

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ, ЭКОЛОГИЯ /
BIOLOGICAL RESOURCES, ECOLOGY

ЭКОЛОГИЯ

Обзорная статья

УДК 631.41:631.45:502.17(497.11)

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-30-45>



**Экогеохимические особенности ампелоценозов
как объектов почвенно-экологического мониторинга**

**Ирина Викторовна Андреева, Валерия Вячеславовна Габечая, Анри Арменович Пивазян,
Дмитрий Владимирович Морев, Иван Иванович Васенев**

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

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

Аннотация

В статье анализируются отличительные экогеохимические особенности виноградников как объекта почвенно-экологического мониторинга на примере собственных исследований авторов, проведенных в течение 2021-2024 гг. в ряде винодельческих хозяйств юго-западной части Крыма и района Фрушка Гора Автономного края Воеводина Республики Сербия. С учетом выраженного проявления экологических рисков и необходимости применения комплексных методических подходов для системного анализа проблемных экологических ситуаций предлагается дополнить классическую программу почвенно-экологических изысканий экогеохимическими и экотоксикологическими исследованиями с выявлением лимитирующих показателей загрязнения почв ампелоценозов и оценкой рисков миграции загрязняющих веществ в системе «Почва – виноградная лоза – продукция виноградарства и виноделия». В качестве диагностического инструмента раннего выявления негативных изменений в агроэкосистемах виноградников может выступить определение биологической активности почвы по показателям почвенного дыхания и рассчитанных на их основе экофизиологических индексов, демонстрирующих текущий статус почвенного микробиома.

Ключевые слова

виноградник, склон, ландшафт, загрязнение, миграция, эрозия, биологическая активность почвы, геохимические исследования, Республика Крым, Воеводина, Республика Сербия

Для цитирования:

Андреева И.В., Габечая В.В., Пивазян А.А., Морев Д.В., Васенев И.И. Экогеохимические особенности ампелоценозов как объектов почвенно-экологического мониторинга // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 4. С. 30-45. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-30-45>

ECOLOGY

Review article

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-30-45>



Ecogeochemical features of ampelocoenoses as objects for soil-ecological monitoring

Irina V. Andreeva, Valeriya V. Gabechaya, Anri A. Pivazyan, Dmitriy V. Morev, Ivan I. Vasenev

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

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

Abstract

The article analyzes the peculiar ecogeochemical features of vineyards as an object of soil-ecological monitoring on the example of the authors' own research, conducted in 2021-2024 in a number of wineries in the south-western part of Crimea and in the Fruška Gora district of the Autonomous Province of Vojvodina, Republic of Serbia. Considering

the pronounced manifestation of environmental risks and the need to apply integrated methodological approaches to systems analysis of problematic environmental situations, it is proposed to supplement the classical program of soil-ecological surveys with ecogeochemical and ecotoxicological studies with the identification of limiting indicators of soil contamination of ampelocoenoses and assessment of risks of migration of pollutants in the system “soil – vine – products of viticulture and wine-making”. A diagnostic tool for the early detection of negative changes in vineyard agroecosystems can be the determination of soil biological activity through soil respiration indicators and ecophysiological indices calculated on their basis, demonstrating the current status of the soil microbiome.

Keywords

vineyard, slope, landscape, pollution, migration, erosion, soil biological activity, geochemical studies, Republic of Crimea, Vojvodina, Republic of Serbia

Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

For citation:

Andreeva I.V., Gabechaya V.V., Pivazyan A.A., Morev D.V., Vasenev I.I. Ecogeochemical features of ampelocoenoses as objects for soil-ecological monitoring. *Timiryazev Biological Journal*. 2024;2(4):30-45. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-30-45>

Введение Introduction

Ландшафты с виноградниками общепризнанно считаются одними из самых замечательных ландшафтных форм, возникших в результате человеческой деятельности, многие из которых включены в Список всемирного наследия ЮНЕСКО. Виноградники являются важными экономическими, культурными и экологическими системами во многих биомах умеренного климата, предоставляющими обществу многочисленные экономические, экологические и культурные блага, или экосистемные услуги [1-3]. Благодаря продовольственной, культурной и экономической ценности винограда отрасль виноградарства и виноделия традиционно определяет социально-экономическую систему многих винодельческих регионов мира [4-6].

Как и для других агроценозов, для ампелоценозов характерны те же ослабляющие их устойчивость факторы (монокультура, низкое биоразнообразие, ухудшение агрохимических и экотоксикологических показателей почвы и многие другие), но отличие заключается в том, что ни для одной другой сельскохозяйственной культуры сочетание климата, почвы и местных ландшафтных условий не имеет такого решающего воздействия на продуктивность и качество продукции, как для виноградной лозы. Это отличие нашло свое воплощение в понятии «терруар» – совокупности региональных климатических, геоморфологических, педологических факторов вместе с традиционными для данного региона агротехническими приемами возделывания винограда, которые в совокупности определяют уникальные вкусовые характеристики вина конкретного винодельческого региона [7-9].

Вино, полученное в уникальных условиях терруара, называют терруарным, оно имеет защищенное наименование места происхождения. Такие вина хорошо известны и высоко ценятся экспертами рынка и потребителями. В этой связи для агроэкосистем

виноградников приобретает особое значение выявление факторов экологического риска, лимитирующих продуктивность лозы и устойчивость производства винодельческой продукции.

Ключевым элементом решения этой задачи выступает системный анализ экологических особенностей конкретного ампелоценоза и выбор оптимальных методических подходов для исследования его проблемной экологической ситуации. Отличительные экогеохимические особенности виноградников как объекта почвенно-экологического мониторинга стали предметом анализа данной статьи – на примере собственных исследований авторов, проведенных в течение 2021-2024 гг. в ряде винодельческих хозяйств Севастопольского района Республики Крым и района Фрушка Гора Автономного края Воеводина Республики Сербия.

1. Общие методологические подходы к проведению почвенно-экологического мониторинга ампелоценозов 1. General methodological approaches to soil-ecological monitoring of ampelocoenoses

Основная задача почвенно-экологического мониторинга – системный анализ проблемных экологических ситуаций в землепользовании с разработкой рекомендаций по обеспечению сохранности почв, действенному контролю за их состоянием, предотвращению и устранению антропогенных изменений, которые могут нанести ущерб окружающей среде и вред здоровью человека. Особое значение почвенно-экологический мониторинг приобретает в связи с тем, что любые изменения состава и свойств почв отражаются на выполнении ими своих экологических функций и в итоге влияют на устойчивость экосистем и биосферы в целом.

В последние годы в научной литературе часто используется термин «здоровье почвы». Здоровая

почва способна устойчиво функционировать как элемент наземной экосистемы, поддерживая ее биопродуктивность, сохраняя качество окружающей среды и здоровье растений, животных и человека [10].

С экологических позиций виноградники выделяются из всех других отраслей сельскохозяйственного производства повышенной интенсивностью использования сельскохозяйственной техники и агрохимикатов. Вся сельскохозяйственная деятельность связана с экологическими рисками и истощением природных ресурсов, но в плантационно-садовых агроэкосистемах, к которым относятся виноградники, их проявление максимально (табл.) [11, 12].

Экологический мониторинг почв ампелоценозов имеет комплексный характер и включает в себя:

– контроль микробиологического состояния почв, который позволяет быстро выявлять начальные негативные изменения при выполнении почвами своих экологических функций;

– агрохимические исследования динамики содержания и запасов гумуса и элементов питания растений;

– экогеохимические и экотоксикологические исследования с выявлением лимитирующих показателей загрязнения почв ампелоценозов и оценкой рисков миграции загрязняющих веществ в системе «Почва – виноградная лоза – продукция виноградарства и виноделия».

