

УДК 631.416.9
DOI: 10.7868/S25000640230307

СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗНЫХ ФОРМ МЕДИ И ЦИНКА В ЧЕРНОЗЕМЕ ЮЖНОМ В АМПЕЛОЦЕНОЗАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2023 г. А.В. Кучеренко¹, О.А. Бирюкова¹

Аннотация. Приведены результаты исследований содержания и распределения разных форм меди и цинка в черноземе южном в ампелоценозах центральной орошаемой природно-сельскохозяйственной зоны Ростовской области. Содержание валовых и подвижных форм меди и цинка в почвах производственных полей соответствует фоновому уровню и не превышает предельно допустимых концентраций. По содержанию подвижных форм биомикроэлементов обеспеченность чернозема южного цинком низкая (<2,0 мг/кг), медью – средняя (0,21–0,50 мг/кг). При расчете коэффициентов радиальной дифференциации выявлена общая закономерность в распределении валовых и подвижных соединений меди и цинка в условиях ампелоценоза, обусловленная их постепенным снижением вниз по почвенному профилю и активным накоплением в гумусо-аккумулятивных горизонтах. Содержание валовой формы меди (горизонт Ап – 62,69 мг/кг) убывает вниз по профилю на 31,7 %, до 42,80 мг/кг, в горизонте С, содержание валового цинка в горизонте Ап составляет 98,47 мг/кг и снижается на 20,6 %, до 78,18 мг/кг, в горизонте С. Содержание подвижных форм микроэлементов также характеризуется постепенным снижением: количество меди в горизонте Ап составляет 0,29 мг/кг, снижаясь на 34,5 % вниз по профилю, до 0,19 мг/кг (горизонт С), количество цинка уменьшается на 50 % с горизонта Ап (0,36 мг/кг) до горизонта С (0,18 мг/кг).

Низкое содержание подвижных соединений биомикроэлементов в черноземе южном обусловлено его физико-химическими свойствами, в том числе и содержанием карбонатов. Отмечена обратная корреляционная связь между исследуемыми микроэлементами и СаО: для меди $r = -0,85$, для цинка $r = -0,81$.

Ключевые слова: Ростовская область, чернозем южный, подвижные и валовые формы меди и цинка, виноградник, ампелоценоз.

CONTENT AND DISTRIBUTION OF DIFFERENT FORMS OF COPPER AND ZINC IN CALCIC CHERNOZEM IN AMPELOCENOSIS OF ROSTOV REGION

A.V. Kucherenko¹, O.A. Biryukova¹

Abstract. The results of studies of the content and distribution of various forms of copper and zinc in the calcic chernozem in the ampelocenosises of the central irrigated natural-agricultural zone of the Rostov Region are presented. It has been established that the content of gross and mobile forms of copper and zinc in the soils of industrial fields corresponds to the background level and does not exceed the maximum allowable concentrations. According to the content of mobile forms of biomicroelements, the supply of southern chernozem with zinc is low (<2.0 mg/kg), with copper – medium (0.21–0.50 mg/kg). When calculating the coefficients of radial differentiation, a general pattern was revealed in the distribution of gross and mobile compounds of copper and zinc under ampelocenosisis conditions, due to their gradual decrease down the soil profile and active accumulation in humus-accumulative horizons. The content of the gross form of copper (horizon Ap – 62.69 mg/kg) decreases down the profile by 31.7% to 42.80 mg/kg in horizon C, gross zinc in horizon Ap (98.47 mg/kg) decreases by 20.6% to 78.18 mg/kg in horizon C. The content of mobile forms

¹ Южный федеральный университет (Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42, e-mail: alkucherenko@sfnedu.ru

of trace elements is also characterized by their gradual decrease: the amount of copper in the Ap horizon is 0.29 mg/kg, decreasing by 34.5% down the profile to 0.19 mg/kg (C horizon), for zinc – by 50% from Ap horizon (0.36 mg/kg) to C horizon (0.18 mg/kg).

It was revealed that the low content of mobile compounds of biotrace elements in the southern chernozem is due to its physicochemical properties, including the content of carbonates. An inverse correlation was noted between the studied trace elements and CaO: for copper $r = -0.85$, for zinc $r = -0.81$.

Keywords: Rostov Region, calcic chernozem, mobile and gross forms of copper and zinc, vineyard, ampelocenosis.

ВВЕДЕНИЕ

По своим биологическим особенностям виноград заметно отличается от других возделываемых культур, что выражается в более высоких потребностях в отдельных элементах питания, недостаток или избыток которых проявляется в определенных стадиях фенологического развития лозы. Большинство микроэлементов, содержащихся в почве, находится в недоступной растениям форме. При этом количество подвижных соединений, доступных растению во время его роста и развития, даже в самых плодородных почвах может составлять лишь малую часть от общего запаса микроэлементов [1; 2]. В свою очередь, и эта часть зависит от разного рода микробиологических и химических показателей почвы, таких как реакция почвенной среды (рН), количество органического вещества, влажность, плотность, процент потребления растениями и микроорганизмами элементов питания, а также от климатических условий [3].

Наряду с другими основными биомикроэлементами (бор, марганец, молибден), необходимыми для всех физиологических и биологических процессов, происходящих в виноградном растении, различные формы меди и цинка представляют большой интерес как для мониторинга их содержания и распределения в почвенном профиле под изучаемой культурой, так и для получения высоких и устойчивых урожаев при возделывании.

