

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ, ЭКОЛОГИЯ

Оригинальная научная статья
УДК 504.5: 631.453 (497.11)
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-13-28>



**Эколого-геохимическая оценка накопления тяжелых металлов
в почве разновозрастных ампелоценозов в условиях склонового ландшафта
горной гряды Фрушка гора Республики Сербия**

**Ирина Викторовна Андреева, Валерия Вячеславовна Габечая,
Дмитрий Владимирович Морев, Евгений Борисович Таллер**

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Андреева Ирина Викторовна; i.andreeva@rgau-msha.ru

Аннотация. Цель исследований заключалась в эколого-геохимической оценке латеральной миграции тяжелых металлов в верхних горизонтах бурой лесной остаточно-карбонатной почвы в транзитном геохимическом ландшафте под разновозрастными виноградниками, выращиваемыми на склонах горной гряды Фрушка гора в Республике Сербия. Практическая значимость работы состояла в уточнении уровня экологического риска при культивировании разновозрастных виноградников в условиях проявления склоновых эрозионных процессов. Отбор почвенных проб проводили в рядах винограда в пределах сопряженных транзитных ландшафтов склонов с глубины 0-5, 5-15 и 15-30 см. Валовое содержание тяжелых металлов в почве и ягодах винограда определяли атомно-адсорбционным методом после микроволнового разложения. Результаты исследований показали высокую активность миграции меди и хрома в почве 15-летнего действующего виноградника от трансэлювиальной к трансаккумулятивной фации с усилением в горизонте 15-30 см. В почве выведенного из эксплуатации 100-летнего виноградника преобладала радиальная миграция с накоплением железа, марганца, кобальта и интенсивным накоплением меди с коэффициентом латеральной дифференциации 3,21 в горизонте 15-30 см в средней части склона. Максимальное содержание меди в почве возрастного виноградника составило 115,4 мг/кг, что на 28% превышает установленную в Республике Сербия величину максимально допустимого количества для среднесуглинистых почв. Близкие к нормативному значения содержания меди в почве молодого ампелоценоза (87,4-93,2 мг/кг) были обнаружены в нижней части склона по всей исследуемой глубине 0-30 см, которые были достигнуты всего за 15 лет выращивания. Максимальное накопление меди в ягодах (7,7 мг/кг) обнаружено в 100-летнем винограднике, расположенном в нижней части склона, где верхние горизонты почвы в отсутствие пестицидных обработок обеднены медью. Это косвенно свидетельствует о многолетней миграции меди в нижележащие горизонты почвы в условиях трансаккумулятивного элементарного ландшафта во влажный сезон года и о ее извлечении глубокой корневой системой старых виноградных растений.

Ключевые слова: почвы ампелоценозов, виноградник, склоновый ландшафт, почвы склонов, геохимический ландшафт, тяжелые металлы, загрязнение почвы, медь, миграция тяжелых металлов, бурая лесная почва, Фрушка гора, Сербия

Для цитирования: Андреева И.В., Габечая В.В., Морев Д.В., Таллер Е.Б. Эколого-геохимическая оценка накопления тяжелых металлов в почве разновозрастных ампелоценозов в условиях склонового ландшафта горной гряды Фрушка гора Республики Сербия // Тимирязевский биологический журнал. – 2023. – № 3. – С. 13-28. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-13-28>

© Андреева И.В., Габечая В.В., Морев Д.В., Таллер Е.Б., 2023

Original article

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-13-28>

Ecological and Geochemical Assessment of Heavy Metal Accumulation in Soil of Different-Aged Ampelocoenoses in the Slope Landscape of the Fruška Gora Mountain Range, Republic of Serbia

Irina V. Andreeva, Valeriya V. Gabechaya, Dmitriy V. Morev, Evgeniy B. Taller

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Irina V. Andreeva, i.andreeva@rgau-msha.ru

Abstract. The aim of the present research was the ecological and geochemical assessment of the lateral migration of heavy metals in the upper horizons of brown forest residual-calcareous soil (Eutric Cambisol) in a transit geochemical landscape under different-aged vineyards grown on the slopes of the Fruška Gora mountain range in the Republic of Serbia. The practical significance of the work was to clarify the level of ecological risk in the cultivation of different-aged vineyards in the conditions of slope erosion processes. Soil samples were taken from rows of vines in transit slope landscapes at depths of 0-5, 5-15 and 15-30 cm. The total content of heavy metals in soil and grape berries was determined by atomic adsorption method after microwave decomposition. The results of the study showed a high activity of copper and chromium migration in the soil of a 15-year-old active vineyard from trans-eluvial to trans-accumulative facies with intensification in the 15-30 cm horizon. Radial migration with accumulation of iron, manganese, cobalt and intensive accumulation of copper with a lateral differentiation coefficient of 3.21 in the 15-30 cm horizon in the middle part of the slope prevailed in the soil of the abandoned 100-year-old vineyard. The highest copper concentration found in the soil of the old vineyard was 115.4 mg/kg, which is 28% higher than the maximum permissible copper content established for medium loamy soils in the Republic of Serbia. Copper content levels in the soils of the young ampelocoenosis were close to the normative values (87.4-93.2 mg/kg), found in the lower part of the slope up to a depth of 30 cm, which were achieved after only 15 years of cultivation. The highest copper concentration in grapes (7.7 mg/kg) was found in a 100-year-old vineyard located in the lower part of the slope, where the upper soil horizons were copper-depleted in the absence of pesticide treatments. This indirectly indicates the perennial migration of copper to the underlying soil horizons under trans-accumulative elemental landscape conditions during the wet season of the year and its extraction by the deep root system of old vines.

Key words: ampelocoenosis soils, vineyard, slope landscape, slope soils, geochemical landscape, heavy metals, soil pollution, copper, heavy metal migration, brown forest residual-calcareous soil (Eutric Cambisol), Fruška Gora Mountain, Serbia

For citation: Andreeva I.V., Gabechaya V.V., Morev D.V., Taller E.B. Ecological and Geochemical Assessment of Heavy Metal Accumulation in Soil of Different-Aged Ampelocoenoses in the Slope Landscape of the Fruška Gora Mountain Range, Republic of Serbia. *Timiryazev Biological Journal*. 2023;3:13-28. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-13-28> (In Rus.)

© Andreeva I.V., Gabechaya V.V., Morev D.V., Taller E.B., 2023

Введение

Виноградники представляют собой уникальный тип агроэкосистем, распространенных в горных и холмистых ландшафтах с присущими им региональными и местными климатическими, геоморфологическими, гидрологическими и педологическими условиями. В связи с этим виноградники являются сложными, но чрезвычайно интересными объектами исследования с точки зрения изучения накопления и миграционных потоков вещества от автономных к подчиненным элементарным ландшафтам по геохимическим сопряжениям в условиях комбинаторного действия природных и агрогенных факторов.

Многолетнее выращивание винограда на склонах различной крутизны, экспозиции, формы и протяженности с применением механизированных операций по уходу за почвой и растениями, многочисленных обработок пестицидами и агрохимикатами оказывают влияние на миграционно-аккумулятивные процессы в различных компонентах агроландшафта, и прежде всего – в почве. В этой связи применение ландшафтного подхода к эколого-геохимическим исследованиям в ампелоценозах позволяет объективно выявить качественные и количественные характеристики миграционных процессов и концентрации загрязняющих веществ в почве и, как следствие, связанные с ними экологические риски для сопредельных сред и производства экологически безопасной продукции виноградарства и виноделия [1, 2].

Основным источником загрязняющих веществ, поступающих в почвы при возделывании винограда, являются неорганические и органические пестициды. История применения в ампелоценозах металлосодержащих препаратов для химической борьбы с вредными организмами насчитывает около полутора сотен лет с того момента, когда были открыты защитные свойства меди, мышьяка, ртути. В середине XX в. масштабы применения медьсодержащих пестицидов в садовых плантационных экосистемах в мире достигли огромных размеров, и они не потеряли актуальности до сих пор. Из-за высокой эффективности, дешевизны и относительной малотоксичности для теплокровных животных и человека альтернатив медьсодержащим фунгицидам не нашлось даже в органическом земледелии, где эти препараты разрешено использовать с ограничением в дозировке на единицу площади. Металлы также входят в состав пестицидов нового поколения, например, некоторых дитиокарбаматов.