Таблица

**Факторы формирования экологических рисков в ампелоценозах
и основные последствия их реализации**

Факторы формирования экологических рисков	Последствия для экосистем
Многолетняя монокультура	Снижение биоразнообразия и биологической активности почв ампелоценозов
Расположение на склоновых элементах рельефа	Потери продуктивной влаги, интенсивные эрозионные процессы, физическая и химическая деградация почвенного покрова и сопредельных сред
Подверженность культуры атакам со стороны патогенов и насекомых-вредителей	Загрязнение остаточным количеством пестицидов, их метаболитами и тяжелыми металлами, биологическая деградация почв
Применение интенсивных агротехнических приемов с использованием механизации	Уплотнение почвы в междурядьях, нарушение естественного сложения и структуры, водно-воздушного режима, повышенная минерализация органического вещества, формирование «плужной подошвы» с активизацией поверхностного стока, эрозии, снижение запасов продуктивной влаги и биологической активности почвы
Глобальные изменения климата	Активизация поверхностного стока, эрозии, снижение запасов продуктивной влаги и биологической активности почвы

Table

Factors of ecological risk formation in ampelocoenoses and main consequences of their realization

Factors of ecological risk formation	Consequences for ecosystems
Perennial monoculture	Decrease in biodiversity and biological soil activity of ampelocoenoses
Location on sloping terrain element	Loss of productive moisture, intensive erosion processes, physical and chemical degradation of soil cover and adjacent environments
Exposure of the crop to attacks from pathogens and insect pests	Pollution by pesticide residues, their metabolites and heavy metals, biological degradation of soils
Application of intensive agronomic practices with mechanization	Soil compaction in inter-rows, disturbance of natural composition and structure, water-air regime, increased mineralization of organic matter, formation of “plough sole” with activation of surface runoff, erosion, reduction of productive moisture reserves and biological soil activity
Global climate change	Activation of surface runoff, erosion, reduction of productive moisture reserves and biological soil activity

Методология экогеохимического мониторинга включает в себя сопряженный анализ основных компонентов элементарных и каскадных ландшафтно-геохимических систем, изучение миграции в них химических элементов с учетом роли локальных геохимических барьеров.

Главным преимуществом экогеохимического подхода при мониторинге почв виноградников является то, что он позволяет провести анализ вертикальной и горизонтальной геохимической структуры ландшафта (R-, L-анализ). Экогеохимический мониторинг подразумевает также анализ фоновой геохимической структуры ландшафта, необходимой для сравнительной оценки геохимического состояния и ответных реакций агроландшафта на внешнее воздействие.

Правильно спланированный и организованный почвенно-экологический мониторинг ампелоценозов должен обеспечить выявление различных видов неблагоприятных изменений состояния почв в результате агрогенной и антропогенной деятельности с учетом специфических природных условий, усиливающих негативные последствия данных воздействий. В случае, когда объектом почвенного экологического мониторинга выступает виноградник, залогом успеха становится всесторонний комплексный анализ потенциальных проблемных экологических ситуаций, характерных для ампелоценозов, как правило, расположенных в условиях склонового ландшафта.

2. Особенности ампелоценозов как объекта мониторинга

2. Features of ampelocoenoses as a monitoring object

Виноградники являются специфическим объектом экологических исследований. Сложность их исследований определяется многокомпонентной геохимической структурой агроландшафтов, занятых виноградниками, повышенной неоднородностью их почвенного покрова, разнонаправленным влиянием комплекса внешних региональных и локальных факторов на процессы в базовых компонентах данного типа агроэкосистем.

Существенно усложняют сравнительный анализ экологического состояния исследуемых ампелоценозов и различные организационно-правовые формы виноградарских хозяйств. С одной стороны, это могут быть небольшие, принадлежащие частным винодельным участки прямоугольной, трапециевидной или неправильной форм, соседствующие друг с другом или разделенные зелеными изгородями, плодовыми насаждениями или луговыми фитоценозами и придающие ландшафту специфический мозаичный рисунок.

С другой стороны, так называемые промышленные виноградники, которыми владеют крупные винодельческие предприятия, как правило, имеют правильную форму и могут занимать обширные территории. Экономическая и организационно-правовая

форма винодельческого предприятия в контексте проведения почвенно-экологического мониторинга влияет прежде всего на интенсивность применяемых в хозяйстве агротехнологий выращивания винограда и их системность. Под последней подразумевается следование при закладке и эксплуатации виноградников региональным технологическим картам, разработанным для богарных, орошаемых, равнинных участков и склонов определенного региона возделывания.

Приступая к изучению почв винодельческих предприятий разного размера и форм собственности, мы исходили из того, что интенсивные технологии выращивания несут заведомо большую агрогенную нагрузку на компоненты агроэкосистем виноградников и сопредельные среды. Однако исследования показали, что другие факторы, например, длительность возделывания виноградника на данной территории, схема применения пестицидов и морфологические характеристики склонов, могут сильно скорректировать ожидаемый результат. В этой связи из всех исследованных индикаторов мониторинга наиболее показательными оказались микробиологические, самые низкие значения которых были обнаружены в почве виноградников, возделываемых по интенсивным технологиям.

В региональном масштабе виноградарский ландшафт представляет собой комплекс иерархически структурированных элементов, объединенных функциональными связями. На микрорегиональном уровне каждый из этих элементов вносит свой индивидуальный вклад в формирование специфики места и региональной идентичности.

В качестве конструктивных компонентов таких ландшафтов выступают:

- точечные элементы (бетонные, металлические или деревянные столбы для поддержки проводов, к которым крепятся лозы);
- линейные элементы (ряды шпалер и находящиеся между ними междурядья, засеянные травянистой растительностью или представляющие собой черные пары, а также технологические проезды для сельскохозяйственной техники);
- инфраструктурные элементы (здания для переработки, хранения и продажи винодельческой продукции в виде виноделен, погребов, технических помещений и т.д.).

Разное сочетание локальных элементов формирует неповторимый для каждой местности рисунок, отражающий регионально-типологические особенности ампелоценоза, который подлежит тщательному изучению перед составлением программы почвенно-экологического мониторинга.

В целом на подготовительном этапе перед проведением полевых работ необходимо собрать из открытых источников и архивных материалов, а также путем опроса специалистов винодельческого хозяйства необходимую исходную информацию:

- климатические условия, агроклиматические ресурсы территории, частота и характер неблагоприятных погодных явлений, особенности

региональных проявлений глобальных климатических изменений;

- характеристика зональной растительности;
- тип, подтип почвы, гранулометрический состав, почвообразующая порода, наличие и уровень эродированности;

- рельеф местности, геохимические особенности территории (например, наличие природных биогеохимических провинций), характеристика соседних ландшафтов, наличие поблизости водных источников;

- при расположении изучаемого виноградника на склоне – характеристика склона (экспозиция, крутизна, протяженность, форма (прямая, вогнутая, выпуклая, сложная);

- история землепользования (характер землепользования за многолетний период, начало эксплуатации земельного фонда, динамика уровней химизации и т.п.);

- возраст исследуемого виноградника, сорт винограда, урожайность (желательно в динамике), технологическая характеристика ягод (кислотность, сахаристость), метод ведения куста;

- особенности применяемых агротехнологий: содержание междурядий (черный пар или залужение), механизированные приемы обработки почвы и ухода за кустами, способы обрезки кустов и утилизации органических остатков, применение орошения и т.д.;

- перечень наиболее распространенных болезней и вредителей;

- уровень заболеваемости и степень повреждения растений;

- схема применения средств защиты растений (перечень, частота, время обработки, дозы);

- схема применения минеральных и органических удобрений (перечень, частота и время внесения, дозы);

- наличие локальных и региональных факторов экогеохимического риска, которые могут повлиять на содержание загрязняющих веществ в почве и растениях винограда.

При необходимости учета специфических местных условий данный список может быть расширен. Помимо вышеперечисленной информации, много полезных данных можно получить, подобрав картографический материал исследуемой территории, в том числе в динамике за разные годы. Полученную на подготовительном этапе информацию обрабатывают, сопоставляют со справочными материалами и тщательно анализируют.