Для возделывания винограда необходима теплая и солнечная погода, а также низкая влажность воздуха, что соответствует континентальному климату, характерному для Ростовской области. Виноградное растение ввиду своей высокой пластичности может расти на разных почвах, но качество и количество урожая зависят во многом от типа почвы. Темные почвы (черноземы, каштановые) поглощают больше энергии и способствуют лучшему росту и созреванию винограда. Также известен зарубежный и российский опыт, который говорит о том, что

вино лучшего качества получается из винограда, возделываемого на почвах с щелочной или близкой к ней реакцией. Тем не менее многие высококачественные вина и соки также производятся из винограда, выращенного на кислых почвах, благодаря особенностям сорта растения. Если почва кислая, то виноград активнее поглощает микроэлементы (кроме молибдена), а если почва нейтральная или близкая к ней, то макроэлементы [3–5].

Понимание того, как экологические условия влияют на рост, развитие, урожайность и качество винограда, является основой для агроэкологического районирования, которое помогает решать множество практических задач.

В почвах представлены различные формы меди: обменные (поглощенные органическими и минеральными коллоидами), водорастворимые и труднорастворимые соли меди, минералы, содержащие медь, комплексные органические соединения. Ее доступность и подвижность для растений зависят от следующих факторов: комплексообразование с органическими соединениями, реакция почвенной среды (снижение растворимости анионных и катионных форм меди при рН 7–8) [5].

Устойчивость ампелоценоза к грибковым болезням напрямую связана с достаточным количеством меди в почве. На виноградном растении недостаток меди может проявляться в виде частичного межжилкового хлороза и появления бурых пятен, чаще всего на молодых листьях [6].

Виноград относится к культурам, особенно чувствительным к дефициту содержания цинка в почвах. Подобно меди цинк может вступать в устойчивые соединения с органическим веществом. Несмотря на это, в сравнении с другими элементами питания (такими, как кобальт, соединения марганца со степенью окисления 4+, медь) цинк все же обладает большей растворимостью, так как устойчивость цинкорганических соединений довольно низкая [6; 7]. Дефицит цинка чаще всего проявляется в нейтральных и слабощелочных карбонатных почвах.

Подкисление почвы обычно сопровождается увеличением содержания в почве подвижных форм цинка.

В целом постоянными симптомами недостатка цинка в почвах являются хлороз междоузлий, скудный рост, деформация стеблей и листьев (также известная как мелколистная розетка у деревьев) и точечное пурпурно-красное обесцвечивание листьев растений [8].

Виноградарство имеет большое значение для экономики Ростовской области, в наиболее благоприятных условиях восстанавливают виноградники с перспективными и урожайными сортами: Ркацители, Саперави, Каберне Совиньон и многими другими. В связи с этим актуальным является изучение содержания и распределения разных форм биомикроэлементов в почвах ампелоценозов.

Цель исследования – изучение содержания и профильного распределения меди и цинка в черноземе южном при возделывании винограда.

В задачи исследования входило определение валовых и подвижных форм меди и цинка, а также изучение влияния сельскохозяйственного использования на микроэлементный состав чернозема южного при возделывании винограда.

Экспериментальные данные могут быть применены при мониторинге почвенного плодородия, введении новых земельных участков в сельскохозяйственный оборот, внедрении новых технологий возделывания сельскохозяйственных культур, расчете доз минеральных удобрений, а также при прогнозировании и регулировании качества почв.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в производственных условиях на базе ОАО «Янтарное» Мартыновского района Ростовской области. Согласно зональной классификации изучаемого региона Мартыновский район принадлежит к (III) Центральной орошаемой природно-сельскохозяйственной зоне Ша-подзоны. Климат района – континентальный, среднегодовая температура воздуха +8,9 °С, средняя температура января –5,3... –5,5 °С, июля +22,9... +23,2 °С, сумма активных температур выше 10 °С составляет 3300–3450° [9].

Мартыновский район расположен на стыке двух почвенных зон – степной зоны обыкновенных и южных черноземов и сухостепной зоны темно-каштановых и каштановых почв. Северная (к северу от долины р. Сал) и юго-западная часть района находится в подзоне южных черноземов, юго-восточная

относится к подзоне темно-каштановых почв. Отличительным признаком южных черноземов является укороченный гумусовый горизонт 30–65 см, мощность которого убывает с севера на юг и с запада на восток [10; 11].

На территории хозяйства было заложено 4 полнопрофильных разреза на двух производственных полях общей площадью около 113 га. На протяжении 20–25 лет на исследуемых земельных участках сельскохозяйственного назначения ведется возделывание винограда. К агротехнике, применяемой в ходе сельскохозяйственного производства, относятся МТЗ 82.1, ДТ-75, культиватор, дискатор, комбайн, опрыскиватель, помпа для закачки воды, прицеп 2ПТС-4, для сбора винограда используется прицеп «лодочка».

Объектом исследования был чернозем южный среднемощный тяжелосуглинистый на лёссовидном суглинке. Согласно «Классификации и диагностике почв России» [10] исследуемый чернозем следует отнести к агрочернозему текстурно-карбонатному. По Международной реферативной базе почвенных ресурсов [12] исследованная почва относится к Calcic Chernozems. Вследствие меньшей общей продуктивности засушливых дерновинно-злаковых степей и более выраженной аэробности среды в южных черноземах содержание гумуса уменьшается до 3–6 %. Основную часть гумуса составляют связанные с кальцием гуминовые кислоты, в пределах гумусового горизонта С_{гк}/С_{фк} > 1,5. Почвенный профиль характеризуется темно-серой с легким буроватым оттенком окраской, книзу переходящей в неоднородную бурую с темными гумусовыми затеками. Содержание карбонатов кальция в верхнем слое не превышает 1 % (0,5–0,7 %). Книзу количество углекислой извести довольно быстро увеличивается и достигает максимума (13–17 %, а иногда до 21 %) в горизонтах ВС и С, где она накапливается в виде прожилок и белоглазки. Плотность почвы в пахотном слое в среднем составляет 1,05 г/см³, в горизонте В – 1,25–1,35 г/см³, в горизонте ВС – 1,4 г/см³. Характерна нейтральная и слабощелочная реакция среды (рН в горизонтах А и В1 в пределах 7,6–8,1) [11].

