлементов в метровом слое (кг/га) позволяет оценить их реальное количество в черноземе южном и особенности изменения при многолетнем выращивании винограда и черешни. На целине интенсивность накопления общего содержания микроэлементов можно расположить в следующий ряд Mn>Zn>Cu>Ni, в агроценозах последовательность иная: Mn>Zn>Ni>Cu. В группе непрочносвязанных форм наибольшие различия установлены по запасам обменных соединений: на целине – Mn>Cu>Ni>Zn, в условиях ампелоценоза – Mn>Zn>Cu>Ni, в садовом агроценозе – Mn>Cu>Zn>Ni.

**Научная новизна исследования.** Впервые был изучен групповой состав микроэлементов (Cu, Mn, Zn, Ni) чернозёма южного при многолетнем выращивании винограда и черешни. На основе полученных данных была дана оценка профильного распределения валового содержания и подвижных соединений микроэлементов, что позволяет комплексно подойти к изучению микроэлементного состава чернозёмов южных в различных агроценозах. Изучены особенности накопления и распределения микроэлементов в зависимости от

свойств почвы и вида культуры, что расширяет возможности диагностики и оптимизации минерального питания сельскохозяйственных культур.

**Теоретическая значимость** работы обусловлена выявлением закономерностей и особенностей изменения микроэлементного состава чернозема южного в различных агроценозах (ампелоценоз, садовый ценоз). Установленные взаимосвязи между физико-химическими свойствами и подвижностью микроэлементов способствуют развитию теоретических основ управления плодородием почв и качеством минерального питания сельскохозяйственных культур. Результаты расширяют понимание механизмов круговорота микроэлементов в агроэкосистемах и их роли в формировании почвенного плодородия.

**Практическая значимость.** Полученные результаты позволяют разработать рекомендации по оптимизации плодородия почв, повышению продуктивности и устойчивости функционирования ампелоценоза и садового агроценоза. Установленные корреляции могут быть использованы для моделирования поведения микроэлементов в черноземах южных при их использовании для формирования ампелоценоза и садового агроценоза. Представленные в работе данные группового состава микроэлементов позволят объективно оценить состояние плодородия почв и разработать экологически безопасные методы земледелия. Информация о валовом содержании и подвижных соединениях микроэлементов в черноземе южном целинного участка может быть использована в качестве актуального фонового значения при оценке экологического состояния антропогенных ландшафтов.

**Личный вклад автора.** Автор принимал личное участие в экспедициях по закладке почвенных разрезов, их описаниях и отборах почвенных проб. Диссертант самостоятельно провел аналитические исследования образцов, отобранных в период 2019–2024 годов. Анализ результатов и статистическая обработка проводилась диссертантом самостоятельно.

**Степень достоверности и апробация результатов.** В ходе проведения изыскательных работ было заложено 37 почвенных разрезов. Надежность выводов диссертации подтверждается использованием обоснованных методик, строгим соблюдением методических указаний и требований ГОСТ при проведении исследований, а также сопоставлением полученных результатов с данными других научных работ. Достоверность результатов подтверждается статистической обработкой при  $p < 0,05$ . Результаты диссертационного исследования были представлены на конференциях различного уровня: Международные научные конференции: XXIII Докучаевские молодежные чтения (Санкт-Петербург, 2020); «Актуальные проблемы экологии и природопользования: партнерство в целях устойчивого развития и экологической безопасности» (Москва, 2021);

«Современные проблемы использования почв и повышения их плодородия» (Беларусь, 2021); «Мониторинг, охрана и восстановление почвенных экосистем в условиях антропогенной нагрузки» (Ростов-на-Дону, 2022); «Агрохимическая наука - синтез академических знаний и практического опыта» (Москва, 2023); «Современное состояние черноземов» (Ростов-на-Дону, 2023); «Ломоносов» (Москва, 2024); «Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия» (Курск, 2024). Всероссийские конференции: «Съезд общества почвоведов им. В.В. Докучаева» (Ростов-на-Дону, 2021); Актуальные вопросы развития отраслей сельского хозяйства: теория и практика (Рассвет, 2023); Никитинские чтения (Москва, 2023).

**Публикации.** По теме диссертационного исследования было опубликовано 2 базы данных, 17 работ, в том числе 1 статья в журнале, входящем в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и Web of Science, 3 статьи опубликовано в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа представлена в объеме 174 страниц и включает в себя введение, 3 главы, выводы, список сокращений и условных обозначений, приложение, 30 таблиц, 41 рисунок, а также список использованной литературы, состоящий из 181 источника, 69 из которых на иностранных языках.

**Соответствие паспорту специальности.** Тема диссертации соответствует паспорту научной специальности 1.5.19. Почвоведение по пункту 8 - «Оценка плодородия почв и мониторинг его состояния. Агрохимические и экологические основы управления почвенным плодородием и оптимизация его параметров».

**Финансовая поддержка исследования.** Исследования выполнены в рамках Проекта Министерства науки и высшего образования РФ по поддержке молодежной лаборатории в рамках межрегионального НОЦ Юга России (FENW-2024-0001) и Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).

**Благодарности.** Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю, д.с.-х.н., профессору О.А. Бирюковой за неоценимую помощь, постоянное внимание и поддержку в ходе выполнения настоящей диссертационной работы. Отдельную благодарность автор выражает сотрудникам кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского ЮФУ. Автор благодарен за совместное сотрудничество и всестороннее содействие генеральному директору ОАО «Янтарное» С.И. Толкуновой.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Представлен обзор отечественной и зарубежной литературы по теме исследования. Обобщены данные о микроэлементах и их роли в почвообразовании. На основе анализа научной литературы описано значение микроэлементов в жизни растений.

### ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования - чернозем южный средне гумусированный среднесплощный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках очень теплой южно-европейской фации. Согласно «Классификации и диагностике почв России» (2004) исследуемый чернозём следует отнести к агрочернозёму текстурно-карбонатному, по Международной реферативной базе почвенных ресурсов (World Research Base) - к Calcic Chernozems.

Исследования проведены на производственных участках ОАО «Янтарное» Мартыновского района, расположенного в юго-восточной части Ростовской области, в центральной орошаемой зоне междуречья Дона и Сала (рис.1). На территории исследуемого хозяйства за 5 лет (2019 – 2024) было заложено 37 полно-профильных разрезов: 16 - под садовым агроценозом, 16 - под виноградником, 4 – фоновая территория (целина), 1 – чистый пар (предшественник: озимая пшеница).

Исследуемая территория характеризуется однородным почвенным покровом, поэтому для репрезентативности отобранных проб на двух производственных участках общей площадью около 58,0 га ( $S_{\text{ампелоценоз}} = 40,17$  га,  $S_{\text{садовый агроценоз}} = 17,7$  га) были выделены элементарные участки, каждый по 4,5 и 10 га соответственно, на которых закладывали почвенные разрезы. Отбор образцов по слоям (0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100 см) проведен согласно ГОСТ Р 58595–2019.

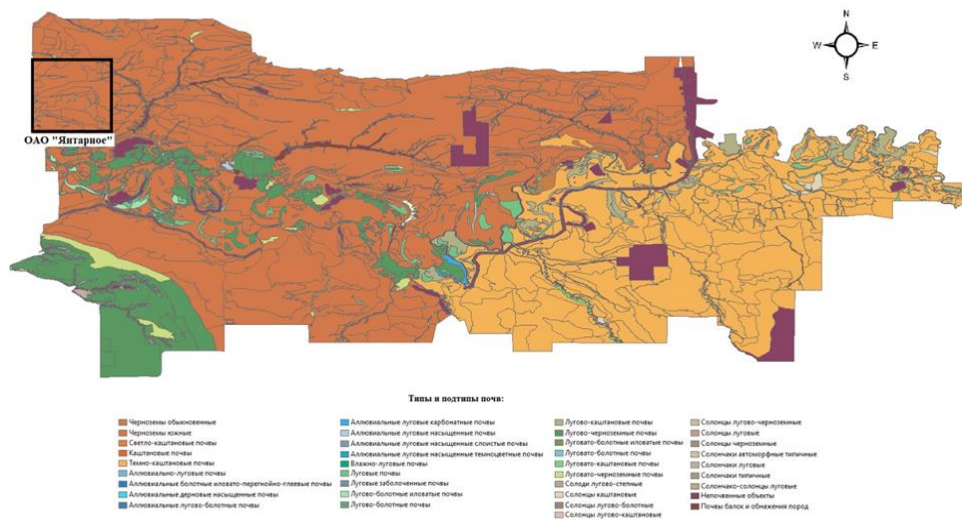


Рисунок 1 – Картосхема почвенного покрова ОАО «Янтарное» Мартыновского района Ростовской области