Рассмотрим примеры влияния перечисленных выше природных и агрогенных факторов на программу агроэкологического мониторинга, анализ и интерпретацию его результатов, а также на выбор индикаторов мониторинга, которые отражают экологическое состояние почв ампелоценозов, их взаимосвязь с сопредельными средами и устойчивость агроэкосистемы виноградника в целом на примере наших исследований в Севастопольском районе Республики Крым и Автономном крае Воеводина Республики Сербия.

3. Примеры учета факторов экологического риска при проведении почвенно-экологического мониторинга в ампелоценозах

3. Examples of consideration of environmental risk factors in soil-ecological monitoring in ampelocoenoses

3.1. Почвенно-климатическая зона и региональные проявления

глобальных климатических изменений

3.1. Soil-climatic zone and regional manifestations of global climate change

Большинство винодельческих хозяйств мира расположено в умеренных климатических зонах: в Европе сконцентрированы между 40 и 50° широты, в Америке и в Южном полушарии – между 30 и 40° широты. Это способствует оптимальному накоплению и соотношению содержания сахаров и кислот в ягодах винограда, необходимого для создания наиболее качественных вин. В этих широтах виноградная лоза набирает необходимую сумму активных температур, особенно если виноградники располагаются на склонах, примыкающих к речным артериям, что позволяет получать дополнительную инсоляцию.

Однако территории, входящие в обозначенный винный пояс, могут существенно различаться по количеству выпадающих за сезон осадков. Влажность почвы, особенно в средиземноморском типе климата, часто выступает главным лимитирующим фактором, снижающим биологическую активность почвы, ограничивающим продуктивность винограда и значительно влияющим на качество виноматериалов.

Для проведения почвенно-экологического мониторинга были выбраны два исторических винодельческих региона: Севастопольский район Республики Крым и регион Национального парка Фрушка Гора Автономного края Воеводина Республики Сербия (около г. Сремски Карловци), расположенных в горном ландшафте. Оба региона исследования находятся практически на одинаковой широте (рис. 1), что предопределило схожий температурный режим. Однако разная удаленность от океана и внутренних морей повлияла на то, что климат Севастопольской зоны виноделия относится к субтропическому средиземноморского типа, тогда как в г. Сремски Карловци – умеренно-континентальный с элементами субгумидного и мезотермического климата.

Рассчитанные тепловой индекс Уинклера (сумма активных температур, превышающих 10°C, в течение вегетационного периода) и гелиотермический индекс Хуглина, характеризующего тепловой и инсоляционный потенциал территории, показали, что исследуемые районы обладают достаточно высоким уровнем теплообеспеченности с некоторым превышением данного показателя в Автономном крае

Воеводина [13] и благоприятны по данному показателю для культивирования виноградной лозы.

Выбор данных регионов интересен тем, что при весьма близких параметрах температурного режима

количество осадков на их территории существенно отличается (рис. 2). Лето на территории Севастопольской зоны виноделия жаркое и засушливое, среднегодовое количество осадков изменяется от 300 до 400 мм



Рис. 1. Расположение регионов исследования относительно 45-й параллели северной широты
Fig. 1. Location of the study regions relative to the 45th parallel of northern latitude

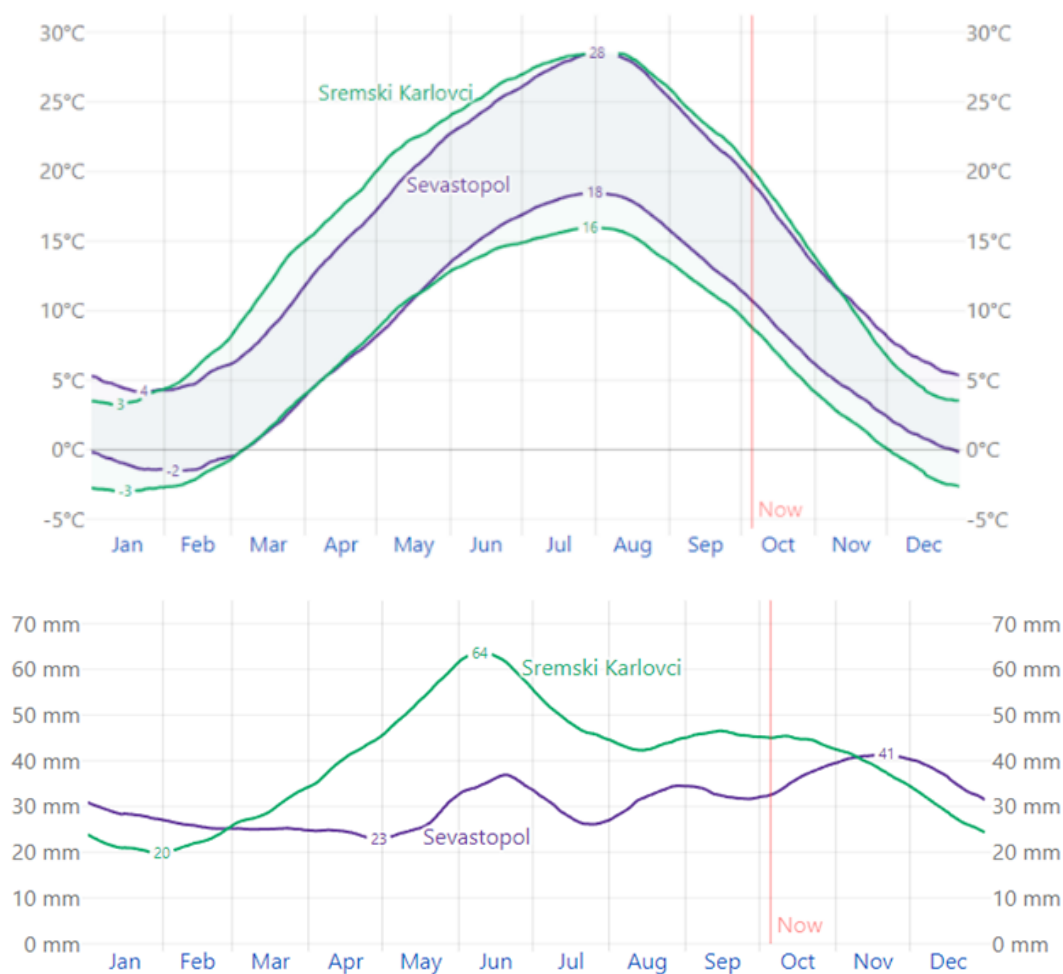


Рис. 2. Сравнительная динамика среднемесячных температур и среднемесячного количества осадков в г. Севастополе и г. Сремски Карловци (<https://weatherspark.com>)

Fig. 2. Comparative dynamics of average monthly temperatures and average monthly precipitation in Sevastopol and Sremski Karlovci (<https://weatherspark.com>)

в год, в то время как в г. Сремски Карловци данный показатель вдвое выше и составляет порядка 760 мм.

Контрастность регионов исследования демонстрируют рассчитанные нами показатели коэффициента увлажнения Иванова-Высоцкого (1,13 против 0,39) и гидротермического коэффициента увлажнения Селянинова (0,86 против 0,54 в г. Сремски Карловци и г. Севастополе соответственно). Месячные суммы осадков осенне-зимнего периода в Севастопольском регионе существенно выше их среднегодовых значений, а весенне-летнего – значительно ниже, поэтому количество осадков выступает в качестве лимитирующего экологического фактора растениеводства.

Культура винограда относительно устойчива к засушливым условиям, однако при орошении ее продуктивность заметно повышается. В контексте почвенных характеристик различные условия увлажнения отражаются в первую очередь на биологической активности почвы, степени выраженности эрозионных процессов и интенсивности миграции мобильных веществ в сопряженных элементах мезорельефа. Так, наши исследования показали, что величина базального дыхания почв ампелоценозов Автономного края Воеводина Республики Сербия оказалась в 6-11 раз выше (!), чем в почвах ампелоценозов юго-западной части Крыма.