Сорт винограда – Саперави северный, относящийся культурам средне-позднего срока созревания. В Ростовской области Саперави северный является одним из ведущих технических сортов винограда, который используется для приготовления красных сухих и десертных вин, игристых виномастералов [7].

Почвенные пробы отобраны согласно ГОСТ Р 58595-2019 [13]. Лабораторные исследования почвенных образцов проводили в трехкратной повторности. Для определения подвижных форм соединений меди и цинка в почве использовали ацетатно-аммонийный буферный раствор (рН 4,8) с последующим применением атомно-абсорбционной спектрометрии (отношение почвы к раствору 1 : 10) [14]. Содержание валовых форм соединений изучаемых элементов определяли с помощью рентгено-флуоресцентного анализа на приборе «Спектроскан МАКС-GV» [15].

Процесс аккумуляции – миграции Cu и Zn по профилю изучали путем расчета коэффициента радиальной дифференциации по формуле:

$$R = \frac{C_{г.п.}}{C_{п.о.п.}},$$

где $C_{г.п.}$ – количество элемента в верхнем горизонте, мг/кг; $C_{п.о.п.}$ – количество элемента в нижнем слое почвы, мг/кг. Если $R > 1$, то элемент накапливается в поверхностном слое почвы, если же $R < 1$, происходит его вынос.

Корреляционный и регрессионный анализ полученных результатов проводили в программе Microsoft Excel. Аппроксимация экспериментальных данных реализована путем построения диаграммы по исходным данным с последующим подбором подходящей аппроксимирующей функции (линии тренда) [16]. Коэффициент детерминации может принимать значения от 0 до 1, в том числе:

– если $R^2 \geq 0,95$, то это свидетельствует о высокой точности аппроксимации (модель хорошо описывает явление);

– если $0,75 \leq R^2 < 0,95$, то это свидетельствует об удовлетворительной аппроксимации (модель в целом адекватно описывает явление);

– если $0,5 \leq R^2 < 0,75$, то это свидетельствует о слабой аппроксимации (модель слабо описывает явление);

– если $R^2 < 0,5$, то это свидетельствует о том, что точность аппроксимации недостаточна, и модель требует изменения.

Оценку загрязнения чернозема южного валовыми и подвижными формами меди и цинка проводили согласно предельно допустимым концентрациям, установленным СанПиН, 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Внутрипрофильное распределение валовых форм меди и цинка под ампелоценозом характеризуется снижением их содержания по мере увеличения глубины и накоплением преимущественно в гумусовом горизонте чернозема южного. Максимальное количество валовых форм меди (62,69 мг/кг) и цинка (98,47 мг/кг) отмечено в гумусово-аккумулятивных горизонтах (рис. 1). Активное накопление меди и цинка в них – характерная черта распределения этих элементов в почвенном профиле черноземов. Данное обстоятельство является результатом действия разных факторов, но прежде всего нахождение изучаемых микроэлементов в верхнем слое почвы отражает их биоаккумуляцию, а также современное антропогенное влияние [18; 19].

В ранее проведенных исследованиях установлено, что при адсорбции Cu и Zn как минералами, так и органическими компонентами в большинстве типов почв происходит их аккумуляция в поверхностных горизонтах [20; 21].

Для отображения тенденций в полученных данных использовали аппроксимирующую функцию (линию тренда). Коэффициент детерминации для валовой меди составляет 0,9529, что указывает на высокую точность аппроксимации ($R^2 \geq 0,95$), для валового цинка $R^2 = 0,9294$, что говорит об адекватном описании явления ($0,75 \leq R^2 < 0,95$) (рис. 1).

Большое количество органических соединений образуют растворимые или нерастворимые комплексы с так называемыми биомикроэлементами, поэтому способность почв связывать Cu и Zn или содержать их в растворенном виде зависит от характера и количества органического вещества в почвах. Гуминовые и фульвокислоты способны образовывать устойчивые комплексы с Cu и Zn, что указывает на важную роль органического вещества в процессах трансформации этих элементов питания. В черноземе обыкновенном установлена прямая зависимость общего содержания Zn ($r = 0,6$ при уровне доверительной вероятности 0,95) от содержания гумуса. Обратная связь выявлена между подвижными соединениями Cu и содержанием гумуса ($r = -0,5$) [21; 22]. Также прочному закреплению металлов способствует тяжелый гранулометрический состав (содержание физической глины в горизонте А чернозема южного составляет 53,0–56,5 %), сравнительно высокая емкость катионного обмена (35–40 ммоль (экв.)/100 г почвы),

достаточное количество гумуса и соединений Fe, а также присутствие глинистых минералов в почве [12; 23].

Расчитанные коэффициенты радиальной дифференциации свидетельствуют о постепенном снижении валовых форм меди и цинка по профилю почвы с наибольшей их аккумуляцией в гумусовых горизонтах на всех исследуемых производственных участках. Коэффициент детерминации для валовых форм Cu и Zn свидетельствует об адекватном описании явления ($0,75 \leq R^2 < 0,95$) (рис. 2).