Многолетнее поступление в почву виноградников меди и других тяжелых металлов привело к их интенсивному накоплению в верхней части профиля почв, в особенности исторических винодельческих регионов, что отмечается во многих исследованиях [3, 4]. Из сообщений о концентрациях меди в верхних горизонтах почв виноградников, в основном на европейском, австралийском и южноамериканском континентах, можно сделать вывод, что содержание металла в ампелоценозах находится в диапазоне от 100 до 1500 мг/кг, причем наибольшие концентрации установлены для самой верхней части почвенного профиля [5, 6, 7]. В опубликованных за последние годы работах, главным образом, зарубежных авторов, можно встретить мнение о том, что медь в поверхностных горизонтах почвы ампелоценозов не угрожает качеству урожая, поскольку, с одной стороны, обладает низкой подвижностью, а с другой стороны, зона всасывания корневой системы растений винограда располагается гораздо глубже. Также некоторые авторы подчеркивают, что, даже поступив в растение, медь практически не достигает ягод и дезактивируется на уровне корня и стебля. Таким образом, несмотря на видимую очевидность и проработанность проблемы накопления меди в почве виноградников, наличие дискуссионных вопросов показывает необходимость в дополнительных сведениях о параметрах накопления меди в почве и растениях, тем более что на этот процесс оказывает влияние множество факторов – климатических, химических, эдафогенных, орографических. Также мало исследований такого рода проводится на возрастных виноградниках и в условиях склонового ландшафта, усиливающего миграционные процессы [5, 6, 7, 8, 12, 13]. **В связи с этим цель исследований** состояла в эколого-геохимической оценке накопления тяжелых металлов в почве путем анализа их латерального распределения и миграции в ряду сопряженных элементарных ландшафтов, а также поступления в продукцию виноградарства, на примере 15-летнего и 100-летнего ампелоценозов горной гряды Фрушка гора Автономного края Воеводина Республики Сербия.

Методика исследований

Исследования проводились на винограднике частного винодельческого хозяйства, расположенного в восточной части горной гряды Фрушка гора (Правобережье Дуная) в Автономном крае Воеводина Республики Сербия (рис. 1). Климат района исследования умеренно-континентальный, влажный и мягкий. Среднегодовая температура воздуха в районе исследования составляет 11,8°C, среднегодовое количество осадков – 764 мм, за вегетационный период выпадает 431 мм (56,4% от среднегодового). Недостаток влаги в почве наблюдается в августе и сентябре, избыток влаги – с декабря по апрель со средней вероятностью появления плювиальной эрозии [8].

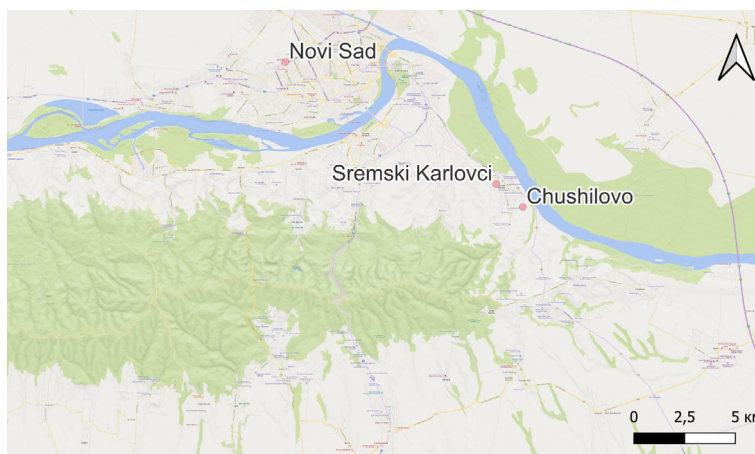


Рис. 1. Картограмма расположения региона исследования и винодельческого хозяйства у сельского поселения Чушилово (QGIS3.34, масштаб: 1:25000)

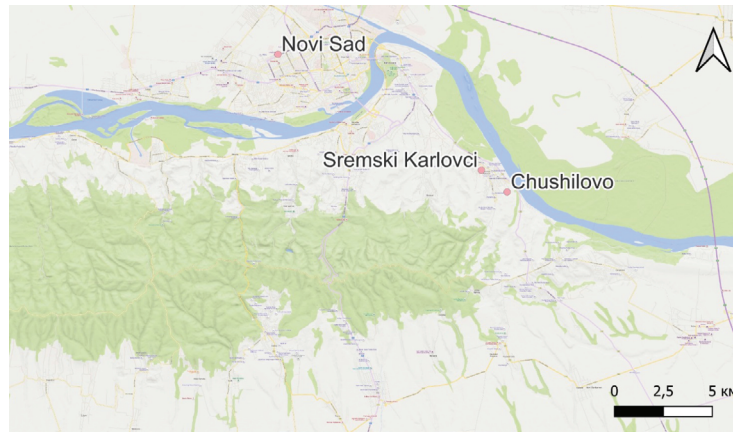


Fig. 1. Location map of the study area and winery near Chushilovo rural settlement of (QGIS3.34, scale: 1:25000)

Объектами исследования выступили бурые лесные остаточно-карбонатные (Eutric Cambisols, FAO (1988), Haplic Cambisols Calcaric, WRB (2006) почвы в условиях склонового ландшафта Среднедунайской возвышенности (рис. 2). Традиционное название этих почв в Сербии – *gajnjača*. Это среднесуглинистая почва с благоприятным водным и воздушным режимом, традиционно используемая под сады и виноградники.

Информация об особенностях расположения ампелоценозов в ландшафте, возрасте и сорте культивируемых насаждений представлена в таблице 1.

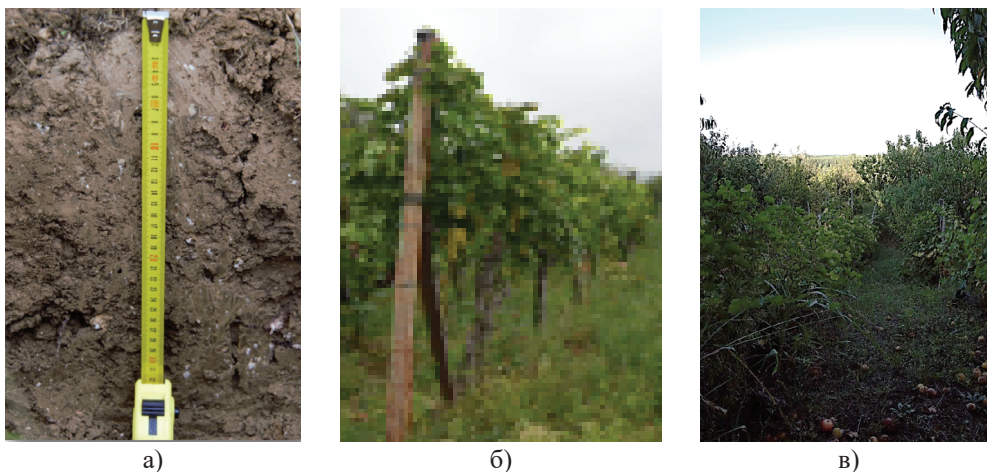


Рис. 2. Бурая лесная остаточно-карбонатная почва (Eutric Cambisols, FAO, 1988), Haplic Cambisols Calcaric, WRB, 2006) в винодельческом хозяйстве у сельского поселения Чушилово (а); 15-летний виноградник, размещенный на склоне северной экспозиции (б); 100-летний виноградник, размещенный на склоне восточной экспозиции (в)

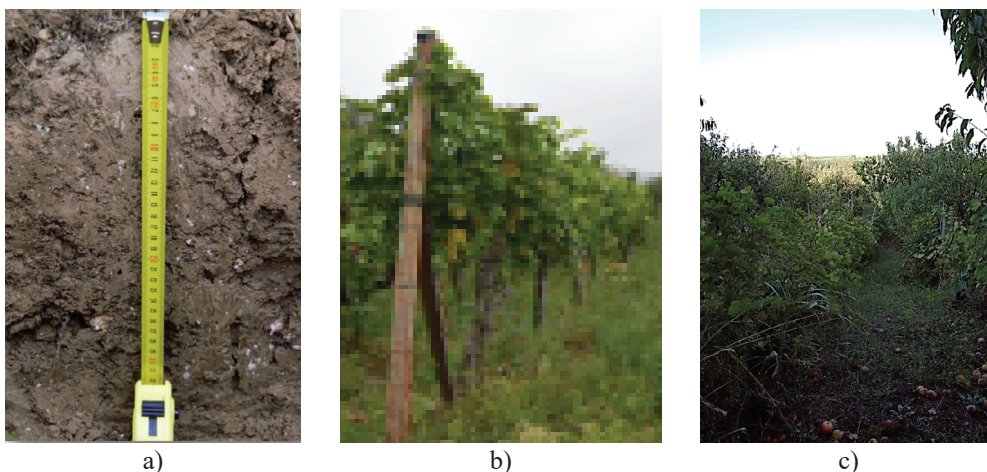


Fig. 2. Brown forest residual-calcareous soil (Eutric Cambisols, FAO, 1988), Haplic Cambisols Calcaric, WRB, 2006) in a winery near Chushilovo rural settlement of (a); 15-year-old vineyard placed on a slope of northern exposure (b); 100-year-old vineyard placed on a slope of eastern exposure (c)