Разное количество осадков оказывает прямое влияние и на применяемые в винодельческих хозяйствах агротехнические приемы. В условиях недостатка почвенной влаги в летние месяцы виноградари практикуют подавление в междурядьях сорных растений, составляющих конкуренцию виноградной

лозе за воду и питательные вещества, посредством культивации междурядий и пестицидных обработок [14].

Между тем данные агротехнические приемы приводят к повышенной минерализации органического вещества в почвах виноградников, снижению почвенного плодородия, развитию эрозионных процессов, особенно на склоновых формах рельефа, уплотнению почвы и снижению ее биологической активности.

В связи с этим обязательными индикаторами почвенно-экологического мониторинга в ампелоценозах являются показатели почвенного плодородия. Много полезной информации с целью раннего выявления факторов риска для агроэкосистем виноградников можно получить и при анализе состояния микробного сообщества почвы [15].

3.2. Рельеф местности, геохимические особенности ландшафта

3.2. Terrain relief, geochemical features of the landscape

Ампелоценозы нередко размещают в горных или холмистых районах, где они соседствуют как с пахотными землями и другими многолетними культурными насаждениями, так и с природными экосистемами: лесами, кустарниками, водными источниками.

Вследствие геохимического сопряжения элементарных ландшафтов склонов наблюдаются активные процессы латерального перемещения веществ в виде их механической миграции и растворов с поверхностным (рис. 3) и внутрипочвенным стоком в нижележащие элементы рельефа и соседние ландшафты [16].



Рис. 3. Наносы почвы в нижней части склона под виноградником около сельского поселения Добриловац Автономного края Воеводина Республики Сербия (фото И.В. Андреевой)

Fig. 3. Soil deposits in the lower part of the slope under the vineyard near the rural settlement of Dobrilovac in the Autonomous Province of Vojvodina, Republic of Serbia (photo by I.V. Andreeva)

В целях корректного проведения мониторинговых исследований важно понимать, что накопление влаги, водорастворимых солей и твердых веществ, которые перемещаются по склону вместе с водными потоками под действием силы тяжести, происходит наиболее интенсивно в нижних частях склонов, в междурядьях винограда, особенно расположенных вдоль склона и не занятых растительностью, а также в пределах технологических дорог, по которым перемещается техника для проведения уходовых процедур за виноградом (рис. 4, 5).

Эрозионные процессы на склоновых почвах под виноградниками могут усиливать высокое среднегодовое количество осадков [18], повышение частоты экстремальных осадков, собирающие и выпуклые формы склонов, легкий гранулометрический состав почв с невысоким содержанием органического вещества, расположение рядов винограда вдоль склона,

отсутствие почвопокровных культур в междурядьях и их интенсивную культивацию [19-21].

Особую тревогу вызывает отмечаемая в научной литературе для почв ампелоценозов миграция по склону органического вещества, элементов питания растений и тяжелых металлов, что способствует усилению пространственной неоднородности агроэкологического качества почв ампелоценозов [22]. Так, наши исследования в склоновых ландшафтах горной гряды Фрушка гора Автономного края Воеводины показали, что в винодельческом хозяйстве с интенсивной системой выращивания винограда наиболее низкое содержание органического вещества обнаружено в верхней части склона со значениями от 1,02 до 1,36% в зависимости от горизонта, тогда как в почве средней и нижней частей склона данный показатель был существенно выше и находился в диапазоне от 2,70 до 3,33%.



Рис. 4. Развитие эрозионных процессов на виноградниках (источник: Pijl et al., 2021 [17])

Fig. 4. Development of erosion processes in vineyards (source: Pijl et al., 2021 [17])



Рис. 5. Мелкоструйчатый размыв почвы в пределах технологической колеи виноградника в Автономном крае Воеводина Республики Сербия после продолжительных ливневых осадков (фото И.В. Андреевой)

Fig. 5. Fine jet erosion of soil within the technological track of a vineyard in the Autonomous Province of Vojvodina, Republic of Serbia, after prolonged heavy rainfall (photo by I.V. Andreeva)

Отмеченную тенденцию повторял и показатель скорости базального дыхания, который в поверхностном горизонте 0-5 см последовательно возрастал от верхней части склона к нижней. Кроме того, наши исследования подтвердили тесную корреляционную связь содержания органического вещества и меди, которая накапливается в поверхностных горизонтах виноградников вследствие интенсивного использования медьсодержащих пестицидов для контроля грибковых заболеваний. Как следствие, медь мигрировала по склону в составе комплексов с органическим веществом, в результате чего происходило накопление элемента в средней или нижней части склона в зависимости от параметров его мезо- и микрорельефа.

3.3. История землепользования и возраст насаждений

3.3. History of land use and age of plantations

В системе почвенно-экологического мониторинга виноградников необходимо учитывать как возраст текущих насаждений, так и по возможности – историю землепользования на участке. Это важно не только с точки зрения оценки влияния применявшихся агротехнологических приемов, но и в связи с распространенной мировой практикой широкого использования в системе защиты винограда медьсодержащих фунгицидов [23].

Хорошо известна эффективность данных препаратов для контроля оидиума, милдью и серой гнили – заболеваний, наносящих наибольший экономический ущерб виноградарям во всем мире. История применения, например, бордоской жидкости насчитывает, как минимум, полторы сотни лет, что связано с относительно высокой токсичностью для патогенов, дешевизной, малой токсичностью для теплокровных животных и человека, а также со способностью в течение длительного времени оставаться на поверхности растений после проведения обработки.

В результате одной из наиболее серьезных экологических проблем для почв виноградников стало накопление меди в верхних горизонтах почвы, содержание которой существенно выше в почве винодельческих регионов с длительной историей виноградарства и виноделия [24-26]. К таким регионам относятся, например, старейшие виноградники Бургундии и Шампани во Франции, Пьемонта и Ломбардии в Италии, Токай в Венгрии и т.д.

Наши исследования также проводились в исторических центрах виноделия. Первые виноградники на склонах Фрушки Горы Автономного края Воеводина Республики Сербия появились еще во времена правления римских императоров. В результате проведенного нами анализа данных на примере разновозрастных (от 15 до 200 лет) ампелоценозов с применением методов непараметрической статистики удалось установить решающую роль длительности

возделывания винограда в накоплении и распределении меди в почве по сравнению с другими агрогенными и геогенными факторами. При этом уровень накопления и пространственное варьирование в почве других тяжелых металлов (марганца, хрома и кобальта) были связаны главным образом с условиями мезо- и микрорельефа (крутизной, протяженностью и формой склонов).

Ввиду длительной истории применения медьсодержащих фунгицидов особый интерес представляют мониторинговые исследования накопления и миграции меди в экосистемах виноградников возрастом более 100 лет [27]. Например, в результате подобных исследований на обогащенных медью почвах выявлены признаки ее фитотоксичности для виноградных растений и почвенной биоты, изменение формы и биодоступности меди в ризосфере растений, снижение скорости разложения органического вещества и даже изменение минералогического состава и геохимических свойств обогащенных медью почв, что рассматривают как один из факторов их деградации и источник экологического риска для соседних ландшафтов [28, 29].

Почвенно-экологический мониторинг на территории виноградников желательно сочетать с элементами фоновой мониторинга, который предоставляет ценную информацию об эталонах окружающей среды с целью выявления тенденций их изменения на исследуемых территориях.