В агрономической практике большую роль играют растворимые, а точнее, подвижные и доступные для растений формы Cu и Zn в почвах. Выявлено, что с увеличением глубины происходит постепенное снижение содержания подвижных форм микроэлементов: количество меди в горизонте Ап составляет 0,29 мг/кг, снижаясь на 34,5 % вниз по профилю, до 0,19 мг/кг (горизонт С) (рис. 3а), у цинка уменьшение достигает 50 % с горизонта Ап (0,36 мг/кг) до горизонта С (0,18 мг/кг) (рис. 3б). Коэффициент детерминации для подвижной Cu равен 0,931, что указывает на удовлетворительную

аппроксимацию ($0,75 \leq R^2 < 0,95$), для валового Zn установлена высокая точность аппроксимации ($R^2 = 0,9643$) (рис. 3).

Низкое содержание подвижных соединений изученных микроэлементов в черноземе южном в амеллоценозе объясняется присутствием карбонатов. Содержание карбонатов кальция в пахотном горизонте способно находиться в пределах 2,3–3,4 %, в горизонтах ВС и С может достигать 13–17, а иногда 21 % [24; 25]. Карбонатные роды чернозема южного характеризуются, соответственно, и высокими значениями pH, при которых рассматриваемые биомикроэлементы переходят в труднодоступную для растений форму. Непрочно связанные соединения Zn в основном представлены специфически сорбированными формами. Неподвижность Zn в насыщенных Ca и P почвах, в хорошо аэрируемых почвах играет важное практическое значение, которое определяет возникновение недостатка Zn для растений и будущие планируемые методы восстановления его содержания до нормы. В результате проведенных исследований отмечена обратная корреляционная связь между исследуемыми микро-

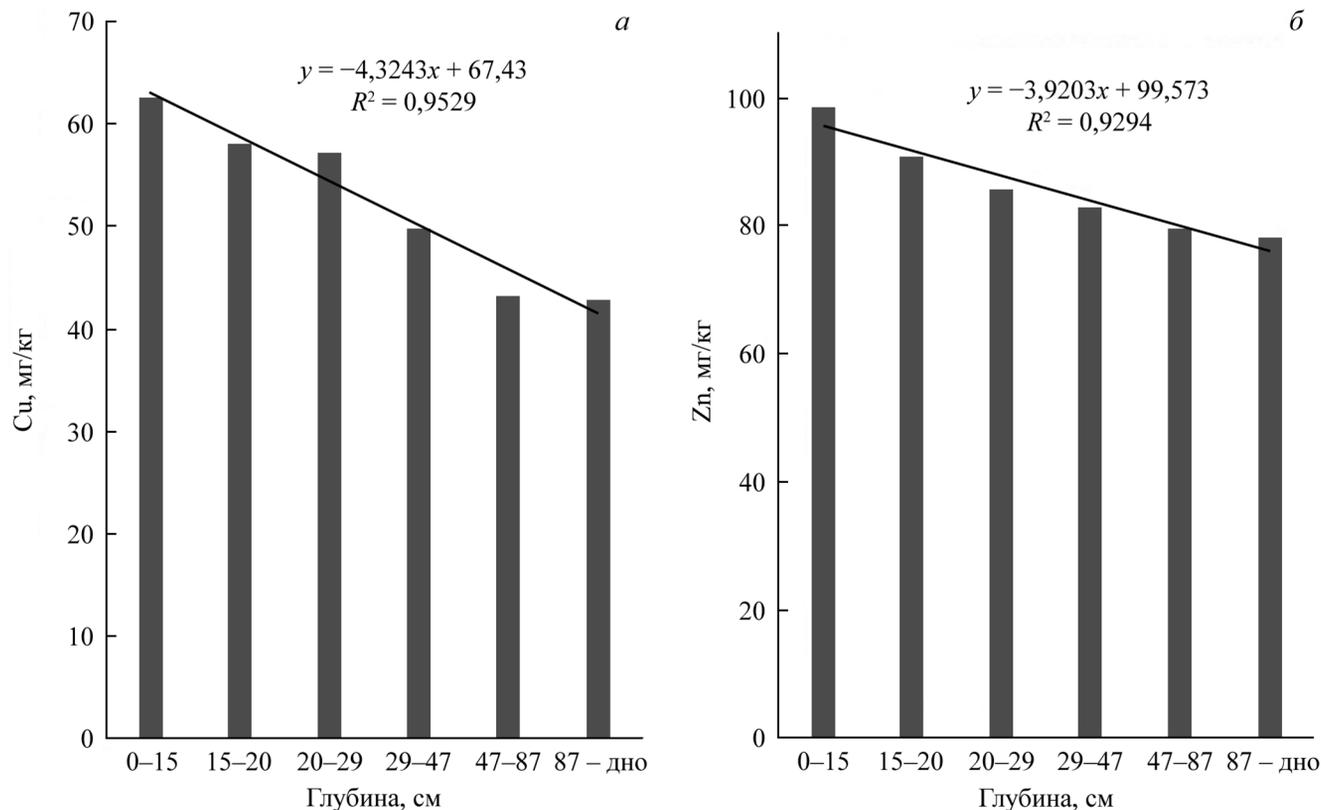


Рис. 1. Профильное распределение валовых форм Cu (а) и Zn (б) в черноземе южном под виноградным растением, мг/кг почвы.
Fig. 1. Profile distribution of gross forms of Cu (a) and Zn (b) in calcic chernozem under a grape plant, mg/kg of soil.