Таблица 1

Характеристика исследуемых разновозрастных ампелоценозов и их положение в ландшафте

Виноградник				Склон		
Местоположение	Система ведения куста	Возраст, лет	Сорт	Экспозиция	Крутизна, град.	Протяженность, м
г. Сремски Карловци, сельское поселение Чушилово	Вертикальная шпалера	100	Мерло	Восточная	5-8	27
		15		Северная	3	41

Table 1

Characteristics of the studied different-aged ampelocoenoses and their position in the landscape

Vineyard				Slope		
Location	Shrub management system	Age, years	Variety	Exposure	Steepness, deg.	Length, m
t. Sremski Karlovci, Chushilovo rural settlement	Vertical trellis	100	Merlot	Eastern	5-8	27
		15		Northern	3	41

Рассматриваемое винодельческое хозяйство практикует традиционную шпалерно-рядовую систему ведения куста с задерненными междурядьями с применением химической системы защиты растений. Винограднику, расположенному на склоне северной экспозиции, – 15 лет, винограднику на склоне восточной экспозиции – более 100 лет, причем последние 40 лет данный виноградник был выведен из эксплуатации, обработку пестицидами и надлежащий уход за насаждениями владелец не осуществлял.

Отбор почвенных проб производили в рядах винограда в пределах сопряженных транзитных ландшафтов склонов по М.А. Глазовской (2002): трансэлювиального (верхняя T_1^3 и средняя T_2^3 части склона), и трансэлювиально-аккумулятивного (трансаккумулятивного) (нижняя T^{3a} часть склона).

Точечные почвенные пробы отбирали почвенным буром методом конверта с глубины 0-5, 5-15 и 15-30 см в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017, из 5 точечных проб получали объединенную пробу. Пробоподготовку почвенных проб выполняли в соответствии с ГОСТ ISO 11464-2015. Отобранные ягоды винограда высушивали и размалывали. Образцы почвы и ягод подвергали микроволновому разложению по методикам, соответственно, № DG-EN-CCS-90 и № DF-FO-CCS-81 с использованием системы пробоподготовки Milestone ETHOS UP согласно рекомендациям компании «Milestone Srl» № MA182-001. Валовое содержание тяжелых металлов в полученных вытяжках определяли атомно-абсорбционным методом согласно Методическим указаниям по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства [9].

Для характеристики пространственной (субгоризонтальной) неоднородности распределения тяжелых металлов в транзитном ландшафте был использован коэффициент латеральной дифференциации (L). Данный коэффициент характеризует латеральную миграцию химических веществ в почвах, связанных едиными потоками влаги, которая перемещается по рельефу сверху вниз под действием силы тяжести. В исследованиях проводили сравнение между концентрацией металла в почве средней и нижней частей склона (соответственно трансэлювиальной и трансаккумулятивной фаций геохимического ландшафта) по отношению к верхней части склона. Коэффициент латеральной дифференциации L тяжелых металлов в почве сопряженных элементов трансэлювиального геохимического ландшафта определяли по формуле:

$$L = \frac{Lx(\text{подч.})}{Lx(\text{верх.})},$$

где $Lx(\text{подч.})$ – концентрация тяжелых металлов в подчиненном элементарном геохимическом ландшафте (фации средней части склона T_2^3 или фации нижней части склона T^{3a}); $Lx(\text{верх.})$ – концентрация тяжелых металлов в фации верхней части склона трансэлювиального T_1^3 геохимического ландшафта.

При анализе латеральной миграции тяжелых металлов в фациях транзитного ландшафта использовали следующие диапазоны значений коэффициента латеральной дифференциации L: более 1,7 – высокое накопление элемента; 1,1-1,6 – накопление средней силы; 0,6-0,9 – незначительный вынос элементов; менее 0,5 – интенсивный вынос.

Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием программ RStudio и Statistica.

Результаты и их обсуждение

Исследуемые виноградники возрастом 15 и 100 лет располагались в одной локации, однако отличались характеристиками склона: экспозицией, крутизной, протяженностью и формой. Данные по валовому содержанию меди, марганца, хрома, железа и кобальта в бурой лесной остаточно-карбонатной почве 15-летнего ампелоценоза в разных фациях геохимического ландшафта (верхняя, средняя и нижняя части склона) представлены в таблице 2, заброшенного 100-летнего – в таблице 3. В таблице 4 приведены значения коэффициента латеральной дифференциации в транзитном ландшафте для обоих рассматриваемых ампелоценозов.

Таблица 2

Валовое содержание тяжелых металлов в почве 15-летнего виноградника у сельского поселения Чушилово

Тип элементарного ландшафта	Глубина, см	Тяжелые металлы, мг/кг				
		Cu	Mn	Cr	Fe	Co
T ₁ ^э	0-5	60,7	68,3	44,8	235,0	16,4
	5-15	53,4	57,0	34,3	267,6	13,0
	15-30	49,5	49,3	23,4	289,4	10,1
T ₂ ^э	0-5	72,7	70,1	46,8	280,3	15,0
	5-15	71,7	71,9	47,9	280,5	16,3
	15-30	71,5	72,6	49,2	273,6	18,1
T ^{эа}	0-5	87,4	73,5	49,2	301,3	15,4
	5-15	92,1	68,4	51,3	295,3	12,9
	15-30	93,2	65,0	50,3	291,1	9,9

Table 2

Gross content of heavy metals in the soil of a 15-year-old vineyard near Chushilovo rural settlement

Elemental landscape type	Depth, cm	Heavy metals, mg/kg				
		Cu	Mn	Cr	Fe	Co
T ₁ ^э	0-5	60.7	68.3	44.8	235.0	16.4
	5-15	53.4	57.0	34.3	267.6	13.0
	15-30	49.5	49.3	23.4	289.4	10.1
T ₂ ^э	0-5	72.7	70.1	46.8	280.3	15.0
	5-15	71.7	71.9	47.9	280.5	16.3
	15-30	71.5	72.6	49.2	273.6	18.1
T ^{эа}	0-5	87.4	73.5	49.2	301.3	15.4
	5-15	92.1	68.4	51.3	295.3	12.9
	15-30	93.2	65.0	50.3	291.1	9.9

Особый интерес представляют данные по содержанию меди и ее распределению в верхней части (0-30 см) профиля почвы геохимически сопряженных элементарных ландшафтов ампелоценозов в связи с практикуемыми в настоящее время на склоне северной экспозиции и проводившимися более 40 лет назад на склоне восточной экспозиции обработками медьсодержащими фунгицидами. Содержание элемента варьировало в зависимости от глубины профиля и типа элементарного ландшафта, а также наблюдались существенные отличия по содержанию меди в почве под современным виноградником на склоне северной экспозиции и возрастным виноградником на склоне восточной экспозиции.

Накопление меди в почве под 100-летним виноградником в верхней части склона в горизонтах 0-5 и 5-15 см составило соответственно 90,2 и 78,7 мг/кг, что в 1,5 раза выше, чем в аналогичных горизонтах почвы под 15-летним виноградником. В средней части склона также наблюдалось достоверное, согласно критерию Краскела-Уоллиса, превышение накопления меди в верхней части профиля почвы заброшенного ампелоценоза в 1,3-1,6 раза по сравнению с современным (рис. 3). Тенденцию большего накопления меди в возрастных виноградниках по сравнению с молодыми отмечали также другие авторы [6].

Необходимо отметить, что значения содержания меди в почве средней части склона в 100-летнем винограднике превысили значения максимально допустимого количества (МДК) для среднесуглинистых почв, установленного в Республике Сербия [10], на 7, 28 и 27% соответственно в горизонтах 0-5, 5-15 и 15-30 см.

Показатель МДК по содержанию меди был также превышен в почве нижней части склона, на котором размещался 15-летний виноградник, на 2 и 4% в горизонтах 5-15 и 15-30 см. С одной стороны, это свидетельствует о наличии последствий применения медьсодержащих пестицидов спустя десятки лет после окончания эксплуатации виноградника, а с другой стороны, указывает на то, что близкие к критическим значения валового содержания меди в верхних горизонтах почвы могут быть достигнуты и за более короткий срок возделывания данной культуры, в данном случае – за 15 лет, что даже меньше срока в 20-25 лет после закладки виноградника, указанного в работе Е.Я. Зеленской [11].