Общее содержание изучаемых микроэлементов определяли с помощью рентгенофлуоресцентного анализа на приборе «Спектроскан МАКС-GV». Для определения непрочносвязанных соединений Cu, Mn, Zn, Ni в почве использовали метод параллельного экстрагирования: обменные (1н.  $\text{NH}_4\text{Ac}$  pH 4,8 (ААБ), комплексные (1% раствор ЭДТА в  $\text{NH}_4\text{Ac}$  pH 4,8), специфически сорбированные (1н.  $\text{HCl}$ ), с последующим применением атомно-абсорбционной спектрометрии. По разнице между содержанием металлов в вытяжках ЭДТА в ААБ и ААБ рассчитали количество комплексных соединений, специфически сорбированные - по разнице между содержанием микроэлементов в вытяжках  $\text{HCl}$  и ААБ. Микроэлементы в составе прочносвязанных соединений устанавливали по разности между общим (валовым) содержанием в почве и их непрочносвязанными формами (Садовникова, 1997; Минкина и др., 2017). Согласно результатам исследований Р.А. Афанасьева и соавторов (2010), ацетатно-аммонийный буфер может быть использован для определения содержания доступного растениям Fe в почвах. Органическое вещество определяли в соответствии с ГОСТ 26213–2021; pH водной вытяжки – ГОСТ 26423–85; плотность сложения почв – буровым методом; количество карбонатов – объёмным методом (газоволюметрическим); гранулометрический состав – методом пипетки (Вадюнина, Корчагина, 1986; Воробьева и др., 2006).

Для изучения процесса накопления и перемещения микроэлементов по профилю чернозёма южного рассчитывали коэффициент радиальной дифференциации по формуле:  $R = C_{\text{в.с.}}/C_{\text{н.с.}}$ , где  $C_{\text{в.с.}}$  – количество элемента в верхнем слое, мг/кг;  $C_{\text{н.с.}}$  – количество элемента в нижнем слое почвы, мг/кг (Глазовская, 1988; Ковальчик и др., 2017). Степень контрастности радиальной дифференциации определяли по градации, предложенной И.А. Авессаломовой (2012). Если  $R > 1$ : слабая (1–1,5), средняя (1,5–5,0), сильная ( $>5,0$ ); при  $R < 1$  слабая контрастность соответствует значениям 1–0,5, средняя –  $<0,5$ . По соотношению групп соединений металлов почвы дали оценку их подвижности и выразили ее в виде коэффициента подвижности, представляющего собой отношение содержания непрочносвязанной (НС) группы к содержанию прочносвязанной (ПС) группы (Минкина и др., 2008). Расчетным методом определяли запасы микроэлементов (ЗМЭ) в черноземе южном (Асылбаев, 2015; Корчагина и др., 2014):  $\text{ЗМЭ (кг/га)} = (a \cdot h \cdot d \cdot 10^7) / 10^6 = a \cdot h \cdot d \cdot 10$ , где  $a$  – содержание элемента в слое почвы, мг/кг;  $h$  – глубина слоя, м;  $d$  – плотность почвы, г/см<sup>3</sup>;  $10^7$  – коэффициент пересчета массы слоя почвы 1 га в кг;  $10^6$  – коэффициент пересчета мг в кг. По формуле Ю.Е. Саета определяли суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ) почвы (Ковальчик и др., 2017; Шацкая и др., 2020):  $Z_c = K_c - (n - 1)$ , где  $K_c$  – сумма коэффициентов концентрации компонентов загрязнения;  $n$  – количество учитываемых загрязняющих веществ с  $K_c > 1,0$ . Категорию суммарного загрязнения почв определяли по существующим параметрам: допустимая ( $Z_c < 16$ ), умеренно опасная ( $16 < Z_c < 32$ ), опасная ( $32 < Z_c < 128$ ),

чрезвычайно опасная ( $Z_c > 128$ ) (Ковальчик и др., 2017; Корчагина и др., 2014; Гигиенические нормативы..., 2021; Шацкая и др., 2020). Для оценки загрязнения почвы валовыми и подвижными соединениями этих элементов использовали предельно допустимые концентрации (ПДК), утвержденные СанПиН 1.2.3685–21. Статистическая обработка данных с использованием программного обеспечения Statistica for Windows 10.0 и MS Excel.

## ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### 3.1 Физико-химические свойства чернозема южного при выращивании винограда и черешни

В разделе представлена характеристика физико-химических свойств, заметно влияющих на микроэлементный состав чернозема южного (табл.1).

Содержание гумуса в профиле чернозёма южного целины и различных агроценозов обусловлено не только природными факторами, но и антропогенным воздействием, а именно спецификой сельскохозяйственного использования. Наибольшее средневзвешенное содержание гумуса (4,1%) в гумусо-аккумулятивном горизонте (0-40 см) выявлено в почве целинных участков, что соответствует среднему уровню. В агроценозах отмечено проявление процесса дегумификации, подтверждаемого значительным снижением гумуса на 1,3–2,0% в сравнении с целинными участками, что статистически подтверждается критерием Манна-Уитни. Минимальное содержание гумуса выявлено в почве чистого пара - 2,0%, под виноградником и черешней несколько больше: 2,8 и 2,5% соответственно. Характер распределения гумуса равномерно-аккумулятивный.

Таблица 1 – Физико-химические свойства чернозема южного

Глубина, см	Гумус, %	pH <sub>H2O</sub>	CaCO <sub>3</sub> , %	Физическая глина (<0,01 мм), %
Целина (n = 12; 2022-2024 гг.)				2023 г.
0-20	4,7±0,4	7,7±0,1	1,4±0,3	56,0
20-40	4,2±0,4	7,8±0,1	1,6±0,2	54,0
40-60	3,2±0,3	8,2±0,1	2,5±0,7	57,0
60-80	1,8±0,4	8,3±0,1	3,0±0,5	56,0
80-100	1,0±0,1	8,5±0,1	3,5±0,4	57,0
Чистый пар (n = 3; 2019 г.)				2019 г.
0-20	3,2±0,1	7,6±0,1	1,9±0,1	55,0
20-40	1,8±0,2	7,7±0,1	2,1±0,2	54,0
40-60	1,0±0,1	8,2±0,1	3,9±0,2	56,0
60-80	0,7±0,1	8,4±0,1	4,0±0,4	58,0
80-100	0,6±0,1	8,6±0,1	4,2±0,4	61,0
Ампелоценоз (n = 24; 2019, 2022-2024 гг.)				2019, 2023 гг.
0-20	3,2±0,2	7,6±0,1	1,3±0,2	49,0
20-40	2,7±0,3	8,0±0,1	1,9±0,1	50,0
40-60	1,8±0,1	8,2±0,1	2,5±0,2	50,0
60-80	1,1±0,1	8,4±0,1	3,7±0,3	50,0
80-100	0,8±0,1	8,6±0,1	4,9±0,3	51,0

Продолжение таблицы 1

Глубина, см	Гумус, %	pH <sub>H2O</sub>	CaCO <sub>3</sub> , %	Физическая глина (<0,01 мм), %
Садовый агроценоз (n = 24; 2019, 2022-2024 гг.)				2019, 2023 гг.
0-20	3,5±0,2	7,3±0,2	2,2±0,1	49,0
20-40	3,2±0,1	7,5±0,1	2,5±0,2	50,0
40-60	1,9±0,1	7,8±0,2	4,8±0,9	53,0
60-80	0,9±0,1	8,0±0,2	5,9±1,3	50,0
80-100	0,4±0,1	8,2±0,2	6,8±1,2	52,0

Примечание: здесь и далее - n — количество образцов; x — среднее; se — ошибка среднего

Реакция среды в верхней части профиля чернозема южного исследуемых участков в основном слабощелочная (pH 7,3–7,7) и книзу увеличивается до максимальных значений в слое 80–100 см (pH 8,2–8,6) (Вальков и др., 2008). Подщелачивание обуславливается повышенным содержанием карбонатов кальция в нижних горизонтах (табл.1). Содержание карбонатов (CaCO<sub>3</sub>) закономерно возрастает с глубиной от 1,3–2,2 % (0–20 см) до 3,5–6,8% (80–100 см).