В современных условиях общепланетарного загрязнения фоновые территории определяются не как зоны отсутствия антропогенного воздействия, а как территории, в наименьшей мере подверженные локальному и региональному загрязнению. Однако в исторических винодельческих регионах могут возникнуть трудности с подбором фоновой территории. Так, в почвенном профиле 0-140 см выбранного нами в качестве фоновой территории с естественной луговой растительностью, расположенного недалеко от исследуемых виноградных насаждений на склонах Фрушки Горы, содержание меди колебалось в относительно узком диапазоне от 49,2 до 57,8 мг/кг до глубины 0-80 см. Лишь начиная с глубины 80 см содержание элемента последовательно снижалось и достигало средней величины 18,5 мг/кг. Низкое содержание меди в почвообразующей породе указывало на наличие антропогенных или скорее агрогенных источников обогащения медью верхней части почвенного профиля. Аналогичную картину внутрипрофильного распределения меди в том же районе исследования обнаружили Ninkov et al. (2012) для залежной почвы, на которой виноград культивировался порядка 50 лет назад [30]. Поэтому вполне вероятно, что ранее данный участок использовался для выращивания винограда, и в мониторинговых исследованиях его можно рассматривать как условно фоновый.

Чаще всего в статьях с результатами мониторинга ампелоценозов в качестве фоновой территории

используются лесные участки или лесополосы, которые расположены в непосредственной близости от территории виноградника. Отмечается, что такие участки гарантированно порядка 200 лет не использовались для культивирования винограда, и потому результаты, полученные на таких участках, пригодны в качестве фоновых для оценки степени агрогенной трансформации почв виноградников.

Крым в этом отношении представляет собой еще более проблемную территорию, поскольку является древнеземледельческим районом. Считается, что первые лозы появились здесь еще во времена античных греческих колоний примерно в V-VI вв. до н.э. Культурные слои и наличие большого количества старопахотных почв, сохранивших признаки прежних земледельческих нагрузок, сильно осложняют подбор фонового участка [31]. Кроме того, на динамику площадей под виноградниками на данной территории сильное влияние оказывали периодические эпифитотии заболеваний (например, филлоксерой), социально-экономический спад 90-х гг. XX в., климатические катаклизмы, антиалкогольная кампания 1985-1988 гг. В результате средний возраст виноградных насаждений Крыма на настоящий момент составляет около 25 лет. Значительная пространственная неоднородность почв и присутствие артефактов затрудняют интерпретацию данных и оценку влияния отдельных факторов на результаты исследований.

Еще одним важным методическим аспектом, связанным с историей землепользования, является устойчивая тенденция перепрофилирования виноградников. Так, в Австралии и в некоторых европейских странах главным образом по экономическим причинам часть земель под виноградниками переводят под выращивание других культур, тогда как в Республике Крым наблюдается обратная тенденция: активное вовлечение залежных земель в сельскохозяйственный оборот под закладку виноградников. Это вызывает большой исследовательский интерес со стороны научного сообщества, связанный с изучением изменений физико-химических и биологических показателей почвы в результате смены землепользования [32, 33]. Например, установлено, что накопленная в результате длительного выращивания винограда медь в верхних горизонтах почвы оказывала фитотоксическое действие на растения пшеницы [34].

Наши исследования в Крыму показали, что за три года с момента восстановления постагрогенной почвы под закладку виноградников в ней снизилось содержание органического вещества, а валовое содержание меди, цинка и подвижной серы, напротив, возросло. Кроме того, на почвах залежей, на которых ранее около 40-60 лет выращивались виноградники с применением химической защиты растений, установлены низкие показатели микробной биомассы, дыхательной активности почвы и выходящие за пределы оптимальных значений экофизиологические индексы, что указывает на неблагоприятные условия

функционирования микробного сообщества этих почв, несмотря на общее накопление органического вещества [35].

3.4. Тип землепользования и агротехнические приемы выращивания

3.4. Land use type and agronomic practices for cultivation

При всем многообразии подходов к управлению виноградниками в целом они сводятся к трем системам: традиционной, органической и биодинамической. В традиционном виноделии используется широкий спектр химических препаратов различных классов и степени опасности как для профилактических обработок, так и для лечения растений винограда. Интерес к альтернативному виноградарству и виноделию в последние годы возрос в связи с вниманием общества к проблемам охраны окружающей среды и снижению темпов деградации почв и повышением спроса на экологически безопасную продукцию.

Органическое земледелие представляет собой системный подход, направленный на поддержание здоровья агроэкосистемы в целом, и почвы – в частности, активное использование биологического метода при удобрении и контроле вредных организмов [36]. Для некоторых европейских стран, где рынок органической продукции хорошо сформирован, вино составляет важную часть этого рынка с долей более 10% от общего объема винодельческой продукции [37].

Основная идея биодинамического земледелия заключается в том, что каждый обрабатываемый участок рассматривается как живая, сложная, саморегулируемая экосистема, неразрывно связанная с космосом и являющаяся его частью [38]. Несмотря на то, что биодинамические стандарты похожи на принципы органического сельского хозяйства, они отличаются использованием специально разработанных биодинамических препаратов для растений, почвы и компостов. Кроме того, в отличие от органической биодинамическая система находится вне сферы государственного регулирования, и доля такой продукции на рынке невелика.

В свою очередь, традиционные системы выращивания характеризуются большим разнообразием способов расположения виноградников на местности, обработки почвы и ухода за виноградными лозами. Уровень агротехники и применяемые агротехнологии зависят от размера хозяйств, финансовых возможностей предприятия и уровня компетентности специалистов, почвенно-климатических условий и ландшафтных особенностей территории, на которых располагаются виноградники, и прочих факторов.

Влиянию агрогенных факторов в отдельности и их сочетания на продуктивность винограда и компоненты окружающей среды в хозяйствах с разными системами землепользования посвящено множество научных исследований [39]. Большинство авторов

сходятся во мнении о том, что почвы органических винодельческих хозяйств имеют более благоприятные физико-химические и микробиологические показатели по сравнению с традиционными [40]. Аналогичный вывод был сделан по результатам наших исследований, проведенных под Севастополем [35].

В то же время необходимо учитывать тот факт, что медьсодержащие фунгициды разрешены к использованию, в том числе в органических хозяйствах, где они являются подчас единственным эффективным средством для борьбы с болезнями виноградной лозы. Поэтому проблема меди в органических хозяйствах не только не снимается, но и зачастую стоит более остро за счет того, что альтернативы в виде органических пестицидов для таких хозяйств не существует [41].

Даже в заброшенных 100-летних виноградниках, на которых медьсодержащие препараты не применялись в течение последних 40 лет, мы наблюдали эффект их последствий, который заключался не только в накоплении меди в почве выше установленных нормативных значений, но в ряде случаев и в опасных количествах – в ягодах винограда [42].

Этот факт необходимо учитывать при переводе виноградников с традиционной на органическую систему земледелия, а также при введении в сельскохозяйственный оборот залежных почв после длительного возделывания на них виноградных насаждений ранее.

Наши исследования выявили и заметно большее содержание подвижной серы в почвах хозяйств с органической системой землепользования, что также связано с разрешенным применением данного элемента при производстве органической продукции в составе фунгицидов, акарицидов и репеллентов.

Система ведения куста и расположение виноградника на склонах не только влияют на условия инсоляции и продуваемости кустов, но и имеют определенные экологические последствия. Так, в наших исследованиях на виноградниках интенсивного типа в Воеводине показано, что расположение рядов винограда (вертикальная шпалера) вдоль склона крутизной 5-13° способствовало активному развитию эрозионных процессов, что усугублялось неоднократной культивацией междурядий в течение вегетационного периода.

Вопрос о необходимости междурядных обработок винограда также остается дискуссионным и широко обсуждается в научных периодических изданиях. При проведении почвенно-экологического мониторинга и анализе результатов исследований обязательно нужно учитывать применяемую в винодельческом хозяйстве систему управления междурядьями.

Преимуществом системы черного пара является снижение конкуренции со стороны сорных растений за воду, особенно в регионах с недостаточным количеством атмосферной влаги, создание условий для лучшего проникновения и сохранения влаги в почве, облегчения контроля за численностью возбудителей заболеваний и вредителей [14].

Сторонники сохранения междурядной растительности, особенно с бобовым компонентом в ее составе, наоборот, аргументируют это улучшением физических и биологических свойств почвы, созданием более благоприятных микроклиматических условий для растений винограда, повышением их устойчивости к болезням и вредителям [43].