В результате исследований, проведенных Komárek et al. (2008) в Чешской Республике, наибольшие концентрации меди были обнаружены в почве заброшенных виноградников мелких производителей вина, что дает авторам основание рекомендовать тщательное изучение вопроса о репрофилировании почв под бывшими виноградными насаждениями для выращивания других культур [12]. К такому же выводу приходят Vázquez-Blanco et al. (2022), которые установили, что валовое содержание меди в заброшенном винограднике было выше, чем в действующем, на глубине 10-15 см [13].

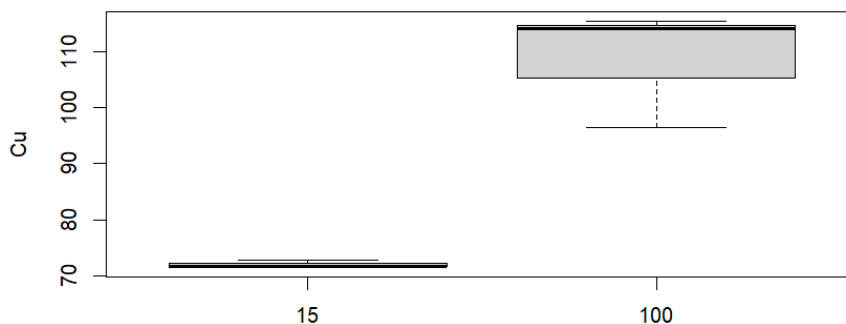


Рис. 3. Содержание меди в почве трансэлювиальной фации геохимического ландшафта (средней части склона) под 15- и 100-летним виноградниками у сельского поселения Чушилово согласно критерию Краскела-Уоллиса ($p = 0,049$)

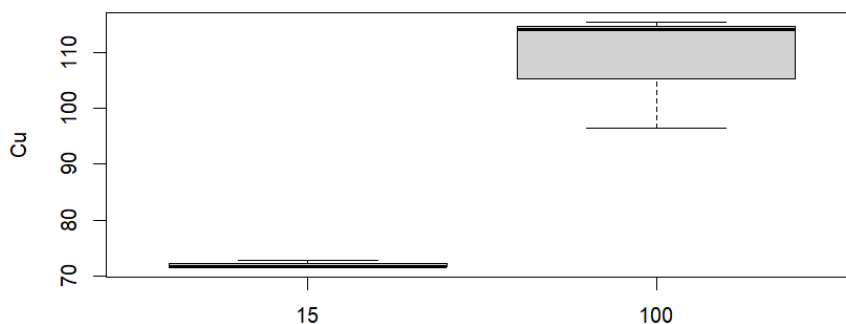


Fig. 3. Copper content in soil of trans-eluvial facies of geochemical landscape (middle part of the slope) under 15- and 100-year old vineyards near Chushilovo rural settlement according to the Kraskell-Wallis criterion ($p=0.049$)

Таблица 3

**Валовое содержание тяжелых металлов в почве 100-летнего виноградника
у сельского поселения Чушилово**

Тип элементарного ландшафта	Глубина, см	Тяжелые металлы, мг/кг				
		Cu	Mn	Cr	Fe	Co
Т ₁ ^э	0-5	90,2	57,8	59,3	243,4	9,8
	5-15	78,7	66,2	38,9	274,1	10,6
	15-30	35,5	72,8	18,4	312,7	14,2
Т ₂ ^э	0-5	96,4	55,9	38,9	226,9	5,3
	5-15	115,4	71,6	48,1	289,1	12,6
	15-30	114,1	69,2	43,5	317,5	15,8
Т ^{эа}	0-5	53,7	53,1	33,2	268,4	8,1
	5-15	45,6	60,9	31,8	283,3	10,3
	15-30	41,1	69,4	24,0	294,5	11,4

Table 3

Gross content of heavy metals in the soil of a 100-year-old vineyard near Chushilovo rural settlement

Elemental landscape type	Depth, cm	Heavy metals, mg/kg				
		Cu	Mn	Cr	Fe	Co
Т ₁ ^е	0-5	90.2	57.8	59.3	243.4	9.8
	5-15	78.7	66.2	38.9	274.1	10.6
	15-30	35.5	72.8	18.4	312.7	14.2
Т ₂ ^е	0-5	96.4	55.9	38.9	226.9	5.3
	5-15	115.4	71.6	48.1	289.1	12.6
	15-30	114.1	69.2	43.5	317.5	15.8
Т ^{еа}	0-5	53.7	53.1	33.2	268.4	8.1
	5-15	45.6	60.9	31.8	283.3	10.3
	15-30	41.1	69.4	24.0	294.5	11.4

Содержание в почве марганца в рассматриваемых ампелоценозах варьировало в близких диапазонах 49,3-73,5 мг/кг и 53,1-72,8 мг/кг в 15-летнем и 100-летнем виноградниках соответственно, однако характер распределения элемента по горизонтам был разным. В молодом винограднике марганец концентрировался в верхнем слое почвы 0-5 см, и его содержание уменьшалось с глубиной либо изменения в содержании элемента в верхних горизонтах были недостоверными. В 100-летнем винограднике прослеживалась общая тенденция повышения содержания марганца от горизонта 0-5 см к 15-30 см во всех фациях транзитного ландшафта (рис. 4).

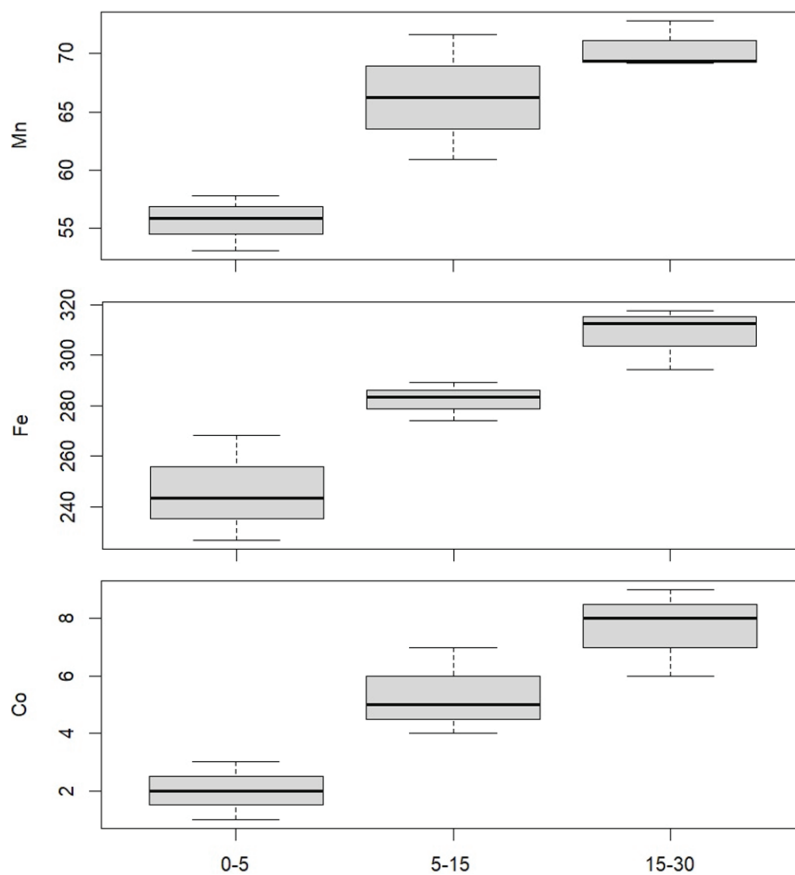


Рис. 4. Содержание марганца ($p = 0,051$), железа ($p = 0,027$) и кобальта ($p = 0,039$) в горизонтах 0-5, 5-15 и 15-30 см почвы 100-летнего ампелоценоза у сельского поселения Чушилово согласно критерию Краскела-Уоллиса