Согласно классификации почв и пород по Н.А. Качинскому (Шеин, 2005) исследуемый южный чернозем характеризуется как тяжелосуглинистый. В исследуемых агроценозах содержание частиц диаметром менее 0,01 мм в гумусо – аккумулятивном горизонте составляет 47,2–54,5%, на целине – 56,1%.

### **3.2 Содержание и закономерности внутрипрофильного распределения микроэлементов и железа в черноземе южном целинных участков и чистого пара**

Внутрипрофильное распределение валового содержания Cu, Mn, Zn, Fe, Ni в черноземе южном целины характеризуется накоплением в верхних слоях почвы и снижением их содержания по мере уменьшения количества гумуса, увеличения концентрации карбонатов и реакции почвенной среды. Количество Cu и Mn снижается с глубиной (на 10,0–15,0% с 0–20 до 80–100 см), в то время как распределение Zn, Fe и Ni по профилю подвержено несущественному изменению на 3,0–6,0% (рис. 2А).

Содержание валовых Cu, Mn, Fe, Ni в почве чистого пара максимально в слое 0-20 см и снижается с глубиной на 17,0-25,0%, тогда как для Zn характерна слабая изменчивость по профилю (рис.2Б). С помощью непараметрического критерия Вилкоксона в черноземе южном целины и чистого пара установлено статистически значимое снижение содержания Cu, Mn, Fe в сравнении 0–20 и 80–100 см.

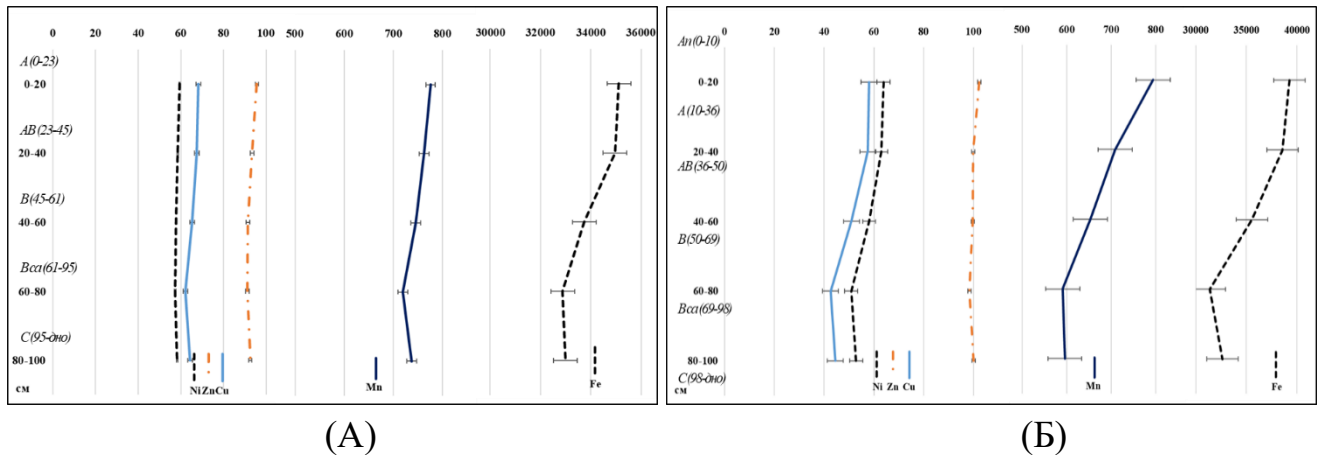


Рисунок 2 – Внутривертикальное распределение валового содержания Cu, Mn, Zn, Fe, Ni в черноземе южном целины (А) и чистого пара (Б), (n=3; 2019,2022 гг.), МГ/КГ

Вычисленные коэффициенты радиальной дифференциации, указывают на поверхностно-аккумулятивный тип профильного распределения микроэлементов и железа в чернозёме южном целины и чистого пара.

Выявлена положительная корреляционная зависимость между валовым содержанием исследуемых элементов и гумусом в чернозёме южном целины: Cu ( $r = 0,90$ ), Mn ( $r = 0,89$ ), Zn ( $r = 0,70$ ), Fe ( $r = 0,90$ ), Ni ( $r = 0,68$ ). Для чистого пара установлена высокая сила связи валовых Cu ( $r = 0,88$ ), Mn ( $r = 0,90$ ), Fe ( $r = 0,88$ ) с гумусом, для Zn ( $r = 0,50$ ), Ni ( $r = 0,70$ ) – заметная, согласно шкале Чеддока (Орлов, 2018).

Общее содержание микроэлементов в почве, безусловно, является важной характеристикой, однако, для оценки обеспеченности растений питательными веществами первостепенное значение имеет изучение непрочносвязанных соединений микроэлементов. Именно они характеризуются актуальной и прогнозируемой доступностью для растений. Основная часть Cu, Mn, Zn, Fe, Ni в черноземе южном целины представлена прочносвязанными соединениями: 78,0-99,0% от общего содержания. Высокое содержание рассматриваемых микроэлементов в группе непрочносвязанных соединений доказывает и коэффициент подвижности (Кп). Его величина в гумусо-аккумулятивном слое (0-40 см) почвы целины невелика и варьируется от 0,01 (Zn) до 0,10-0,28 (Cu, Mn, Ni). Следует отметить, что Кп для Zn в почве всех исследуемых агроценозов не превышает 0,02. Образование малорастворимых соединений Zn снижает его доступность: взаимодействие Zn с фосфатами приводит к формированию  $Zn_3(PO_4)_2$ , а с карбонатами –  $ZnCO_3$ . Эти процессы существенно ухудшают усвоение цинка растениями, способствуя развитию его дефицита (Kabata-Pendias, 2011; Mousavi et al., 2018; Rahman et al., 2020).

Непрочносвязанные соединения микроэлементов разделяют по механизму взаимодействия с основными почвенными компонентами (обменные, комплексные и специфически сорбированные) (Мотузова, 1999; Минкина и др., 2008, 2017). Их доля от общего содержания непрочносвязанных соединений составляет соответственно 15,0-19,0%; 29,0-32,0%; 55,0-48,0% для Cu; 22,0-24,0%; 29,0-30,0%; 46,0-47,0% - Mn; 20,0-23,0%; 26,0-29,0%; 47,0-53,0% - Zn; 15,0-26,0%; 28,0-29,0%; 45,0-56,0% - Ni (рис.3).

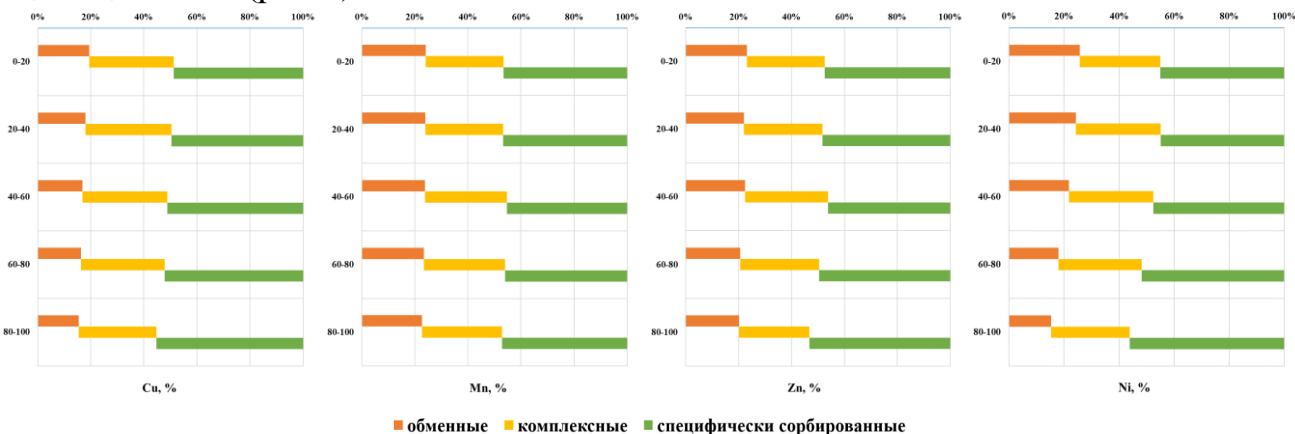


Рисунок 3 – Процентное соотношение непрочносвязанных соединений Cu, Mn, Zn, Ni в черноземе южном целины

В данном исследовании учет доступных для растений микроэлементов в чернозёме южном целинных участков вызывает большой интерес с точки зрения сопоставления с данными исследуемых агроценозов.