Система ведения междурядий может оказать существенное влияние на плотность почвы, ее биологическую активность, темпы минерализации органического вещества, его количественные и качественные характеристики, скорость и степень развития эрозионных процессов, мощность плодородного слоя и т.д. [44].

Широко применяемая в виноградниках механическая обработка почвы (сезонная глубокая вспашка, чизелевание, разноглубинные культивации и периодическое обновление плантажа) могут изменить картину накопления и внутрипрофильного распределения меди и других тяжелых металлов в почве ампелоценозов.

Необходимо учитывать и ежегодно практикуемое в определенных климатических зонах укрытие кустов земляным валом (перемещение почвы из междурядий к рядам с растениями) с последующей отпашкой укрывных валов в весенний период. Вал высотой 20-25 см призван обеспечить надежную защиту кустов от морозов.

Возможно, перемешивание почвы в результате ее постоянного перемещения из междурядий к кустам и обратно является причиной отсутствия достоверных различий в содержании меди в почве, отобранной в рядах винограда и междурядьях, отмеченной в исследованиях (в том числе в наших), несмотря на обработку химическими средствами защиты растений в рядах [30]. Для виноградников с обрабатываемыми междурядьями это позволяет сократить программу мониторинговых исследований и сэкономить ресурсы. В то же время механические, физико-химические и микробиологические показатели почвы в междурядьях с постоянным задернением могут иметь существенные отличия от почвы, отобранной непосредственно в рядах [45].

Глубокая вспашка и чизелевание почвы проводятся осенью на глубину до 30-35 см, периодическое обновление плантажа – один раз в 3-4 года на глубину до 70 см. Производимое при этом вертикальное перемещение верхних слоев почвы способствует проникновению меди и других загрязняющих веществ в глубь почвенного профиля и ее распределению в нем, что и наблюдалось в залежной почве после длительного культивирования винограда в регионе Фрушка Гора согласно приведенному выше описанию. Поэтому при проведении почвенно-экологических исследований на виноградниках целесообразно не ограничиваться горизонтом 0-30 см и отбирать образцы из более глубоких слоев почвы для большей информативности и лучшего понимания происходящих процессов миграции токсикантов. Для культуры винограда это

имеет особое значение, так как корни виноградного растения могут распространяться на глубину в несколько метров в поисках влаги, что особенно отчетливо проявляется в условиях засушливого климата.

Глубокая механическая обработка почвы виноградников, плантажная вспашка при перезакладке виноградника и обновлении плантажа приводят к коренным изменениям генетического сложения почвы со взаимным перемещением слоев и горизонтов в вертикальном направлении. Перемешивание пахотного и подпахотного горизонтов почвы может привести к неравномерному распределению органического вещества по профилю с пиком в нижележащих слоях почвы вследствие сбрасывания вниз обогащенного гумусом верхнего слоя. Эти особенности агротехнологических приемов на почвах ампелоценозов также необходимо учитывать при проведении анализа показателей почвенного плодородия, биологической активности почвы, латерального и радиального распределения валового содержания и содержания подвижных форм тяжелых металлов, содержания остаточных количеств пестицидов и т.д.

В ампелоценозах агрогенные факторы тесно переплетаются с локальными особенностями ландшафтов. Применяемые агротехнологические приемы выращивания винограда в каждом винодельческом хозяйстве имеют свою специфику: они могут усилить или, напротив, ослабить проявление ландшафтных характеристик местности. Например, в регионе Фрушка Гора в Воеводине мы исследовали небольшой частный виноградник, который в течение порядка 200 лет культивировался по архаичной технологии в виде штамбов – отдельно стоящих кустов винограда без опор, равномерно расположенных по всему выровненному, постоянно задерненному естественной луговой растительностью склону крутизной 10°. Характер распределения меди, марганца, хрома и кобальта показал преобладание их радиальной миграции над латеральной, возможно, в связи с их закреплением в корнеобитаемой зоне почвы и активным выносом луговой растительностью. Тем не менее была установлена и выраженная латеральная миграция меди с зоной аккумуляции в нижней части склона со значениями коэффициента латеральной дифференциации в горизонте 15-30 см, достигающими 4,00 и 5,57 в периметре кроны кустов и между кустами соответственно. Необходимо отметить, что в условиях отсутствия механической обработки содержание органического вещества в почве подчинялось его классическому профильному распределению с максимумом в поверхностном горизонте 0-5 см.

Выводы Conclusions

Почвенно-экологический мониторинг ампелоценозов предоставляет заинтересованным лицам всю необходимую актуальную информацию,

позволяющую принимать агроэкологически обоснованные решения по управлению виноградниками в целях предоставления ими экосистемных услуг и сохранения качества окружающей природной среды. В статье рассмотрены лишь некоторые аспекты, которые необходимо принимать во внимание при подготовке и проведении почвенно-экологического мониторинга в условиях агроэкосистем виноградников, с которыми пришлось столкнуться авторам при проведении подобных исследований в Крыму и Республике Сербии. Однако они наглядно демонстрируют сложность и многогранность данного объекта исследований, что в свою очередь предопределяет комплексность методических подходов к мониторингу и его агроэкологической оценке.

Каждый виноградник – это уникальный результат взаимодействия локальных климатических, топографических, эдафических и агрогенных факторов, который в виноделии принято считать терруаром. Наложение этих факторов друг на друга в сочетании с воздействием различных техногенных источников может приводить к неоднозначным изменениям компонентов окружающей среды в пределах виноградника и сопряженных территорий, не характерных для природных ландшафтов.

В частности, могут значительно меняться состав и интенсивность геохимических потоков техногенных веществ через агроэкосистемы с формированием зон аккумуляции и рассеивания, характер накопления и перераспределения по профилю органического вещества и его качественный состав, усиливаться поверхностный сток на эрозионно опасных участках, охватывающих в первую очередь междурядья и магистральные дороги виноградников, расположенных в горном ландшафте.

Перечисленные и прочие аспекты вызывают необходимость тщательного изучения в рамках агроэкологического мониторинга локальных особенностей взаимодействия природных, агрогенных и техногенных факторов, а также всесторонней оценки комбинаторики производимого ими экологического эффекта – как положительного, так и отрицательного.

Результаты проведенных исследований показали, что классическое определение показателей состояния почв в случае с ампелоценозами необходимо дополнять экогеохимическими исследованиями, особенно в части уровней накопления и миграции соединений меди и подвижной серы с учетом ландшафтных особенностей территории, а также показателями биологической активности почвы, которые выступают ранними индикаторами происходящих негативных изменений в агроэкосистеме виноградников. В последнем случае в качестве информативного и полезного инструмента системного анализа проблемных экологических ситуаций выступают экофизиологические индексы, демонстрирующие актуальный статус почвенного микробиома.