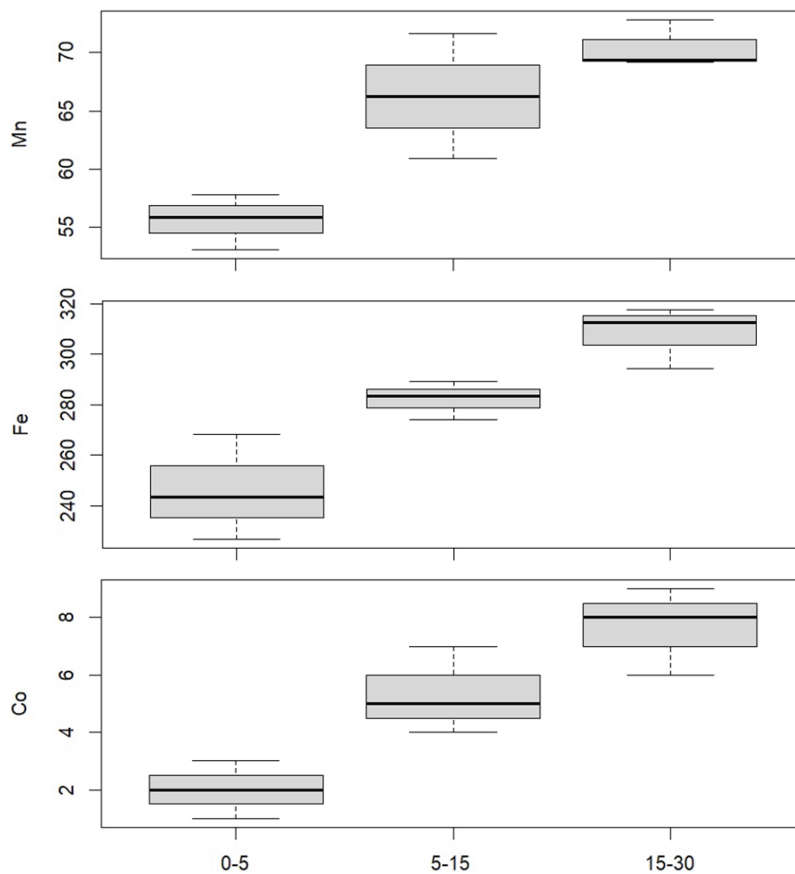


Fig. 4. Content of manganese ($p=0.051$), iron ($p=0.027$) and cobalt ($p=0.039$) in horizons 0-5, 5-15 and 15-30 cm of soil of 100-year-old ampelocoenosis near Chushilovo rural settlement according to the Kraskell-Wallis criterion

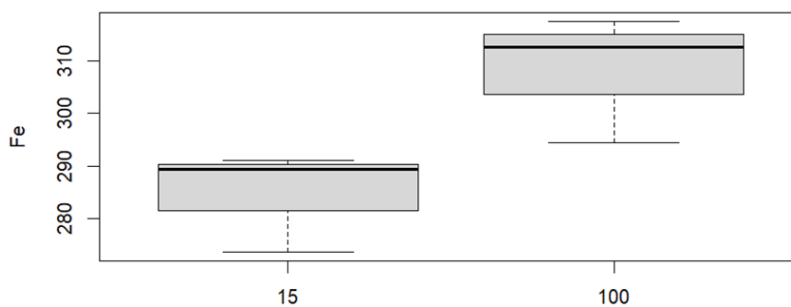


Рис. 5. Содержание железа ($p = 0,049$) в горизонте 15-30 см почвы 15- и 100-летних ампелоценозов у сельского поселения Чушилово согласно критерию Краскела-Уоллиса

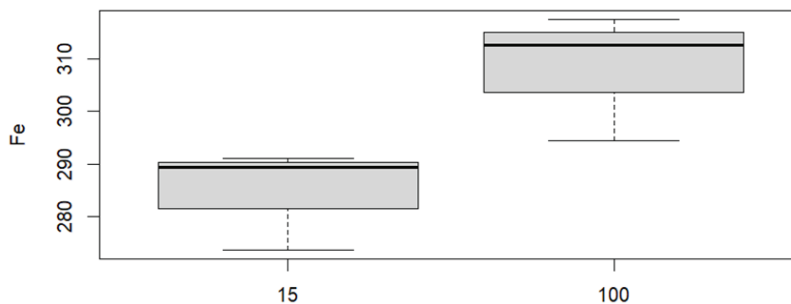


Fig. 5. Content of iron ($p=0.049$) in the 15-30 cm horizon of the soil of 15- and 100-year-old ampelocoenoses near Chushilovo rural settlement according to the Kraskell-Wallis criterion

Содержание хрома в почве виноградника северной экспозиции незначительно варьировало в средней и нижней частях склона в пределах от 46,8 до 51,3 мг/кг во всех рассматриваемых горизонтах и почти вдвое снижалось в T_1^3 фации от поверхностного горизонта к горизонту 15-30 см.

В возрастном винограднике наблюдалась та же тенденция снижения накопления хрома от горизонта 0-5 см к 15-30 см в почве верхней части склона более чем в 3 раза, в T_2^3 и T^{3a} фациях содержание элемента в целом было ниже, чем в почве 15-летнего ампелоценоза, без особенностей в распределении по верхней части профиля.

Достоверное снижение с глубиной содержания железа отмечалось в почве T_1^3 фации молодого ампелоценоза и достоверно не менялось в средней и нижней частях склона, варьируя в диапазонах от 273,6 до 301,3 мг/кг. Распределение железа по склону характеризовалось постепенным, невыраженным нарастанием его содержания от T_1^3 фации до T^{3a} фации в 1,3 и 1,1 раза в горизонтах 0-5 и 5-15 см соответственно. На глубине 15-30 см различия в накоплении железа по склону оказались несущественными. В 100-летнем винограднике во всех изученных фациях прослеживалась тенденция накопления железа по профилю почвы в горизонте 15-30 см в 1,1-1,4 раза по сравнению с горизонтами 0-5 и 5-15 см (рис. 5).

В почве 15-летнего виноградника содержание кобальта варьировало в диапазоне 9,9-18,1 мг/кг, в 100-летнем – в диапазоне 5,3-15,8 мг/кг. В отличие от молодого ампелоценоза содержание кобальта в почве заброшенного виноградника во всех частях склона снижалось в 1,4-3 раза от поверхностного горизонта до глубины 15-30 см аналогично отмеченному выше распределению в верхней части профиля железа и марганца (рис. 6).

Согласно рассчитанным значениям коэффициента латеральной дифференциации установлена относительно высокая активность миграции меди, марганца и хрома в трансэлювиальной и трансэлювиально-аккумулятивной фациях геохимического ландшафта под 15-летним виноградником (табл. 4). Для трансэлювиальной фации в средней части склона в горизонтах 0-5, 5-15 и 15-30 см отмечалось накопление меди, марганца, хрома и железа средней силы ($L = 1,03-1,20$; $1,05-1,40$ и $1,44-1,79$ соответственно) и высокое накопление хрома в горизонте 15-30 см. В условиях трансэлювиально-аккумулятивной фации в нижней части склона наблюдалось высокое накопление меди в горизонтах 5-15 и 15-30 см ($L = 1,72$ и $1,88$ соответственно) и хрома – в горизонте 15-30 см, слабая аккумуляция марганца ($L = 1,08-1,32$), железа ($L = 1,01-1,28$) и вынос кобальта ($L = 0,94-0,99$). При этом распределение по склону геохимического ландшафта меди и хрома в почве молодого ампелоценоза отличалось статистической значимостью ($p = 0,027$ и $0,032$ соответственно) (рис. 7).

Распределение меди, марганца и хрома в латеральной структуре элементарных ландшафтов указывает на возрастание содержания элементов к понижению рельефа, что соответствует восходящему виду геохимической структуры. Железо и кобальт распределялись по профилю склона относительно равномерно.

В 100-летнем винограднике активность миграции и распределение по склону и профилю почвы изученных металлов отличались от таковых в молодом винограднике. Прежде всего следует отметить очень высокую величину накопления меди в трансэлювиальной фации средней части склона, которая возрастала в 1,4 и 3 раза от поверхностного слоя почвы ($L = 1,07$) к горизонтам 5-15 см ($L = 1,47$) и 15-30 см ($L = 3,21$) соответственно. Тот же характер накопления и распределения по профилю был отмечен для хрома и кобальта в средней части склона, но с меньшими значениями L (1,24 и 2,36; 1,19 и 1,11 соответственно в горизонтах 5-15 см и 15-30 см).