Содержание обменных соединений Cu, Mn, Zn, Fe и Ni в почве уменьшается с глубиной от 0-20 до 80-100 см. Наиболее заметно снижение для Ni (на 59,0%), а наименее - для Mn (на 17,0%). Изменения Cu, Zn и Fe находятся в пределах 24,0-38,0% (рис.4). Для Cu установлено статистически достоверное различие между слоями 0-20 см и 20-40 см, а Mn - в паре сравнения 0-20 и 80-100 см. Для Cu, Mn, Zn и Ni установлены различия между слоями 0-20 см и 80-100 см. Для Fe достоверных изменений не обнаружено.

Распределение комплексных соединений Cu, Mn, Zn и Ni в черноземе южном в целом характеризуется однородностью. Коэффициенты вариации (V) Cu, Mn и Zn свидетельствуют о их низкой изменчивости (<10,0%) по слоям, для Ni – средняя (10,0–20,0%) (рис.4). Во всех парах сравнения, кроме 0-20 и 80-100 см (Cu, Mn, Ni), не обнаружено статистически достоверных различий, что подтверждает их относительно равномерное распределение по слоям.

Специфически сорбированные соединения Cu, Mn и Ni проявляют тенденцию к снижению концентрации в верхних слоях (до 40-60 см), тогда как поведение Zn не демонстрирует четкой направленности изменений, однако его изменчивость возрастает с глубиной, достигая 32,0-34,0% в слоях 60-80 и 80-100

см. При этом Cu и Zn характеризуются в целом большей вариабельностью, чем Mn и Ni (рис.4).

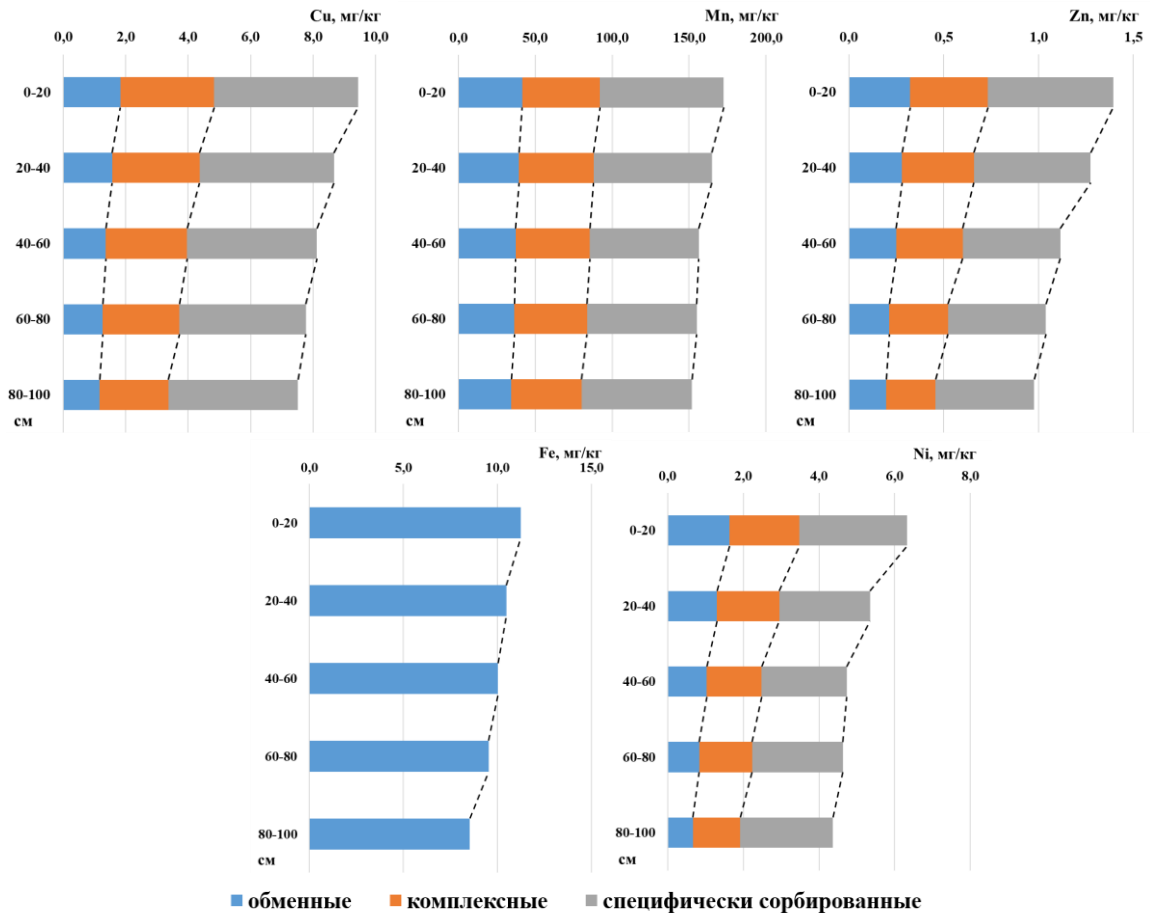


Рисунок 4 – Внутрипрофильное распределение непрочносвязанных соединений Cu, Mn, Zn, Fe, Ni в черноземе южном целины (n=36; 2019, 2022-2024 гг.), мг/кг

Коэффициент радиальной дифференциации снижается для всех исследованных элементов с глубиной почвенного профиля, что указывает на поверхностно-аккумулятивный тип распределения.

Положительная корреляционная зависимость различной силы установлена между исследуемыми микроэлементами и гумусом: Cu ( $r = 0,76$ ), Fe ( $r = 0,76$ ), Ni ( $r = 0,77$ ), Mn ( $r = 0,62$ ), Zn ( $r = 0,56$ ) для обменных; Cu ( $r = 0,86$ ), Zn ( $r = 0,90$ ), Ni ( $r = 0,87$ ), Mn ( $r = 0,61$ ) – комплексных; Cu и Zn ( $r = 0,10$ ), Mn ( $r = 0,61$ ) Ni ( $r = 0,40$ ) – специфически сорбированных. По данным А. Kabata-Pendias (1989, 2011) Cu, Mn и Zn в почве активно участвует в процессах комплексообразования, образуя соединения с гуминовыми и фульвокислотами, а также с минеральными компонентами, что определяет их профильное распределение и подвижность. Выявлена заметная отрицательная корреляция для обменной Cu ( $r = -0,68$ ), Mn ( $r = -0,64$ ), Zn ( $r = -0,58$ ) и pH. Для Cu и  $\text{CaCO}_3$  установлена весьма высокая сила связи:  $-0,93$ .

### 3.3 Содержание и закономерности внутрипрофильного распределения микроэлементов и железа в черноземе южном в условиях ампелоценоза

Внутрипрофильное распределение валовых Cu, Mn, Zn, Fe, Ni при выращивании винограда характеризуется снижением их содержания по мере увеличения глубины. Максимальное валовое содержание Cu (62,9 мг/кг), Mn (792,3 мг/кг), Zn (94,3 мг/кг), Fe (39917,2 мг/кг) и Ni (61,5 мг/кг) отмечено в слое 0-20 см чернозема южного (рис.5). Статистически достоверно различается изменение Cu в сравнениях слоев 0-20 и 20-40, 40-60 и 60-80, 0-20 и 80-100 см. В распределении Mn отмечено достоверное различие на глубинах 40-60 и 60-80 см. Тенденция к увеличению их количества наблюдается на глубине максимального содержания CaCO<sub>3</sub>, что согласуется с данными Н.С. Горбуновой и Н. А. Протасовой (2008). Концентрация Zn, Fe и Ni по профилю чернозёма южного достоверно не изменяется, лишь у Fe в сравнении 0-20 и 80-100 см обнаружено достоверное снижение.

Тип профильного распределения валового содержания Cu, Mn, Zn, Ni, Fe характеризуется как поверхностно-аккумулятивный.

Валовое содержание микроэлементов в чернозёмах положительно коррелирует с гумусом: Cu ( $r = 0,90$ ), Mn ( $r = 0,77$ ), Zn ( $r=0,71$ ), Fe ( $r=0,96$ ), Ni ( $r = 0,82$ ), что свидетельствует о его важной роли в удержании этих элементов. Благодаря высокой гумусированности миграционная способность микроэлементов в почвенном профиле ограничена (Degtyarjov, Chekar, 2020).