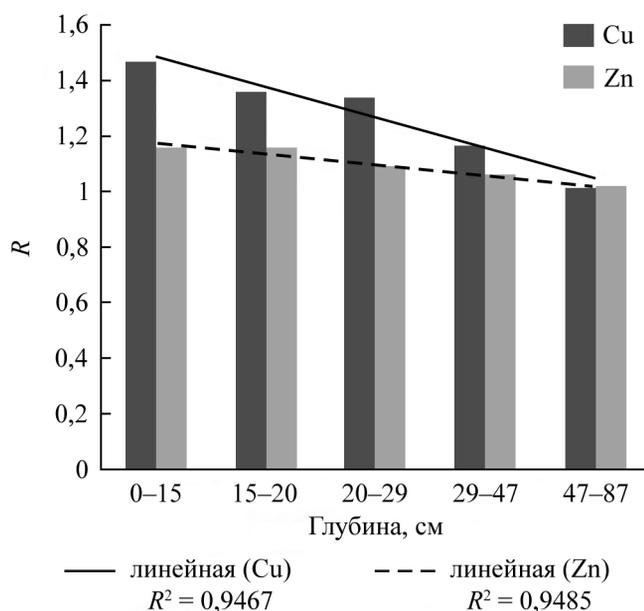


Рис. 2. Коэффициенты радиальной дифференциации валовых форм Cu и Zn в почвенном профиле чернозема южного.
Fig. 2. The coefficients of radial differentiation of gross forms of Cu and Zn in the soil profile of calcic chernozem.

элементами и CaO: для меди $r = -0,85$, для цинка $r = -0,81$ [24]. Данные зависимости могут отражать как влияние адсорбции и осаждения, так и взаимодействие между этими элементами [19].

Полученные коэффициенты радиальной дифференциации указывают на постепенное снижение

подвижных форм меди и цинка вниз по профилю чернозема южного (рис. 4).

Согласно группировке почв по содержанию подвижных форм микроэлементов обеспеченность чернозема южного цинком низкая ($< 2,0$ мг/кг), медью – средняя (0,21–0,50 мг/кг), что связано с их выносом при отсутствии восполнения микроудобрениями [10]. По обобщенным данным, вынос меди с 1 гектара составляет 61–115 г, цинка – 100–120 г. Интенсивная аккумуляция Cu наблюдается в корнях растения, Zn – в надземных органах [1; 20; 25; 26].

В соответствии с СанПиН 1.23684-21 [27] была проведена оценка степени загрязнения чернозема южного исследуемыми элементами. Превышений гигиенических нормативов по содержанию подвижных и валовых форм меди и цинка по всему профилю чернозема южного не было обнаружено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что содержание и распределение валовых и подвижных форм меди и цинка под ампелоценозом на черноземе южном (агрочернозем текстурно-карбонатный) характеризуется их активным накоплением в гумусо-аккумулятивных горизонтах.

На основе полученных данных рассчитаны коэффициенты радиальной дифференциации, кото-

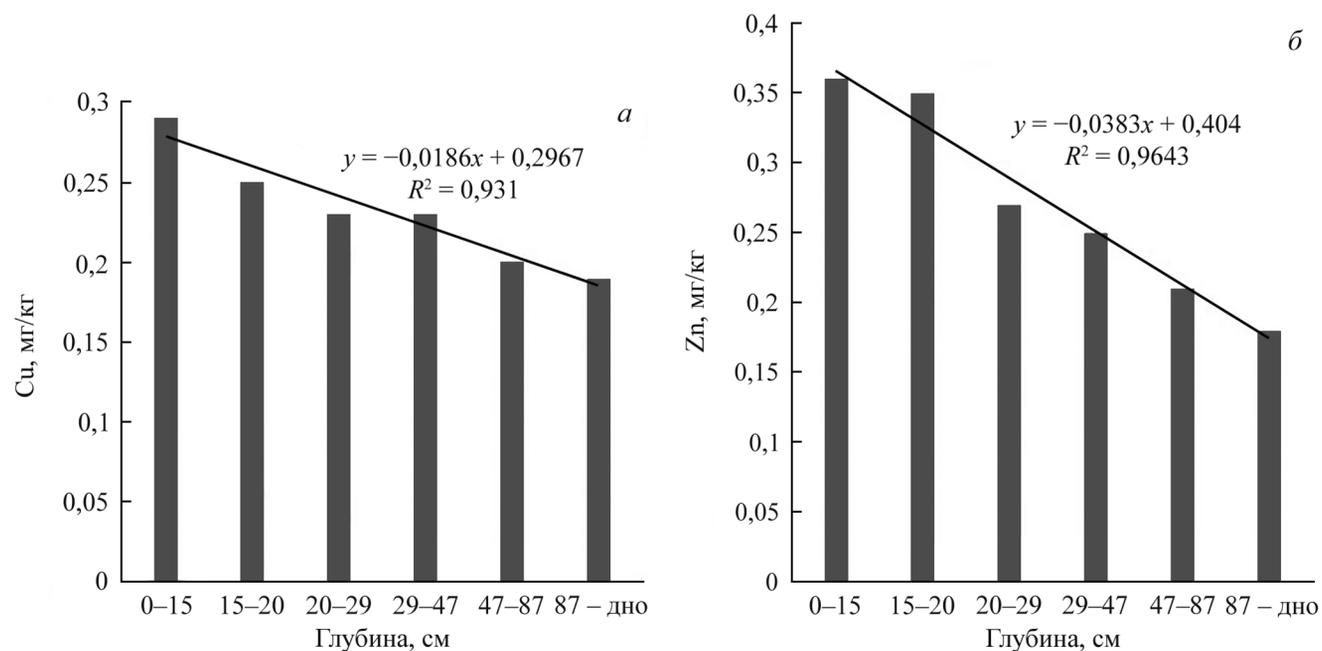


Рис. 3. Профильное распределение подвижных форм Cu (а) и Zn (б) в черноземе южном под виноградным растением, мг/кг почвы.
Fig. 3. Profile distribution of mobile forms of Cu (a) and Zn (б) in calcic chernozem under a grape plant, mg/kg of soil.