Таблица 4

Коэффициенты латеральной дифференциации (L) транзитного ландшафта под 15-летним (числитель) и 100-летним (знаменатель) виноградниками у сельского поселения Чушилово

Тип элементарного ландшафта	Глубина, см	Тяжелые металлы, мг/кг				
		Cu	Mn	Cr	Fe	Co
T ₂ ^a	0-5	$\frac{1,20}{1,07}$	$\frac{1,03}{0,97}$	$\frac{1,04}{0,66}$	$\frac{1,19}{0,93}$	$\frac{0,91}{0,54}$
	5-15	$\frac{1,34}{1,47}$	$\frac{1,26}{1,08}$	$\frac{1,40}{1,24}$	$\frac{1,05}{1,05}$	$\frac{1,25}{1,19}$
	15-30	$\frac{1,44}{3,21}$	$\frac{1,47}{0,95}$	$\frac{2,10}{2,36}$	$\frac{0,95}{1,02}$	$\frac{1,79}{1,11}$
T _{2a} ^a	0-5	$\frac{1,44}{0,60}$	$\frac{1,08}{0,92}$	$\frac{1,10}{0,56}$	$\frac{1,28}{1,10}$	$\frac{0,94}{0,83}$
	5-15	$\frac{1,72}{0,58}$	$\frac{1,20}{0,92}$	$\frac{1,50}{0,82}$	$\frac{1,10}{1,03}$	$\frac{0,99}{0,97}$
	15-30	$\frac{1,88}{1,16}$	$\frac{1,32}{0,95}$	$\frac{2,15}{1,30}$	$\frac{1,01}{0,94}$	$\frac{0,98}{0,80}$

Table 4

Lateral differentiation coefficients (L) of the transit landscape under 15-year (numerator) and 100-year (denominator) vineyards near Chushilovo rural settlement

Elemental landscape type	Depth, cm	Heavy metals, mg/kg				
		Cu	Mn	Cr	Fe	Co
T ₂ ^c	0-5	$\frac{1,20}{1,07}$	$\frac{1,03}{0,97}$	$\frac{1,04}{0,66}$	$\frac{1,19}{0,93}$	$\frac{0,91}{0,54}$
	5-15	$\frac{1,34}{1,47}$	$\frac{1,26}{1,08}$	$\frac{1,40}{1,24}$	$\frac{1,05}{1,05}$	$\frac{1,25}{1,19}$
	15-30	$\frac{1,44}{3,21}$	$\frac{1,47}{0,95}$	$\frac{2,10}{2,36}$	$\frac{0,95}{1,02}$	$\frac{1,79}{1,11}$
T _{2a} ^c	0-5	$\frac{1,44}{0,60}$	$\frac{1,08}{0,92}$	$\frac{1,10}{0,56}$	$\frac{1,28}{1,10}$	$\frac{0,94}{0,83}$
	5-15	$\frac{1,72}{0,58}$	$\frac{1,20}{0,92}$	$\frac{1,50}{0,82}$	$\frac{1,10}{1,03}$	$\frac{0,99}{0,97}$
	15-30	$\frac{1,88}{1,16}$	$\frac{1,32}{0,95}$	$\frac{2,15}{1,30}$	$\frac{1,01}{0,94}$	$\frac{0,98}{0,80}$

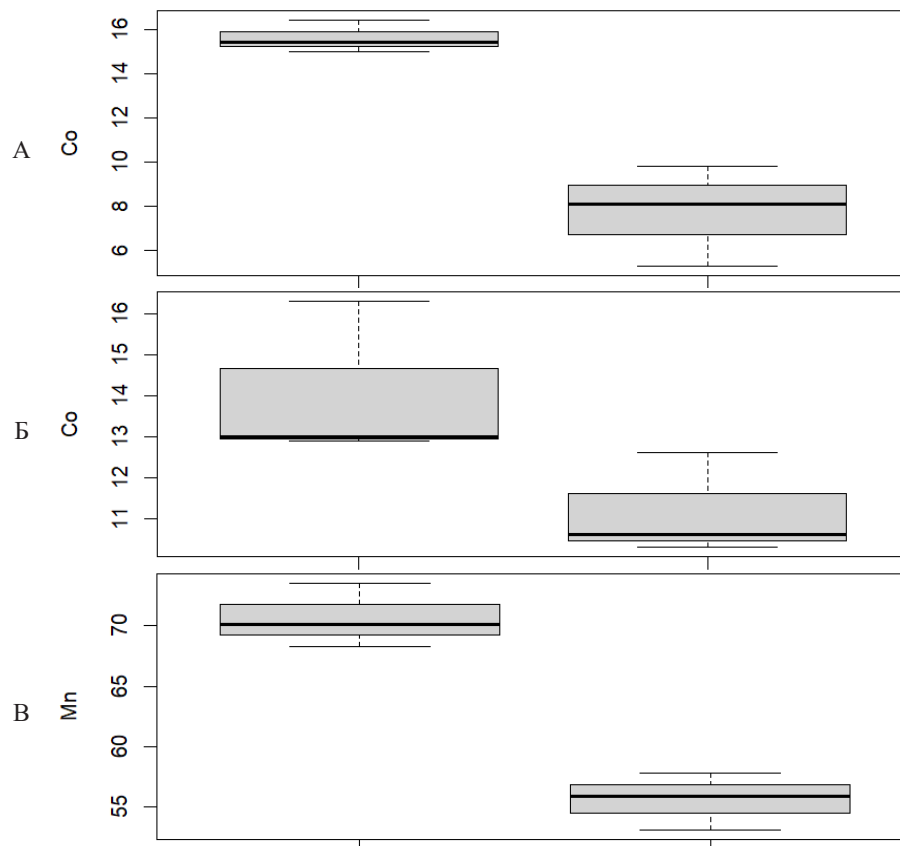


Рис. 6. Содержание кобальта ($p = 0,049$) в горизонтах 0-5 см (А), 5-15 см (Б) и марганца в горизонте 0-5 см (В) почвы 15- и 100-летних ампелоценозов у сельского поселения Чушилово согласно критерию Краскела-Уоллиса

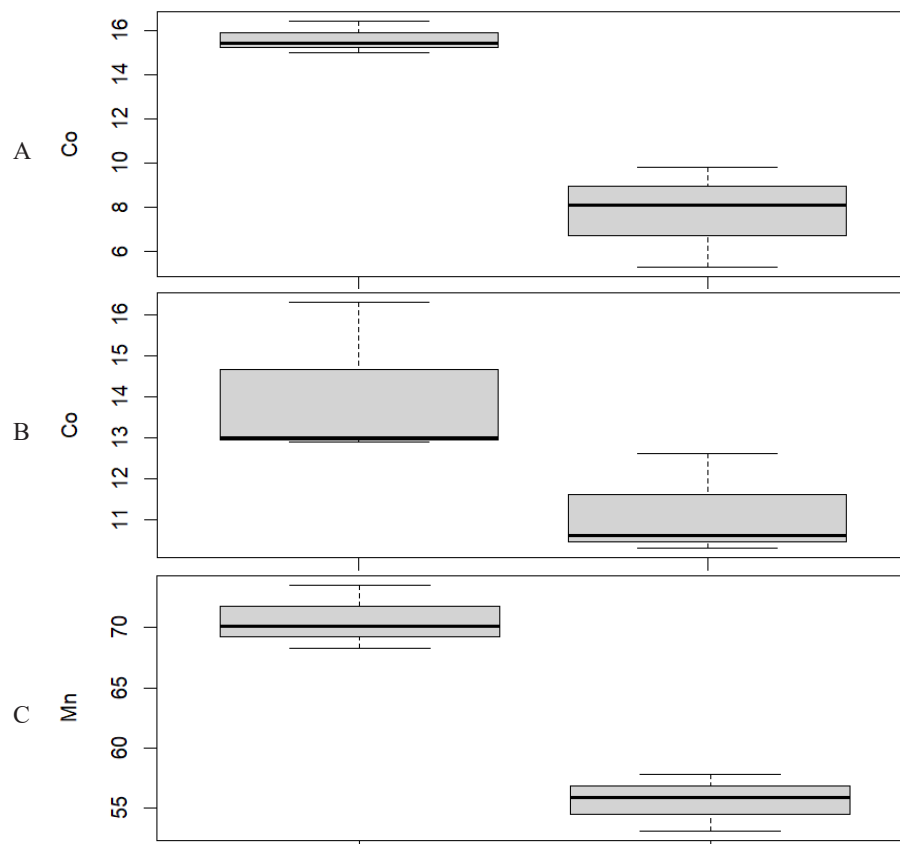


Fig. 6. Content of cobalt ($p=0.049$) in 0-5 cm horizons (A), 5-15 cm horizons (B) and manganese content in 0-5 cm horizon (C) of soil of 15- and 100-year-old ampelocenoses near Chushilovo rural settlement according to the Kraskell-Wallis criterion

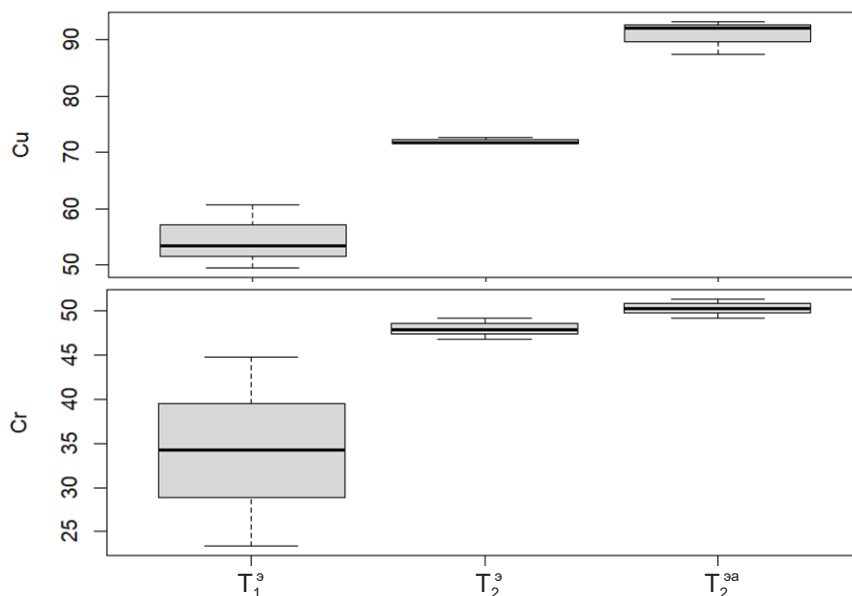


Рис. 7. Распределение меди (Cu) ($p = 0,027$) и хрома (Cr) ($p = 0,032$) в пределах транзитного ландшафта склона северной экспозиции под 15-летним виноградником ($p = 0,027$).