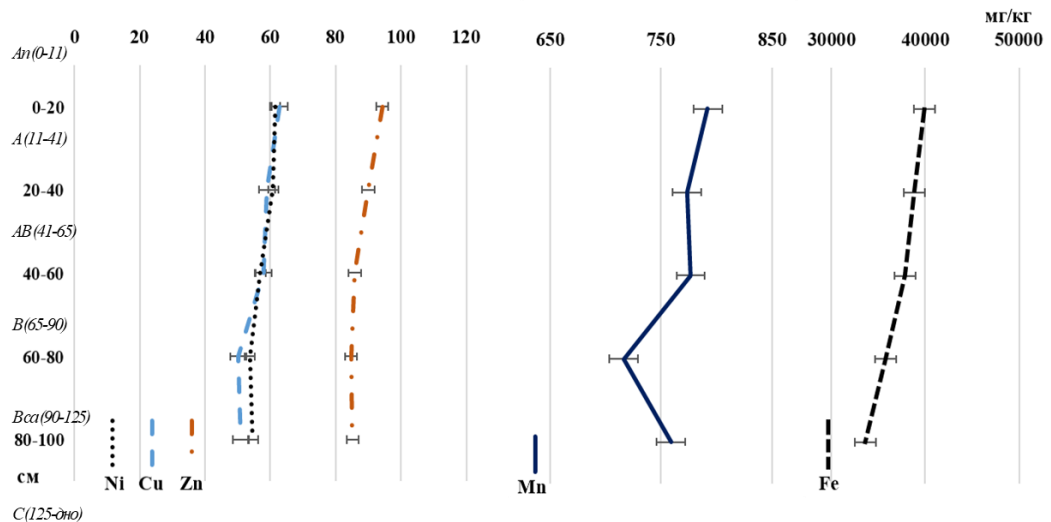


Рисунок 5 – Внутрипрофильное распределение валового содержания Cu, Mn, Zn, Fe, Ni в черноземе южном ампелоценоза (n=24; 2019, 2022 гг.), мг/кг

Прочносвязанные соединения исследуемых микроэлементов, как и в черноземе целинных участков, представляют значительную часть от их валового содержания: Cu - 90,0%, Mn – 80,0%, Zn – 98,0%, Ni – 99,0% (от 0-20 до 80-100 см), в то время как непрочносвязанные составляют всего 2,0-20,0%. Коэффициент

подвижности Cu, Mn, Zn, Ni в гумусо-аккумулятивном слое чернозема южного невелик и варьируется от 0,01-0,02 (Ni, Zn) до 0,11-0,25 (Cu, Mn). Доля обменных, комплексных и специфически сорбированных соединений от общего содержания непрочносвязанных соединений составляет соответственно 4,0-6,0%; 12,0-13,0%; 81,0-83,0% для Cu; 13,0-15,0%; 29,0-31,0%; 54,0-57,0% - Mn; 19,0-24,0%; 28,0-29,0%; 47,0-52,0% - Zn; 10,0-15,0%; 23,0-28,0%; 57,0-67,0% - Ni (рис.6).

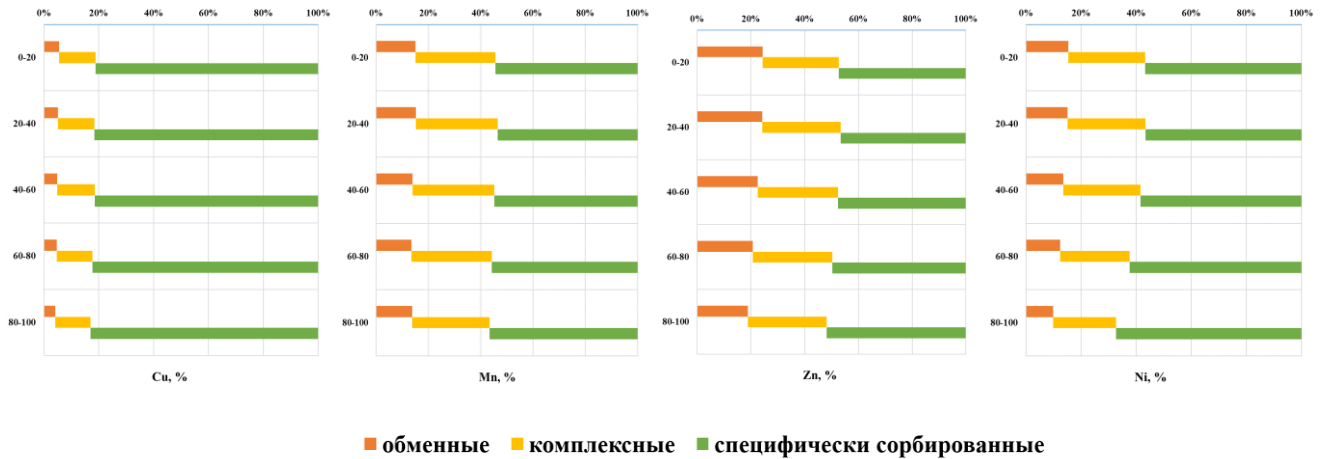
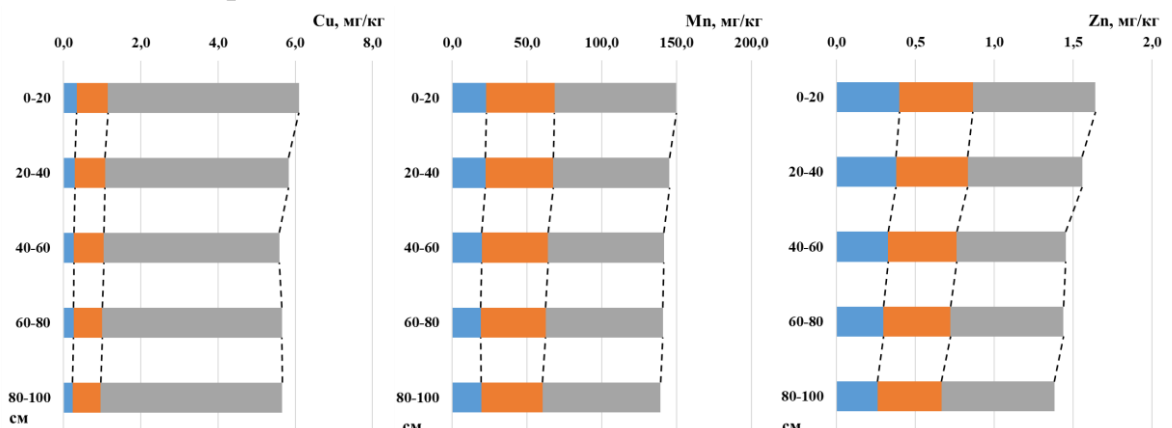


Рисунок 6 – Процентное соотношение непрочносвязанных соединений Cu, Mn, Zn, Ni в черноземе южном ампелоценоза

Снижение содержания обменных соединений микроэлементов вниз по почвенному профилю, установленное в черноземе южном целины, прослеживается и в ампелоценозе.

В слое 0-20 см содержание обменных Cu, Mn, Zn, Fe и Ni достигает максимальных значений. С глубиной (до 80-100 см) наблюдается статистически значимое снижение содержания: Cu – на 32,0%, Mn –15,0%, Zn –35,0%, Ni –56,0%. Распределение Cu и Mn относительно стабильно и однородно, о чем свидетельствуют низкие коэффициенты вариации (11,0-17,0%). Zn демонстрирует умеренную изменчивость. Для Ni характерно увеличение неоднородности с глубиной (до 40,9% в слое 80-100 см). Fe распределен крайне неравномерно ( $V$  – 47,4-54,0%) (рис.6).