Список источников

1. Candiago S., Winkler K., Giombini V. et al. An ecosystem service approach to the study of vineyard landscapes in the context of climate change: a review. *Sustainability Science*. 2022;18(4):1-17. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01223-x>
2. Giffard B., Winter S., Guidoni S., Nicolai A. et al. Vineyard Management and Its Impacts on Soil Biodiversity, Functions, and Ecosystem Services. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2022;10:850272. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.850272>
3. Oliveira M., Ribeiro J. The cultural landscape paradigm: conservation approaches and tools – the case of the Pico Island vineyard culture, Azores Portugal. *The International Journal of Design in Society*. 2013;6(3):129-147. <https://doi.org/10.18848/2325-1328/CGP/v06i03/38511>
4. Fraga H., Malheiro A.C., Moutinho-Pereira J. et al. An overview of climate change impacts on European viticulture. *Food and Energy Security*. 2012;1(2):94-110. <https://doi.org/10.1002/fes3.14>
5. Azorín P.R., García J.G. The productive, economic, and social efficiency of vineyards using combined drought-tolerant rootstocks and efficient low water volume deficit irrigation techniques under Mediterranean semiarid conditions. *Sustainability*. 2020;12(5):1930. <https://doi.org/10.3390/su12051930>
6. Marlowe B., Bauman M. Terroir Tourism: Experiences in Organic Vineyards. *Beverages*. 2019;5(2):30. <https://doi.org/10.3390/beverages5020030>
7. Cross R., Plantinga A., Stavins R. Terroir in the New World: Hedonic Estimation of Vineyard Sale Prices in California. *Journal of Wine Economics*. 2017;12(3):282-301. <https://doi.org/10.1017/jwe.2017.27>
8. Cruz-Silva A., Laureano G., Pereira M., Dias R. et al. A New Perspective for Vineyard Terroirs Identity: Looking for Microbial Indicator Species. *Microorganisms*. 2023;11(3):672. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11030672>
9. Schmidtke L., Bastian S., Bindon K., Bonada M. et al. Exploring Interactions Between Vineyard Performance, Grape and Wine Composition and Subregional Boundaries – The Terroir of Barossa Shiraz. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2024;1:2622516. <https://doi.org/10.1155/ajgw/2622516>
10. Visconti F., López R., Olego M.Á. The Health of Vineyard Soils: Towards a Sustainable Viticulture. *Horticulturae*. 2024;10(2):154. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10020154>
11. Andrés P., Doblas-Miranda E., Silva-Sanchez A., Mattana S. Physical, Chemical, and Biological Indicators of Soil Quality in Mediterranean Vineyards under Contrasting Farming Schemes. *Agronomy*. 2022;12(11). <https://doi.org/10.3390/agronomy12112643>
12. Pham N., Babcsanyi I., Farsang A. Soil contamination and ecological risk of heavy metals in alkaline vineyard soil. *Conference: EGU General Assembly. May 4 – May 8, 2020. Vienna, Austria: EGU2020-1587, 2020*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-1587>
13. Габечая В.В., Андреева И.В., Морев Д.В. Сравнительный анализ лимитирующих функционирование почвенного микробиома факторов при культивировании винограда в условиях Южного берега Крыма и Автономного края Воеводина Республики Сербия // *АгроЭкоИнфо*. 2023. № 6 (60). <https://doi.org/10.51419/202136628>

References

1. Candiago S., Winkler K., Giombini V. et al. An ecosystem service approach to the study of vineyard landscapes in the context of climate change: a review. *Sustainability Science*. 2022;18(4):1-17. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01223-x>
2. Giffard B., Winter S., Guidoni S., Nicolai A. et al. Vineyard Management and Its Impacts on Soil Biodiversity, Functions, and Ecosystem Services. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2022;10:850272. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.850272>
3. Oliveira M., Ribeiro J. The cultural landscape paradigm: conservation approaches and tools – the case of the Pico Island vineyard culture, Azores Portugal. *The International Journal of Design in Society*. 2013;6(3):129-147. <https://doi.org/10.18848/2325-1328/CGP/v06i03/38511>
4. Fraga H., Malheiro A.C., Moutinho-Pereira J. et al. An overview of climate change impacts on European viticulture. *Food and Energy Security*. 2012;1(2):94-110. <https://doi.org/10.1002/fes3.14>
5. Azorín P.R., García J.G. The productive, economic, and social efficiency of vineyards using combined drought-tolerant rootstocks and efficient low water volume deficit irrigation techniques under Mediterranean semiarid conditions. *Sustainability*. 2020;12(5):1930. <https://doi.org/10.3390/su12051930>
6. Marlowe B., Bauman M. Terroir Tourism: Experiences in Organic Vineyards. *Beverages*. 2019;5(2):30. <https://doi.org/10.3390/beverages5020030>
7. Cross R., Plantinga A., Stavins R. Terroir in the New World: Hedonic Estimation of Vineyard Sale Prices in California. *Journal of Wine Economics*. 2017;12(3):282-301. <https://doi.org/10.1017/jwe.2017.27>
8. Cruz-Silva A., Laureano G., Pereira M., Dias R. et al. A New Perspective for Vineyard Terroirs Identity: Looking for Microbial Indicator Species. *Microorganisms*. 2023;11(3):672. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11030672>
9. Schmidtke L., Bastian S., Bindon K., Bonada M. et al. Exploring Interactions Between Vineyard Performance, Grape and Wine Composition and Subregional Boundaries – The Terroir of Barossa Shiraz. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2024;1:2622516. <https://doi.org/10.1155/ajgw/2622516>
10. Visconti F., López R., Olego M.Á. The Health of Vineyard Soils: Towards a Sustainable Viticulture. *Horticulturae*. 2024;10(2):154. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10020154>
11. Andrés P., Doblas-Miranda E., Silva-Sanchez A., Mattana S. Physical, Chemical, and Biological Indicators of Soil Quality in Mediterranean Vineyards under Contrasting Farming Schemes. *Agronomy*. 2022;12(11). <https://doi.org/10.3390/agronomy12112643>
12. Pham N., Babcsanyi I., Farsang A. Soil contamination and ecological risk of heavy metals in alkaline vineyard soil. *Conference: EGU General Assembly. May 4 – May 8, 2020. Vienna, Austria: EGU2020-1587, 2020*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-1587>
13. Gabechaya V.V., Andreeva I.V., Morev D.V. Comparative analysis of factors limiting the functioning of the soil microbiome during grape cultivation under the conditions of the Southern coast of Crimea and the Autonomous Province of Vojvodina, Republic of Serbia. *AgroEcoInfo*. 2023;6(60). (In Russ.) <https://doi.org/10.51419/202136628>