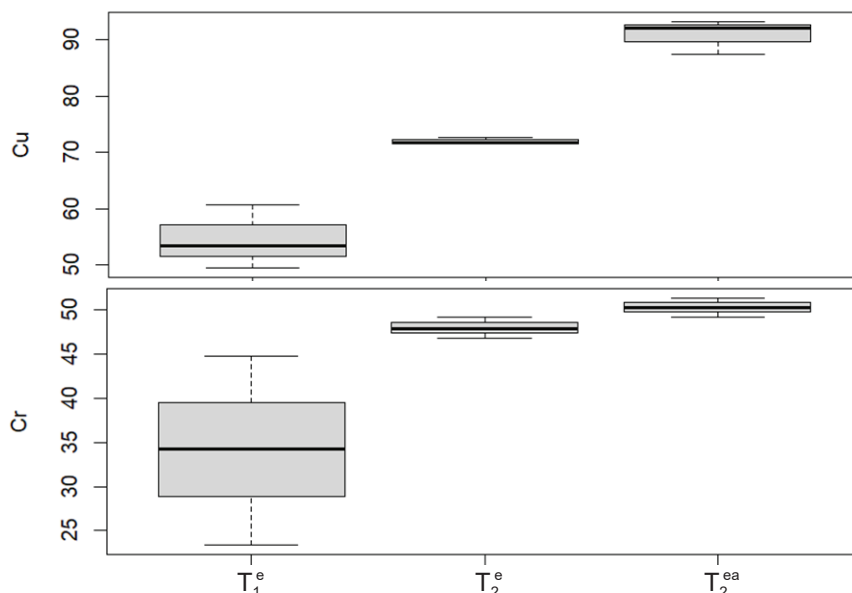


Fig. 7. Distribution of copper (Cu) ($p=0.027$) and chromium (Cr) ($p=0.032$) within the transit landscape of a north-exposure slope under a 15-year-old vineyard ($p=0.027$)

Аккумуляцию меди, хрома и кобальта в средней части склона заброшенного виноградника можно объяснить сложной формой склона, сочетающего несколько склоновых ландшафтных микрозон с чередованием процессов активного смыва и аккумуляции.

В отличие от современного виноградника, где наибольшая величина накопления меди наблюдалась в горизонте 15-30 см нижней части склона, низкие значения L в трансаккумулятивной фации 100-летнего виноградника (0,58-0,60) свидетельствуют о выносе данного элемента из горизонтов 0-5 и 5-15 см и о его слабом накоплении в горизонте 15-30 см ($L = 1,16$). То же относится к марганцу и железу, распределение которых по склону носило относительно равномерный характер без выраженных накопления и выноса ($L = 0,92-1,08$ и $0,93-1,10$ соответственно).

Определение уровня накопления меди в ягодах винограда позволило оценить ее миграцию в системе «Почва-растение» и установить потенциальный уровень риска для продукции виноградарства и виноделия. По данным таблицы 5, содержание меди в ягодах 15-летнего и 100-летнего виноградника составило соответственно 1,7-2,8 и 2,0-7,7 мг/кг с максимальной аккумуляцией элемента в ягодах старого виноградника, выращиваемого в нижней части склона. Следует отметить, что в поверхностном слое почвы $O^{\text{ва}}$ фации данного ампелоценоза было установлено наименьшее содержание меди, которое в 1,7-2,7 раза ниже, чем в почве трансэлювиальных фаций, расположенных выше по склону. С учетом того, что поступления

агрогенной меди на данном участке за последние 40 лет не было, обеднение верхней части профиля почвы медью могло произойти за счет ее радиальной миграции в нижележащие горизонты почвы с нисходящим током воды во влажный период года с октября по март в условиях трансаккумулятивного элементарного ландшафта, где элемент извлекался глубокой корневой системой старой лозы. Вероятность такой транслокации на глубинах от 200 до 650 см почвы в отношении меди, никеля, цинка и кобальта отмечалась и для винодельческих районов Крымского полуострова [11].

Установленное в исследованиях максимальное содержание меди в ягодах 100-летнего виноградника на уровне 7,7 мг/кг не превышало максимально допустимый уровень, принятый в Республике Сербия, составляющий 40 мг/кг [14]. В Российской Федерации установлен восьмикратно более строгий, чем в Сербии, максимально допустимый уровень меди в ягодах винограда на уровне 5 мг/кг [15], в сравнении с которым превышение по содержанию меди в ягодах 100-летнего виноградника составило 54%. В результате проведения эколого-геохимических исследований в пяти винодельческих регионах Крыма обнаружено, что содержание меди в золе ягод винограда составляло менее 0,1%, что дает авторам основание сделать предположение об удержании поглощенного элемента другими частями винограда [16].

Таким образом, проведенные исследования опровергают мнение о том, что медь в ягодах винограда практически не накапливается, и проблема ее поступления в пищевые цепи в ампелоценозах переоценена.

Таблица 5

Содержание меди в ягодах винограда в зависимости от возраста и части склона у сельского поселения Чушилово

Возраст виноградника, лет	Тип элементарного ландшафта		
	T ₁ ^o	T ₂ ^o	T ^{ca}
15	2,7	2,8	1,7
100	2,0	3,7	7,7

Table 5

Copper content in grape berries depending on age and part of the slope near Chushilovo rural settlement

Vineyard age, years	Elemental landscape type		
	T ₁ ^e	T ₂ ^e	T ^{ca}
15	2.7	2.8	1.7
100	2.0	3.7	7.7

Выводы

1. Результаты исследований на бурой лесной остаточно-карбонатной почве под современным 15-летним и заброшенным в последние 40 лет 100-летним виноградником, возделываемыми на склонах горной гряды Фрушка гора в Автономном крае Воеводина Республики Сербия, показали наличие определенных достоверных зависимостей между валовым содержанием тяжелых металлов (меди, марганца, железа и кобальта) в почве и возрастом виноградника, его расположения в транзитном геохимическом ландшафте и глубины почвенного профиля в пределах его верхней части мощностью 30 см.

2. Установлена высокая интенсивность миграции меди и хрома в трансэлювиальной и трансаккумулятивной фациях транзитного геохимического ландшафта под 15-летним виноградником с усилением в горизонте 15-30 см согласно коэффициенту латеральной дифференциации (1,44 и 1,88; 2,10-2,15 соответственно).

3. В отличие от современного виноградника в почве заброшенного виноградника радиальная миграция вниз в пределах верхней части почвенного профиля 0-30 см преобладала над латеральной, чему способствовала сложная ступенчатая форма склона с чередованием трансэлювиальных и трансаккумулятивных склоновых ландшафтных микрзон. Установлено статистически значимое повышение накопления марганца, железа и кобальта от поверхностного горизонта 0-5 см к горизонту 15-30 см.

4. В 100-летнем заброшенном ампелоценозе наблюдалось интенсивное накопление меди (114,1-115,4 мг/кг) в почве средней части склона в горизонтах 5-15 см и 15-30 см со значениями коэффициента латеральной дифференциации соответственно 1,47 и 3,21, что свидетельствует об эффекте

последствия применения медьсодержащих пестицидов спустя десятки лет после окончания эксплуатации виноградника. При этом содержание меди в почве превышало значение максимально допустимого количества (МДК), установленного для среднесуглинистых почв в Республике Сербия, на 7, 28 и 27% в горизонтах 0-5, 5-15 и 15-30 см соответственно. К величине МДК приближалось также содержание меди в почве нижней части склона, занятого современным виноградником, уровень которого был достигнут за 15 лет возделывания.