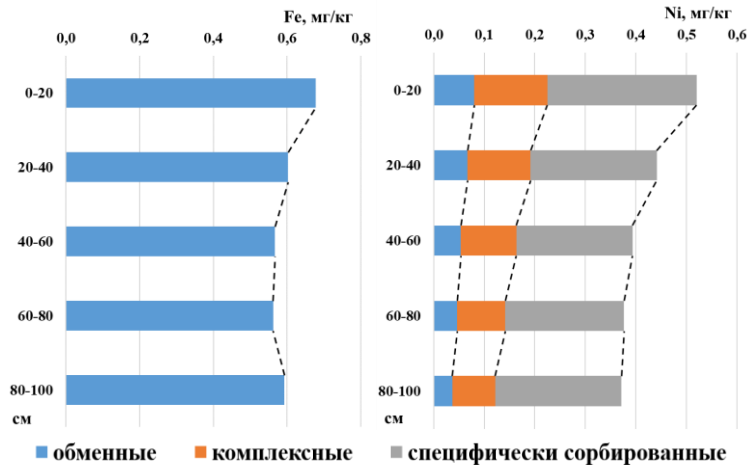


Рисунок 6 – Внутрипрофильное распределение непрочносвязанных соединений Cu, Mn, Zn, Fe, Ni в черноземе южном ампелоценоза (n=48; 2019, 2022-2024 гг.), мг/кг почвы

Для комплексных соединений Cu и Mn в слое 0-20 см отмечены самые высокие значения, при меньшем содержании Zn и Ni (рис.6). Коэффициенты вариации для всех элементов невелики (2,0-22,0%), что указывает на относительно стабильное распределение. Снижение с глубиной для Cu, Mn, Ni статистически подтверждено в паре сравнения 0-20 и 80-100 см.

Специфически сорбированные Cu, Zn и Ni не демонстрируют статистически значимых различий в распределении по профилю. Только для Mn выявлено достоверное снижение в слое 0-20 см. При этом Cu и Mn характеризуются относительной стабильностью ( $V$  – 1,0-11,0 %) а Zn и Ni – повышенной изменчивостью в слоях 20-60 см ( $V$  – 21,0-26,0 %) (рис.6).

Установлена заметная корреляционная зависимость между содержанием обменных и комплексных Cu ( $r=0,66$ ), Ni ( $r=0,70-0,76$ ) и гумуса, а для Mn ( $r=0,54-0,59$ ), Zn ( $r=0,42-0,50$ ) - связь умеренной силы. Для Fe корреляционная зависимость не установлена. Наличие карбонатов в почве способствует аккумуляции микроэлементов в малоподвижных формах, характеризующихся низкой растворимостью и, как следствие, ограниченной доступностью для растений. Данное явление подтверждается выявленной обратной корреляционной зависимостью между содержанием непрочносвязанных соединений Cu, Mn, Zn, Fe, Ni и количеством  $\text{CaCO}_3$ : для Cu ( $r = -0,73$ ), Mn ( $r = -0,50$ ), Zn ( $r = -0,60$ ), Ni ( $r = -0,72$ ) – для обменных; Cu ( $r = -0,75$ ), Mn ( $r = -0,56$ ), Zn ( $r = -0,56$ ), Ni ( $r = -0,69$ ) – комплексных; Zn ( $r = -0,50$ ), Ni ( $r = -0,44$ ) – специфически сорбированных.

### 3.4 Содержание и закономерности внутрипрофильного распределения микроэлементов и железа в черноземе южном в условиях садового агроценоза

Согласно полученным данным валовое содержание Cu незначительно накапливается как в верхних горизонтах на глубине 0-20 и 20-40 см, так и в слое

80–100 см. Из-за склонности к адсорбции глинистыми минералами, карбонатами, органическим веществом и метагидроксидами Mn и Fe, она может накапливаться по всему профилю почвы (Logan et al. 1997). Для Mn характерно постепенное снижение содержания с глубиной до уровня залегания карбонатов. Сообразно меди и марганцу Zn аккумулируется на глубине 0–40 см, снижаясь с глубиной на 11,0%. Содержание Fe и Ni убывает на 18,0% и 11,0% соответственно в сравнении 0-20 и 80–100 см (рис. 7). В распределении Mn и Fe в сравнении 0–20 и 80–100 см обнаружено статистически подтвержденное снижение концентрации.

Вниз по профилю почвы происходит постепенное снижение количества Cu, Mn, Zn, Fe и Ni аналогично распределению гумуса. Положительная корреляция высокой силы наблюдается между валовыми Mn ( $r = 0,83$ ), Fe ( $r = 0,93$ ) и содержанием гумуса; для Cu ( $r = 0,50$ ), Zn ( $r = 0,62$ ), Ni ( $r = 0,61$ ) - заметная связь.

Тип профильного распределения - поверхностно-аккумулятивный при слабой степени контрастности.

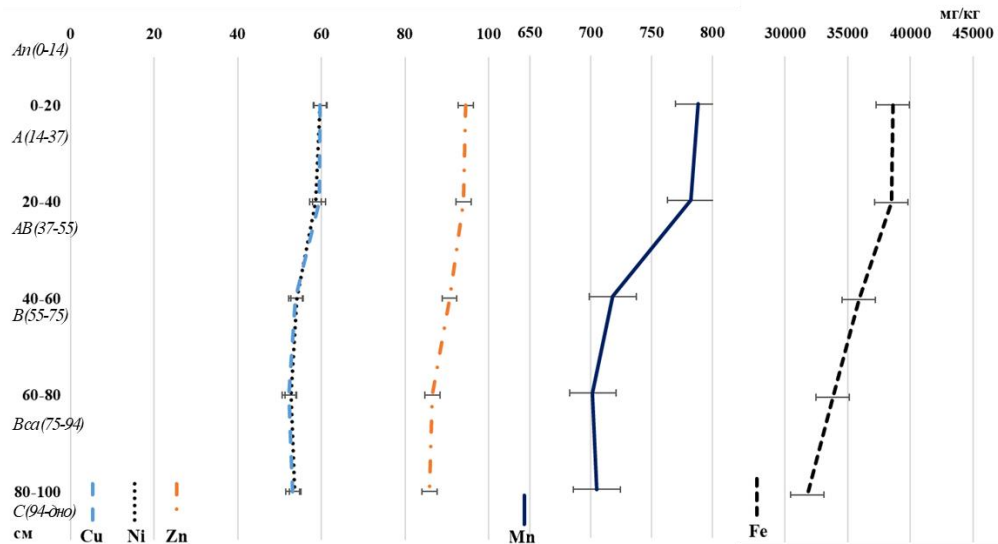


Рисунок 7 – Внутрипрофильное распределение валового содержания Cu, Mn, Zn, Fe, Ni в черноземе южном садового агроценоза (n=24; 2019, 2022 гг.), мг/кг

Прочносвязанные соединения исследуемых микроэлементов, сообразно целине и ампелоценозу, представляют значительную часть от их валового содержания: Cu - 90,0%, Mn – 83,0%, Zn – 99,0%, Ni – 99,0% (от 0-20 до 80-100 см). Коэффициент подвижности Cu, Mn, Zn, Ni в гумусо-аккумулятивном слое почвы невелик и варьируется от 0,01 (Ni, Zn) до 0,12–0,24 (Cu, Mn). Доля непрочносвязанных соединений рассматриваемых микроэлементов составляет всего 1,0-17,0%, что меньше чем в целине и других агроценозах. Обменные, комплексные и специфически сорбированные соединения от общего содержания непрочносвязанных составляет соответственно 4,0-5,0%; 13,0-14,0%; 81,0-83,0% для Cu; 9,0-10,0%; 34,0-35,0%; 55,0-57,0% - Mn; 3,0-8,0%; 21,0-27,0%; 64,0-76,0% - Zn; 13,0-20,0%; 19,0-22,0%; 58,0-75,0% - Ni (рис.8).



Рисунок 8 – Процентное соотношение непрочносвязанных Cu, Mn, Zn, Ni в черноземе южном садового агроценоза

Наиболее надежной основой для научного расчета потребности возделываемых культур в микроудобрениях являются данные агрохимического обследования на содержание подвижных микроэлементов, поскольку именно они являются доступными для растений. Для всех обменных соединений Cu, Mn, Zn, Fe, Ni в черноземе южном садового агроценоза наблюдается общая тенденция к снижению среднего содержания от 0-20 до 80-100 см. Содержание обменной Cu снижается вниз по профилю на 30,0%, Mn – 15,0%, Zn – 75,0%, Fe – 16,0%, Ni – 71,0% (рис.9).