рые свидетельствуют о постепенном снижении валовой и подвижной форм меди и цинка вниз по профилю почвы с наибольшей их аккумуляцией в гумусовых горизонтах.

Отмечена обратная корреляционная связь между исследуемыми биомикроэлементами и CaO (для меди $r = -0,85$, для цинка $r = -0,81$), которая может являться следствием процессов адсорбции и осаждения, а также взаимодействия между этими элементами.

Определено, что обеспеченность чернозема южного подвижными формами цинка низкая ($< 2,0$ мг/кг), меди – средняя (0,21–0,50 мг/кг), что связано с их активным выносом растениями винограда в период формирования урожая и указывает на необходимость внесения в почву микроудобрений, прежде всего содержащих цинк.

В целом содержание валовых и подвижных соединений Cu и Zn в черноземе южном при возделывании винограда соответствует их региональному уровню и не превышает предельно допустимых концентраций, что имеет важное агроэкологическое значение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малтабар Л.М., Шабанова И.В., Гайдукова Н.Г. 2006. Комплексные микроудобрения в виноградарстве. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 4: 103–113.
2. Минеев А.В., Величко В.Ю. 2003. Влияние микроэлементов и фитогормонов на биометрические показатели растений. *Агробиологический вестник*. 5: 27–29.
3. Протасова Н.А., Щербаков А.П. 2003. *Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья*. Воронеж, изд-во ВГУ: 368 с.
4. Малых Г.П., Макарова А.Г., Магоматов А.С. 2019. Повышение продуктивности и качества столовых сортов винограда с применением макро- и микроудобрений в условиях Терско-Кумских песков. *Вестник Донского государственного аграрного университета*. № 1–1(31): 43–52.
5. Гугучкина Т.И., Серпуховитина К.А., Якименко Е.Н., Хмыров А.П. 2007. Новые формы минеральных удобрений для повышения урожайности и качества винограда сорта Мерло. *Виноделие и виноградарство*. 4: 30–31.
6. Жизневская Г.Я. 1961. Об эффективности совместного внесения молибдена и меди под сельскохозяйственные культуры. В кн.: *Труды Института биологии АН Латвийской ССР. Т. 21. Микроэлементы и урожай*. Рига, изд-во Академии наук Латвийской ССР: 77–101.
7. Лукьянов А.А., Большаков В.А. 2018. База данных сортов Анапской ампелографической коллекции. *Русский виноград*. 7: 47–53.

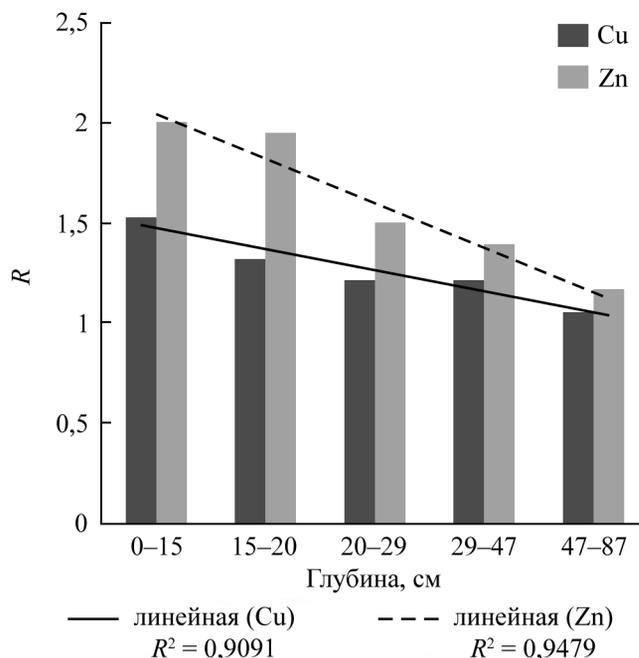


Рис. 4. Коэффициенты радиальной дифференциации подвижных форм Cu и Zn в почвенном профиле чернозема южного.

Fig. 4. The coefficients of radial differentiation of mobile forms of Cu and Zn in the soil profile of calcic chernozem.

8. Кучеренко А.В., Бирюкова О.А., Медведева А.М., Минкина Т.М., Шерстнев А.К. 2021. Содержание и распределение Mn, Zn и Cu в черноземе южном. В кн.: *Актуальные проблемы экологии и природопользования. Сборник научных трудов XXII Международной научно-практической конференции. В трех томах.. Том 1 (Москва, 22–24 апреля 2021 г.)*. М., РУДН: 484–488.
9. *Зональные системы земледелия Ростовской области. 2022–2026 годы*. 2022. Ростов н/Д, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области: 734 с.
10. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. 2004. *Классификация и диагностика почв России*. Смоленск, Ойкумена: 342 с.
11. Безуглова О.С., Хырхырова М.М. 2008. *Почвы Ростовской области*. Ростов н/Д, изд-во ЮФУ: 352 с.
12. IUSS Working Group WRB. 2022. *World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition*. Vienna, International Union of Soil Sciences (IUSS): 234 p.
13. *ГОСТ Р 58595-2019. Почвы. Отбор проб*. 2019. М., Стандартинформ: 8 с.
14. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Амелянчик О.А., Большева Т.Н., Гомонова Н.Ф., Дурынина Е.П., Егоров В.С., Егорова Е.В., Едемская Н.Л., Карпова Е.А., Прижукова В.Г. 2001. *Практикум по агрохимии*. М., изд-во МГУ: 689 с.
15. *Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственной и продуктивной растениеводства*. 1992. М., ЦИНАО: 61 с.
16. Курзаева Л.В. 2016. Регрессионный анализ в электронных таблицах. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 12(7): 1234–1238.