5. Содержание меди в ягодах винограда варьировало в диапазоне 1,7-7,7 мг/кг с максимальным накоплением элемента в ягодах 100-летнего виноградника, выращиваемого в нижней части склона, превышающим максимально допустимый уровень меди для ягод винограда, установленный в Российской Федерации, на 54%. Ввиду отсутствия поступления агрогенной меди за последние 40 лет и низкого уровня содержания элемента в почве верхней части профиля можно предположить, что элемент извлекался глубокой корневой системой старой лозы из нижележащих горизонтов почвы, куда медь могла мигрировать с нисходящим током дождевой и талой воды во время влажного сезона с октября по март в условиях трансаккумулятивного элементарного ландшафта.

Список источников

1. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975:341.
2. *Касимов Н.С.* Экогеохимия ландшафтов. М.: ИП Филимонов М.В., 2013:208.
3. *Lamichhane J.R., Osdaghi E., Behlau F., et al.* Thirteen decades of antimicrobial copper compounds applied in agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2018;38. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0503-9>
4. *Brunetto G., Wellington Bastos de Melo G., et al.* Copper accumulation in vineyard soils: Rhizosphere processes and agronomic practices to limit its toxicity. *Chemosphere*. 2016;162:293-307. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.07.104>
5. *Komárek M., Čadková E., Chrastný V., et al.* Contamination of vineyard soils with fungicides: A review of environmental and toxicological aspects. *Environment International*. 2010;36(1):138-151. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.10.005>
6. *Mackie K.A., Müller T., Kandeler E.* Remediation of copper in vineyards – a mini review. *Environ. Pollut.* 2012;167:16-26. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.03.023>
7. *Flores Velez L., Ducaroir J., Jaunet A.M., et al.* Study of the distribution of copper in an acidic vineyard soil by three different methods. *European Journal of Soil Science*. 1996;47:523-532. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1996.tb01852>
8. *Babić V., Krstić M.* Climate characteristics of the sessile oak forest belt on Fruška Gora (in Serbian). *Шумарство*. 2014;3-4:49-62.
9. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства / под ред. А.М. Артюшина. М.: ЦИ-НАО, 1992:62.
10. Правилник о допунама правилника о унутрашњој организацији и систематизацији радних мјеста у министарству саобраћаја и веза. Службени гласник Републике Српске. 2016. Број 56, 11.7:16.
11. *Зеленская Е.Я.* Биогеохимическая оценка почв и пород в исторических и современных районах виноградарства Крыма: Автореф. дис. ... канд. географ. наук. Белгород, 2022:28.
12. *Komárek M., Száková J., Rohošková M., et al.* Copper contamination of vineyard soils from small wine producers: A case study from the Czech Republic.

References

1. *Perel'man A.I.* Geochemistry of landscape [textbook for students of geogr. and geol. specialties of the University]. М.: Vysshaya shkola, 1975:341. (In Rus.)
2. *Kasimov N.S.* Ecogeochimistry of landscapes. М.: IP Filimonov M.V., 2013:208. (In Rus.)
3. *Lamichhane J.R., Osdaghi E., Behlau F. et al.* Thirteen decades of antimicrobial copper compounds applied in agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2018;38. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0503-9>
4. *Brunetto G., Wellington Bastos de Melo G. et al.* Copper accumulation in vineyard soils: Rhizosphere processes and agronomic practices to limit its toxicity. *Chemosphere*. 2016;162:293-307. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.07.104>
5. *Komárek M., Čadková E., Chrastný V. et al.* Contamination of vineyard soils with fungicides: A review of environmental and toxicological aspects. *Environment International*. 2010;36(1):138-151. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.10.005>
6. *Mackie K.A., Müller T., Kandeler E.* Remediation of copper in vineyards – a mini review. *Environ. Pollut.* 2012;167:16-26. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.03.023>
7. *Flores Velez L., Ducaroir J., Jaunet A.M. et al.* Study of the distribution of copper in an acidic vineyard soil by three different methods. *European Journal of Soil Science*. 1996;47:523-532. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1996.tb01852>
8. *Babić V., Krstić M.* Climate characteristics of the sessile oak forest belt on Fruška Gora. *Шумарство*. 2014;3-4:49-62. (in Serb.)
9. Guidelines for the determination of heavy metals in soils of farmland and crop products. Ed. by A.M. Artyushin. М.: TSINAO, 1992:62. (In Rus.)
10. Rulebook on amendments to the rulebook on Internal Organization and Systematization of Work Objects in the Ministry of Transport and Communications. Службени гласник Републике Српске. 2016;56:11.7:16. (In Serb.)
11. *Zelenskaya E.Ya.* Biogeochemical assessment of soils and rocks in historical and modern viticulture areas of Crimea: CSc (Geog) thesis. Belgorod, 2022:28. (In Rus.)
12. *Komárek M., Száková J., Rohošková M. et al.* Copper contamination of vineyard soils from small wine producers: A case study from the Czech Republic.

Geoderma. 2008;147:16-22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.07.001>

13. *Vázquez-Blanco R., Nóvoa-Muñoz J.C., Arias-Estévez M., et al.* Changes in Cu accumulation and fractionation along soil depth in acid soils of vineyards and abandoned vineyards (now forests). *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2022;339:108146. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108146>

14. Pravilnik o količinama pesticida, metala I metaloida I drugih otrovnih supstancija, hemioterapeutika, anabolika I drugih supstancija koje se mogu nalaziti u namirnicama (“Sl. list SRJ”, br. 5/92, 11/92 – ispr. i 32/2002 i “Sl. glasnik RS”, br. 25/2010 – dr. pravilnik i 28/2011 – dr. pravilnik). – URL: <https://www.paragraf.rs/propisi/pravilnik-kolicinama-pesticida-metala-metaloida-drugih-otrovnih-supstancija-hemioterapeutika.html> (дата обращения: 23.09.2023).

15. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 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» (Зарегистрирован 29.01.2021 № 62296).

16. *Лопина Е.М., Зеленская Е.Я.* Геохимические особенности транслокации элементов в системе «почва-растение» по результатам изучения географических районов виноградарства Крыма. Региональные геосистемы. 2021;45(3):431-440. <https://doi.org/doi 10.52575/2712-7443-2021-45-3-431-440>

Сведения об авторах

Ирина Викторовна Андреева, канд. биол. наук, доцент кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: i.andreeva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0760-665X>

Валерия Вячеславовна Габечая, аспирант, ассистент кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: lera.gabechaya@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5621-6308>

Дмитрий Владимирович Морев, канд. биол. наук, доцент кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: dmorev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2482-1949>

Евгений Борисович Таллер, канд. с.-х. наук, доцент кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: etallereb@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8372-2209>

Статья поступила в редакцию 25.09.2023
Одобрена после рецензирования 11.11.2023
Принята к публикации 20.11.2023

Geoderma. 2008;147:16-22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.07.001>

13. *Vázquez-Blanco R., Nóvoa-Muñoz J.C., Arias-Estévez M. et al.* Changes in Cu accumulation and fractionation along soil depth in acid soils of vineyards and abandoned vineyards (now forests). *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2022;339:108146. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108146>

14. Rulebook on the quantities of pesticides, metals and metalloids and other toxic substances, chemotherapeutics, anabolics and other substances that can be found in foodstuffs («Sl. list SRJ», br. 5/92, 11/92 – ispr. i 32/2002 i «Sl. glasnik RS», br. 25/2010 – dr. pravilnik i 28/2011 – dr. pravilnik). – URL: <https://www.paragraf.rs/propisi/pravilnik-kolicinama-pesticida-metala-metaloida-drugih-otrovnih-supstancija-hemioterapeutika.html> (Access date: 23.09.2023). (In Serb.)

15. On approval of sanitary rules and norms SanPiN 1.2.3685-21 “Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans”. Decree No. 2 of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian (reg. 29 January 2021, No. 62296). (In Rus.)

16. *Lopina E.M., Zelenskaya E.Ya.* Geochemical features of the translocation of elements in the “Soil-plant” system based on the results of studying the geographical regions of Crimean viticulture. *Regional Geosystems*. 2021;45(3):431-440. <https://doi.org/doi 10.52575/2712-7443-2021-45-3-431-440> (In Rus.)

Information about the authors

Irina V. Andreeva, CSc (Bio), Associate Professor of the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: i.andreeva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0760-665X>

Valeriya V. Gabechaya, post-graduate student, Assistant of the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: lera.gabechaya@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5621-6308>

Dmitriy V. Morev, CSc (Bio), Associate Professor of the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: dmorev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2482-1949>

Evgeniy B. Taller, CSc (Ag), Associate Professor of the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: etallereb@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8372-2209>

The article was submitted to the editorial office 25 Sep 2023
Approved after reviewing 11 Nov 2023
Accepted for publication 20 Nov 2023