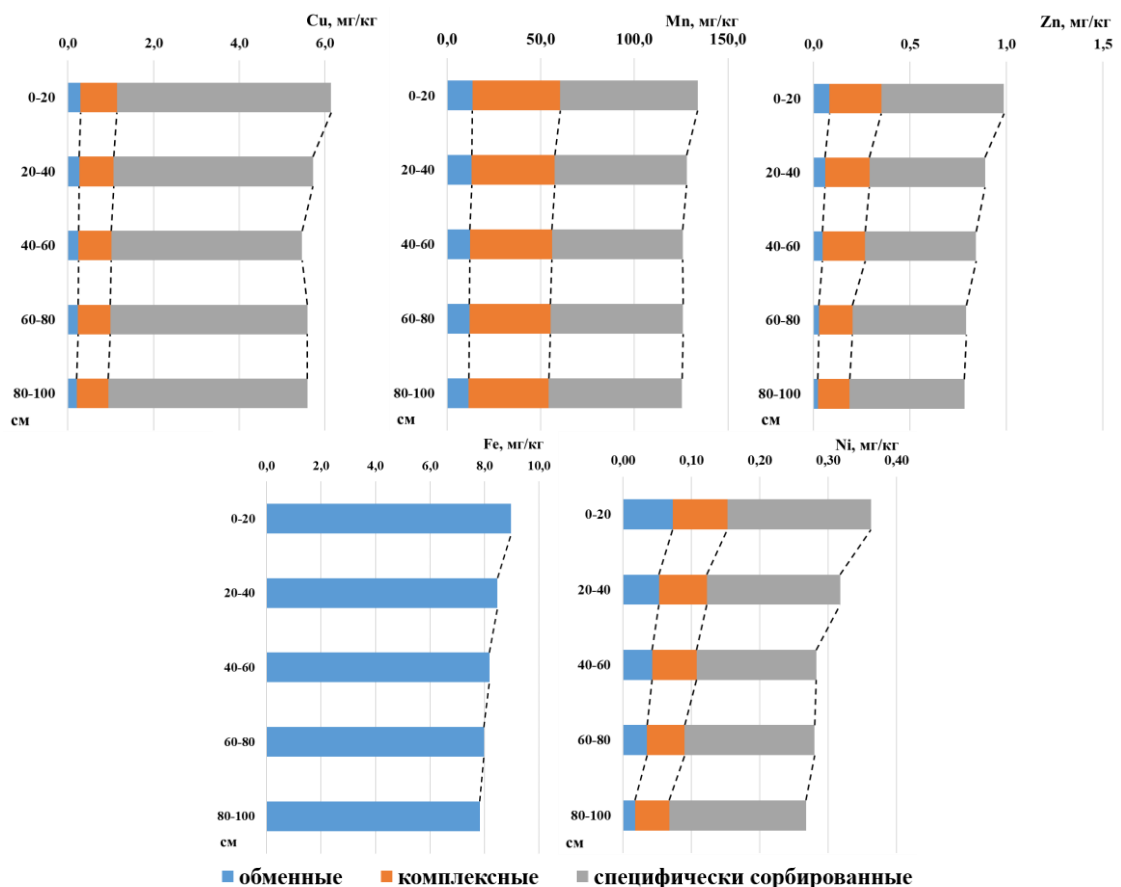


Рисунок 9 – Внутрпрофильное распределение непрочносвязанных соединений Cu, Mn, Zn, Fe, Ni в черноземе южном садового агроценоза (n=48; 2019, 2022-2024 гг.), мг/кг почвы

Значимые различия в распределении по профилю чернозема обнаружены для Zn и Ni в паре сравнения 0-20 и 20-40 см, а также в 40-60 и 60-80 см для Zn и в паре 60-80 и 80-100 см для Ni. Статистически подтверждено снижение содержания Cu, Mn, Zn, Ni с 0-20 до 80-100 см.

У комплексных соединений Cu, Mn, Zn, Ni наблюдается тенденция к их уменьшению с увеличением глубины. Содержание Cu снижается вниз по профилю на 13,0%, Mn –8,0%, Zn –37,0%, Ni –38,0%. В целом, по профилю отмечена средняя степень варьирования Cu, Mn и Zn, что говорит о достаточно равномерном распределении этих элементов в почвенном профиле. Ni демонстрирует самую сильную изменчивость (33,0-36,0%), особенно на глубине 60-80 и 80-100 см. Это может указывать на его более сложную геохимию в почве, включая процессы адсорбции, десорбции и образования различных соединений (рис.9).

Содержание комплексных соединений микроэлементов в профиле относительно стабильно. Установлено отсутствие значимых различий для всех микроэлементов по слоям почвы, лишь для Zn статистически подтверждено различие в его содержании на глубинах 0-20 и 80-100 см.

В садовом агроценозе специфически сорбированные соединения Cu, Mn, Ni распределены относительно равномерно, при этом Zn демонстрирует высокую неоднородность распределения. Для Cu и Ni наблюдается общая тенденция к снижению коэффициента вариации (с 17,0 до 6,0%) с глубиной, что указывает на более равномерное распределение в нижних горизонтах почвы. Это может быть связано с вымыванием этих элементов из верхних слоев и их последующей сорбцией в нижних горизонтах. Очень низкую изменчивость (около 2,0-3,0% во всех слоях) демонстрирует Mn, что говорит об очень равномерном распределении этого элемента в почвенном профиле. Zn выделяется на фоне остальных микроэлементов высокой изменчивостью (около 40,0% во всех слоях) не только в садовом агроценозе, но и целине (30,0-34,0%) в слоях 60-80 и 80-100 см (рис.9).

Коэффициенты радиальной дифференциации указывают на постепенное снижение содержания непрочносвязанных соединений Cu, Mn, Zn, Fe, Ni вниз по профилю чернозема южного, что соответствует аккумулятивному типу профильного распределения.

Умеренная и заметная корреляционная связь отмечается между обменными соединениями микроэлементов и содержанием гумуса: Cu ( $r=0,55$ ), Mn ( $r=0,50$ ), Zn ( $r=0,78$ ), Ni ( $r=0,83$ ), а также значением pH: Cu ( $r=-0,47$ ), Mn ( $r=-0,56$ ), Zn ( $r=-0,64$ ), Ni ( $r=-0,66$ ). С комплексными соединениями Mn ( $r=0,50$ ), Zn ( $r=0,85$ ), Ni ( $r=0,40$ ) и содержанием гумуса обнаружена умеренная и заметная корреляционная зависимость.

Карбонаты способствуют накоплению микроэлементов в форме, которая трудно растворяется и малодоступна для растений. Это подтверждает

обнаруженная обратная корреляционная связь между обменными микроэлементами и  $\text{CaCO}_3$ : Cu ( $r=-0,52$ ), Zn ( $r=-0,79$ ), Ni ( $r=-0,84$ ). Комплексные и специфически сорбированные Mn, Zn также коррелируют с  $\text{CaCO}_3$ : Mn ( $r = -0,48-0,56$ ), Zn ( $r = -0,44-0,87$ ).

### **3.5 Агроэкологическая оценка микроэлементного состава чернозема южного при выращивании винограда и черешни**

Ресурсный подход в оценке качества почв позволяет оценить запасы микроэлементов в метровой толще почвы в расчете на единицу площади (Корчагина и др., 2014). Ряд накопления общего содержания микроэлементов в черноземе южном целины выглядит следующим образом (кг/га): Mn (9790,4) > Zn (1215,8) > Cu (857,6) > Ni (763,2). Запасы непрочносвязанных соединений изучаемых элементов питания значительно меньше, их уровень снижается в ряду: для обменных – Mn (494,5) > Cu (18,8) > Ni (14,2) > Zn (3,3), комплексных – Mn (629,1) > Cu (34,1) > Ni (19,8) > Zn (4,5) и специфически сорбированных - Mn (970,7) > Cu (55,6) > Ni (32,3) > Zn (7,4).

В агроценозах запасы валового содержания микроэлементов в метровом слое чернозема южного довольно высокие, но интенсивность их накопления отличается от целины (кг/га): в условиях ампелоценоза образуют ряд - Mn (9995,3) > Zn (1151,0) > Ni (752,2) > Cu (734,2); в садовом агроценозе - Mn (9661,8) > Zn (1182,1) > Ni (729,2) > Cu (727,9).

В агроценозах установлены различия с целиной и по запасам непрочносвязанных соединений изучаемых элементов питания. При выращивании винограда группа непрочносвязанных соединений располагается в следующем порядке: обменные – Mn (268,4) > Zn (4,3) > Cu (3,7) > Ni (0,74), комплексные – Mn (574,9) > Cu (10,0) > Zn (5,7) > Ni (1,5) и специфически сорбированные - Mn (1031,8) > Cu (61,8) > Zn (9,8) > Ni (3,3).