REFERENCES

17. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (с изменениями и дополнениями от 30 декабря 2022 г.). *Гарант*. URL: <https://base.garant.ru/400274954/>.
18. Жуйков Д.В. 2021. Мониторинг содержания цинка в агроценозах Белгородской области. *Агрохимический вестник*. 4: 14–19. doi: 10.24412/1029-2551-2021-4-003
19. Бауэр Т.В., Минкина Т.М., Манджиева С.С., Чаплыгин В.А., Невидомская Д.Г., Сушкова С.Н., Бакоев С.Ю. 2015. Фоновое содержание и состав соединений цинка, меди и свинца в черноземе обыкновенном естественных ландшафтов Ростовской области. *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. 4(20): 186–199.
20. Kabata-Pendias A. 2011. *Trace elements in soils and plants. Fourth edition*. Boca Raton, CRC Press: 548 p. doi: 10.1201/b10158
21. Горбунова Н.С., Протасова Н.А. 2008. Формы соединений марганца, меди и цинка в черноземах Центрально-черноземного региона. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2: 77–85.
22. Medvedeva A.M., Biryukova O.A., Kucherenko A.V., Pchenko Ya.I., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Mazarji M. 2023. The effect of resource-saving tillage technologies on the mobility, distribution and migration of trace elements in soil. *Environmental Geochemistry and Health*. 45(1): 85–100. doi: 10.1007/s10653-021-01193-6
23. Лукин С.В. 2012. Мониторинг содержания микроэлементов Zn, Cu, Mo, Co, Pb, Cd, As, Hg в пахотных черноземах юго-запада Центрально-Черноземной зоны. *Агрохимия*. 11: 52–59.
24. Кучеренко А.В., Бирюкова О.А., Кучменко Е.В. 2021. Содержание и распределение Mn в чернозёме южном при возделывании различных сельскохозяйственных культур. *Живые и биокосные системы*. 36. URL: <https://jbks.ru/archive/issue-36/article-1/>. doi: 10.1822/2308-9709-2021-36-1
25. Велисар С.Г., Леманова Н.Б., Гладей М.А., Братко Д.Н. 2018. Влияние микроэлементов и ростстимулирующих бактерий на устойчивость винограда к избытку меди в почве. *Агрохимия*. 6: 68–76. doi: 10.7868/S000218811806008X
26. Zhao S.-L., Duo L.-A. 2002. Initial growth effect and ecological threshold of *Festuca arundinacea* L. under progressive stress of Cu²⁺ and Zn²⁺. *Acta Ecologica Sinica*. 22(7): 1043–1050.
27. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 3 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий». *КонсультантПлюс*. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_376166/d46bb4ace56674ca6db0882f108e864d328f231d/.
1. Maltabar L.M., Shabanova I.V., Gaydukova N.G. 2006. [Complex microfertilizers in viticulture]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 4: 103–113. (In Russian).
2. Mineev A.V., Velichko V.Yu. 2003. [The effect of trace elements and phytohormones on the metric indicators of plants]. *Agrokhimicheskij vestnik*. 5: 27–29. (In Russian).
3. Protasova N.A., Shcherbakov A.P. 2003. *Mikroelementy (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) v chernozemakh i serykh lesnykh pochvakh Tsentral'nogo Chernozem'ya*. [Trace elements (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) in chernozems and gray forest soils of the Central Chernozem region]. Voronezh, Voronezh State University: 368 p. (In Russian).
4. Malyh G.P., Makarova A.G., Magomadov A.S. 2019. [Increasing productivity and quality of table grapes with macro and microfertilizers in the conditions of the Terek-Kuma sands]. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 1–1(31): 43–52. (In Russian).
5. Guguchkina T.I., Serpukhovitina K.A., Yakimenko E.N., Khmyrov A.P. 2007. [New forms of mineral fertilization to provide higher yields and quality of Merlot base wines]. *Vinodelie i vinogradarstvo*. 4: 30–31. (In Russian).
6. Zhiznevskaya G.Ya. 1961. [On the effectiveness of the joint application of molybdenum and copper for agricultural crops]. In: *Trudy Instituta biologii AN Latvyskoy SSR. T. 21. Mikroelementy i urozhay*. [Proceedings of the Institute of Biology of the Academy of Sciences of the Latvian SSR. Vol. 21. Trace elements and harvest]. Riga, Academy of Sciences of the Latvian SSR: 77–101. (In Russian).
7. Lukyanov A.A., Bolshakov V.A. 2018. [Variety data base of Anapa ampelographic collection]. *Russkiy vinograd*. 7: 47–53. (In Russian).
8. Kucherenko A.V., Biryukova O.A., Medvedeva A.M., Minkina T.M., Sherstnev A.K. 2021. [Content and distribution of Mn, Zn and Cu in southern chernozem]. In: *Aktual'nye problemy ekologii i prirodopol'zovaniya. Sbornik nauchnykh trudov XXII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. V trekh tomakh. Tom 1. [Actual problems of ecology and nature management. Collection of scientific papers of the XXII International scientific-practical conference. Vol. 1 (Moscow, Russia, 22–24 April 2021)]*. Moscow, RUDN University: 484–488. (In Russian).
9. *Zonal'nye sistemy zemledeliya Rostovskoy oblasti. 2022–2026 gody*. [Zonal farming systems of Rostov Region. 2022–2026]. 2022. Rostov-on-Don, Ministry of Agriculture and Food of Rostov Region: 734 p. (In Russian).
10. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. 2004. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii*. [Classification and diagnostics of soils of Russia]. Smolensk, Oykumena: 342 p. (In Russian).
11. Bezuglova O.S., Khyrkyrova M.M. 2008. *Pochvy Rostovskoy oblasti*. [Soils of Rostov Region]. Rostov-on-Don, Southern Federal University: 352 p. (In Russian).
12. IUSS Working Group WRB. 2022. *World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for*

- naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition.* Vienna, International Union of Soil Sciences (IUSS): 234 p.
13. GOST R 58595-2019. *Pochvy. Otbor prob.* [GOST R 58595-2019. *Soil. Sampling*]. 2019. Moscow, Standartinform: 8 p. (In Russian).
 14. Mineev V.G., Sychev V.G., Amel'yanchik O.A., Bolysheva T.N., Gomonova N.F., Durygina E.P., Egorov V.S., Egorova E.V., Edemskaya N.L., Karpova E.A., Prizhukova V.G. 2001. *Praktikum po agrokhimii.* [Workshop on agrochemistry]. Moscow, Moscow State University: 689 p. (In Russian).
 15. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu tyazhelykh metallov v pochvakh sel'khozugodiy i produktii rastenievodstva.* [Guidelines for the determination of heavy metals in agricultural soils and crop products]. 1992. Moscow, Central Research Institute of Agrochemical Services for Agriculture: 61 p. (In Russian).
 16. Kurzaeva L.V. 2016. [Regression analysis in spreadsheets]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy.* 12(7): 1234–1238. (In Russian).
 17. [Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of January 28, 2021 No. 2 “On Approval of Sanitary Rules and Norms SanPiN 1.2.3685-21 “Hygienic Standards and Requirements for Ensuring the Safety and (or) Harmlessness to Humans of Environmental Factors” (as amended on December 30, 2022)]. *Garant.* Available at: <https://base.garant.ru/400274954/>. (In Russian).
 18. Zhuikov D.V. 2021. [Zinc concentration monitoring in agrocoenosis of the Belgorod Region]. *Agrokhimicheskiy vestnik.* 4: 14–19. (In Russian). doi: 10.24412/1029-2551-2021-4-003
 19. Bauer T.V., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Chaplygin V.A., Nevidomskaya D.G., Sushkova S.N., Bakoev S.Yu. 2015. [Background content and composition of zinc, copper and lead compounds in ordinary chernozem of natural landscapes of the Rostov Region]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii.* 4(20): 186–199. (In Russian).
 20. Kabata-Pendias A. 2011. *Trace elements in soils and plants. Fourth edition.* Boca Raton, CRC Press: 548 p. doi: 10.1201/b10158
 21. Gorbunova N.S., Protasova N.A. 2008. [Forms of compounds of manganese, copper and zinc in the chernozems of the Central Chernozem region]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya.* 2: 77–85. (In Russian).
 22. Medvedeva A.M., Biryukova O.A., Kucherenko A.V., Ilchenko Ya.I., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Mazarji M. 2023. The effect of resource-saving tillage technologies on the mobility, distribution and migration of trace elements in soil. *Environmental Geochemistry and Health.* 45(1): 85–100. doi: 10.1007/s10653-021-01193-6
 23. Lukin S.V. 2012. [Monitoring of trace elements Zn, Cu, Mo, Co, Pb, Cd, As, Hg in arable chernozems of the southwestern regions of the Central Chernozemic zone]. *Agrokhimiya.* 11: 52–59. (In Russian).
 24. Kucherenko A.V., Biryukova O.A., Kuchmenko E.V. 2021. [Mn content and distribution in southern chernozem during cultivation of various crops]. *Zhivye i biokosnye sistemy.* 36. URL: <https://jbks.ru/archive/issue-36/article-1/>. (In Russian). doi: 10.1822/2308-9709-2021-36-1
 25. Velikar S.G., Lemanova N.B., Gladey M.A., Bratko D.N. 2018. [Effect of trace elements and plant growth-promoting rizobacteria on tolerance of grape plants to soil copper excess]. *Agrokhimiya.* 6: 68–76. (In Russian). doi: 10.7868/S000218811806008X
 26. Zhao S.-L., Duo L.-A. 2002. Initial growth effect and ecological threshold of *Festuca arundinacea* L. under progressive stress of Cu²⁺ and Zn²⁺. *Acta Ecologica Sinica.* 22(7): 1043–1050.
 27. Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated January 28, 2021 No. 3 “On approval of sanitary rules and norms SanPiN 2.1.3684-21 “Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of the territories of urban and rural settlements, for water bodies, drinking water and drinking water supply, atmospheric air, soils, residential premises, operation of industrial, public premises, organization and implementation of sanitary and anti-epidemic (preventive) measures”. *Konsul'tantPlyus.* Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_376166/d46bb4ace56674ca6db0882f108e864d328f231d/. (In Russian).

Поступила 18.05.2023