При выращивании черешни запасы непрочносвязанных соединений микроэлементов образуют ряд (кг/га): обменные – Mn (162,9) > Cu (3,2) > Zn (0,62) > Ni (0,57), комплексные – Mn (578,9) > Cu (10,3) > Zn (2,8) > Ni (0,83) и специфически сорбированные – Mn (931,5) > Cu (61,1) > Zn (7,8) > Ni (2,5).

По агрохимической градации исследуемая почва характеризуется высокой (ампелоценоз, чистый пар) и средней (садовый агроценоз) обеспеченностью Mn; средней – Cu и низкой – Zn (ампелоценоз и садовый агроценоз) (Методические указания..., 2003). Низкое содержание Zn (< 2,0) выявлено и в черноземе целинного участка. Недостаточная обеспеченность черноземов степной зоны подвижным Zn является их региональной особенностью (Акимцев и др., 1962; Бирюкова и др., 2010; Агафонов, 2012; Минкина и др., 2017).

Следует отметить, что для Ni не существует отдельной классификации по обеспеченности почв, несмотря на его важную роль в минеральном питании

растений за счет участия в ключевых физиологических и биохимических процессах (Битюцкий, 2014,2020). Разработка такой градации требует дальнейших исследований в системе «почва-растение».

Суммарный показатель загрязнения чернозема южного ампелоценоза и садового агроценоза равен 2,4 и 2,5 соответственно, что относится к допустимой категории загрязнения почв ( $Z_c < 16$ ). Результаты анализа чернозёма южного показали, что содержание Cu, Mn, Zn и Ni не превышает ПДК по всему почвенному профилю.

## ВЫВОДЫ

1. Распределение валового содержания и подвижных соединений Cu, Mn, Zn, Ni и Fe в черноземе южном характеризуется их активным накоплением в гумусо-аккумулятивном горизонте. Коэффициенты радиальной дифференциации указывают на общий для целины и агроценозов поверхностно-аккумулятивный тип накопления валового содержания Cu, Mn, Zn, Ni, Fe, характеризующихся слабой степенью контрастности. У непрочносвязанных соединений изучаемых элементов степень контрастности различна: для Cu, Mn и Fe – слабая, для Zn и Ni – средняя, что обусловлено генетическими особенностями почвы и свойствами элементов.

2. Внутрипрофильная дифференциация микроэлементов в черноземе южном зависит от физико-химических свойств. Как валовое содержание, так и обменные и комплексные соединения микроэлементов достоверно коррелируют с содержанием гумуса: Cu ( $r = 0,50-0,90$ ), Mn ( $r=0,60-0,89$ ), Zn ( $r=0,42-0,78$ ), Ni ( $r=0,62-0,82$ ). Выявленные зависимости свидетельствуют о важной роли органоминеральных комплексов в процессах аккумуляции и миграции изучаемых микроэлементов. Щелочная реакция почвенного раствора, наличие карбонатов способствуют накоплению микроэлементов в форме, которая трудно растворяется и малодоступна для растений. Корреляционный анализ доказал обратную связь между непрочносвязанными соединениями микроэлементов и  $\text{CaCO}_3$ : Cu ( $r = -0,52-0,70$ ), Mn ( $r=-0,48-0,89$ ), Zn ( $r=-0,42-0,87$ ), Ni ( $r=-0,62-0,87$ ).

3. Основная часть Cu, Mn, Zn, Ni в черноземе южном целины и различных агроценозов представлена прочносвязанными соединениями (78,0-99,0%). Среди непрочносвязанных соединений наибольшую долю составляют специфически сорбированные (45,0-83,0%), что объясняет низкую доступность микроэлементов растениям. При многолетнем выращивании винограда и черешни выявлены изменения в групповом составе микроэлементов. Основное направление этих изменений заключается в снижении доли обменных и увеличении специфически сорбированных соединений в сравнении с целиной.

4. Чернозем южный целины характеризуется следующим рядом накопления валового содержания микроэлементов (кг/га):  $\text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Ni}$ . Ряд накопления непрочносвязанных соединений изучаемых элементов питания в

черноземе южном целины выглядит следующим образом: для обменных, комплексных и специфически сорбированных -  $Mn > Cu > Ni > Zn$ . В условиях садового агроценоза и ампелоценоза последовательность иная: для валового содержания –  $Mn > Zn > Ni > Cu$ , для обменных соединений –  $Mn > Cu > Zn > Ni$  и  $Mn > Zn > Cu > Ni$  соответственно, комплексных и специфически сорбированных -  $Mn > Cu > Zn > Ni$ .

5. Степень обеспеченности чернозема южного садового агроценоза и ампелоценоза подвижными соединениями Mn средняя и высокая соответственно, Cu – средняя, Zn – низкая. Отмеченный уровень подвижных микроэлементов в агроценозах обусловлен не только особенностями группового состава, но и последствиями интенсивного земледелия. Полученные результаты утверждают о несбалансированном применении агрохимических средств и указывают на необходимость внесения в почву микроудобрений, прежде всего цинксодержащих.

6. Валовое содержание и подвижные соединения микроэлементов в черноземе южном целины и агроценозов соответствуют их региональному уровню и не превышают предельно допустимых концентраций. Суммарный показатель загрязнения валовыми Cu, Mn, Zn, Ni ( $Z_c = 2,4-2,5$ ) свидетельствует об экологически чистом состоянии почвы при многолетнем выращивании винограда и черешни.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи, опубликованные в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК по специальности 1.5.19. Почвоведение (биологические науки)

1. Кучеренко, А. В. Подвижность марганца и цинка в чернозёме южном при возделывании винограда / Кучеренко А. В., Бирюкова О. А., Барахов А. В. // АгроЭкоИнфо. – 2025. – №1. – DOI 10.51419/202151127. – Режим доступа [https://agroecoinfo.ru/statyi/2025/1/st\\_127.pdf](https://agroecoinfo.ru/statyi/2025/1/st_127.pdf) (дата обращения 02.07.2025) (К3)

2. Кучеренко, А. В. Групповой состав соединений цинка в чернозёме южном садового агроценоза / Кучеренко А. В., Бирюкова О. А. // Живые и биокосные системы. – 2025. – № 51. – DOI 10.18522/2308-9709-2025-51-7. – Режим доступа: <https://jbks.ru/archive/issue-51/article-7> (дата обращения 02.07.2025) (К3)

3. Кучеренко, А. В. Групповой состав соединений меди и марганца в чернозёме южном при возделывании черешни / А. В. Кучеренко // Агрохимический вестник. – 2025. – № 3. – С. 92-96. – DOI 10.24412/1029-2551-2025-3-017. (К1).

4. Кучеренко, А. В. Содержание микроэлементов в черноземе южном плодового агроценоза / А. В. Кучеренко, О. А. Бирюкова // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2025. – № 123. – С. 148-178. – DOI 10.19047/0136-1694-2025-123-148-178. (К1).

### Статьи в журналах, индексируемых в РИНЦ

5. Кучеренко, А. В. Содержание и распределение разных форм меди и цинка в черноземе южном в ампелоценозах Ростовской области/ Кучеренко А. В., Бирюкова О. А.// Наука Юга России. – 2023. – Т. 19, № 3. – С. 47-55. – DOI:10.7868/s25000640230307 (K1, RSCI).

6. Кучеренко, А. В. Содержание и распределение Mn в чернозёме южном при возделывании различных сельскохозяйственных культур / А. В. Кучеренко, О. А. Бирюкова, Е. В. Кучменко // Живые и биокосные системы. – 2021. – № 36. – DOI 10.1822/2308-9709-2021-36-1.

### Патенты/свидетельства

7. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019622437 Российская Федерация. Валовой химический состав чернозема южного при различном сельскохозяйственном использовании : № 2019622399 : заявл. 12.12.2019 : опубл. 20.12.2019 / М. В. Бурачевская, А. В. Кучеренко, Т. М. Минкина, О. А. Бирюкова ; правообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет».

8. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019622106 Российская Федерация. Содержание тяжелых металлов (V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Sr, Pb) в черноземе южном при различном сельскохозяйственном использовании : № 2019621958 : заявл. 30.10.2019 : опубл. 18.11.2019 / О. А. Бирюкова, А. В. Кучеренко, В. А. Чаплыгин [и др.] ; правообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» (Южный федеральный университет).