14. Sharma P., Singh A., Kahlon C.S., Brar A.S. et al. The role of cover crops towards sustainable soil health and agriculture—a review paper. *American Journal of Plant Sciences*. 2018;9:1935-1951. <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.99140>
15. Rawnsley B. Assessment of soil health in vineyards. *Acta Horticulturae*. 2014;1018:417-423. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1018.45>
16. Kenderessy P., Lieskovsky J. Impact of the soil erosion on soil properties along a slope catena-case study Horný Ohaj Vineyards, Slovakia. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. 2014;9:143-152.
17. Pijl A., Wang W., Straffellini E., Tarolli P. Soil and water conservation in terraced and non-terraced cultivations a massive comparison of 50 vineyards. *Land Degradation & Development*. 2021;33:596-610. <https://doi.org/10.1002/ldr.4170>
18. Faucher M., Grellier S., Chaudron C., Jean-Louis J. et al. Mediterranean vineyard soil seed bank characterization along a slope/disturbance gradient: opportunities for land sharing. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 2024;361:108821. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108821>
19. Bortoluzzi E.C., Korchagin J., Moterle D.F., Rheinheimer dos Santos D. et al. Accumulation and precipitation of Cu and Zn in a centenarian vineyard. *Soil Science Society of America Journal*. 2019;83:492-502. <https://doi.org/10.2136/sssaj2018.09.0328>
20. Prosdocimi M., Cerdà A., Tarolli P. Soil water erosion on Mediterranean vineyards: A review. *Catena*. 2016;141:1-21. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.010>
21. Ha Nhung P.T., Viet N.Q. Assessing the Impact of Erosion and Farming Practices on the Spatial Distribution of Topsoil Characteristics in a Sloping Vineyard Using an Open-source QGIS Software. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*. 2023;39(4):91-101. <https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5016>
22. Jurisio A., Ivica K., Zgorelec Z., Kvaternjak I. Influence of water erosion on copper and sulphur distribution in vineyard soils. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 2012;13:880-889.
23. Rocha G., Lini R., Barbosa F., Batista B. et al. Exposure to heavy metals due to pesticide use by vineyard farmers. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2014;88:875-880. <https://doi.org/10.1007/s00420-014-1010-1>
24. Lorenzoni P., Valboa G., Papini R., Paone R. et al. Soil Copper and Zinc Accumulation and Bioavailability under a Long Term Vineyard Cultivation in South Italy. *Italian Journal of Agronomy*. 2007;2(1):31-39. <https://doi.org/10.4081/IJA.2007.31>
25. Brunetto G., Ferreira P., Melo G., Ceretta C. et al. Heavy metals in vineyards and orchard soils. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 2017;39(2):263. <https://doi.org/10.1590/0100-29452017263>
26. Romić M., Filipović L., Bakić H., Romić D. Copper Accumulation in Vineyard Soils: Distribution, Fractionation and Bioavailability Assessment. In: *Environmental Risk Assessment of Soil Contamination*. 2014. <https://doi.org/10.5772/57266>
27. Rodrigo-Comino J., Brings C., Iserloh T., Casper M.C. et al. Temporal changes in soil water erosion on sloping vineyards in the Ruwer-Mosel Valley. The impact of age and plantation works in young and old vines. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 2017;65(4):402-409. <https://doi.org/10.1515/johh-2017-0022>
14. Sharma P., Singh A., Kahlon C.S., Brar A.S. et al. The role of cover crops towards sustainable soil health and agriculture—a review paper. *American Journal of Plant Sciences*. 2018;9:1935-1951. <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.99140>
15. Rawnsley B. Assessment of soil health in vineyards. *Acta Horticulturae*. 2014;1018:417-423. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1018.45>
16. Kenderessy P., Lieskovsky J. Impact of the soil erosion on soil properties along a slope catena-case study Horný Ohaj Vineyards, Slovakia. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. 2014;9:143-152.
17. Pijl A., Wang W., Straffellini E., Tarolli P. Soil and water conservation in terraced and non-terraced cultivations a massive comparison of 50 vineyards. *Land Degradation & Development*. 2021;33:596-610. <https://doi.org/10.1002/ldr.4170>
18. Faucher M., Grellier S., Chaudron C., Jean-Louis J. et al. Mediterranean vineyard soil seed bank characterization along a slope/disturbance gradient: opportunities for land sharing. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 2024;361:108821. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108821>
19. Bortoluzzi E.C., Korchagin J., Moterle D.F., Rheinheimer dos Santos D. et al. Accumulation and precipitation of Cu and Zn in a centenarian vineyard. *Soil Science Society of America Journal*. 2019;83:492-502. <https://doi.org/10.2136/sssaj2018.09.0328>
20. Prosdocimi M., Cerdà A., Tarolli P. Soil water erosion on Mediterranean vineyards: A review. *Catena*. 2016;141:1-21. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.010>
21. Ha Nhung P.T., Viet N.Q. Assessing the Impact of Erosion and Farming Practices on the Spatial Distribution of Topsoil Characteristics in a Sloping Vineyard Using an Open-source QGIS Software. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*. 2023;39(4):91-101. <https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5016>
22. Jurisio A., Ivica K., Zgorelec Z., Kvaternjak I. Influence of water erosion on copper and sulphur distribution in vineyard soils. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 2012;13:880-889.
23. Rocha G., Lini R., Barbosa F., Batista B. et al. Exposure to heavy metals due to pesticide use by vineyard farmers. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2014;88:875-880. <https://doi.org/10.1007/s00420-014-1010-1>
24. Lorenzoni P., Valboa G., Papini R., Paone R. et al. Soil Copper and Zinc Accumulation and Bioavailability under a Long Term Vineyard Cultivation in South Italy. *Italian Journal of Agronomy*. 2007;2(1):31-39. <https://doi.org/10.4081/IJA.2007.31>
25. Brunetto G., Ferreira P., Melo G., Ceretta C. et al. Heavy metals in vineyards and orchard soils. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 2017;39(2):263. <https://doi.org/10.1590/0100-29452017263>
26. Romić M., Filipović L., Bakić H., Romić D. Copper Accumulation in Vineyard Soils: Distribution, Fractionation and Bioavailability Assessment. In: *Environmental Risk Assessment of Soil Contamination*. 2014. <https://doi.org/10.5772/57266>
27. Rodrigo-Comino J., Brings C., Iserloh T., Casper M.C. et al. Temporal changes in soil water erosion on sloping vineyards in the Ruwer-Mosel Valley. The impact of age and plantation works in young and old vines. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 2017;65(4):402-409. <https://doi.org/10.1515/johh-2017-0022>

28. Kopittke P.M., Blamey F.P.C., Menzies N.W. Toxicities of soluble Al, Cu, and La include ruptures to rhizodermal and root cortical cells of cowpea. *Plant and Soil*. 2007;303:217-227. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9500-5>
29. Majzlan J., Zittlau A.H., Grevel K.-D., Schliesser J. et al. Thermodynamic properties and phase equilibria of the secondary copper minerals libethenite, olivenite, pseudomalachite, kröhnkite, cyanochroite, and devilline. *The Canadian Mineral*. 2015;53:937-960. <https://doi.org/10.3749/canmin.1400066>
30. Ninkov J., Paprić Đ., Sekulić P., Zeremski-Škorić Institute T. et al. Copper content of vineyard soils at Sremski Karlovci (Vojvodina Province, Serbia) as affected by the use of copper-based fungicides. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2012;92(5):592-600. <http://dx.doi.org/10.1080/03067310903428743>
31. Лисецкий Ф.Н. Геохимические особенности старопашотных почв в районах античного земледелия Крыма (на примере окрестностей Евпатории) // Доклады Всероссийской научной конференции «Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана)». Москва: Географический факультет, 2016. С. 326-329.
32. Wightwick A.M., Mollah M.R., Partington D.L., Allinson G. Copper fungicide residues in Australian vineyard soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008;56:2457-2464. <https://doi.org/10.1021/jf0727950>
33. Peralta E., Perez G., Ojeda G., Alcañiz J.M. et al. Heavy metal availability assessment using portable X-ray fluorescence and single extraction procedures on former vineyard polluted soils. *Science of The Total Environment*. 2020;726:138670. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138670>
34. Michaud A., Bravin M., Galleguillos M., Hinsinger P. Copper uptake and phytotoxicity as assessed in situ for durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.) cultivated in Cu-contaminated, former vineyard soils. *Plant and Soil*. 2007;298:99-111. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9343-0>
35. Gabechaya V., Andreeva I., Morev D., Yaroslavl'tsev A. et al. Exploring the Influence of Diverse Viticultural Systems on Soil Health Metrics in the Northern Black Sea Region. *Soil Systems*. 2023;7(3):73. <https://doi.org/10.3390/soilsystems7030073>
36. Colautti A., Civilini M., Contin M., Celotti E. et al. Organic vs. conventional: impact of cultivation treatments on the soil microbiota in the vineyard. *Frontiers in Microbiology*. 2023;14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1242267>
37. Castellini A., Mauracher C., Troiano S. An overview of the biodynamic wine sector. *International Journal of Wine Research*. 2017;9:1-11. <https://doi.org/10.2147/IJWR.S69126.06>
38. Botelho R., Roberti R., Tessarin P., Garcia-Mina J.M. et al. Physiological responses of grapevines to biodynamic management. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2015;1:1-12. <https://doi.org/10.1017/S1742170515000320>
39. Milićević T., Aničić Urošević M., Relić D., Jovanović G. et al. Environmental pollution influence to soil- plant-air system in organic vineyard: bioavailability, environmental, and health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021;28:3361-3374. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10649-8>
40. Hendgen M., Döring J., Stöhrer V. et al. Spatial Differentiation of Physical and Chemical Soil Parameters
28. Kopittke P.M., Blamey F.P.C., Menzies N.W. Toxicities of soluble Al, Cu, and La include ruptures to rhizodermal and root cortical cells of cowpea. *Plant and Soil*. 2007;303:217-227. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9500-5>
29. Majzlan J., Zittlau A.H., Grevel K.-D., Schliesser J. et al. Thermodynamic properties and phase equilibria of the secondary copper minerals libethenite, olivenite, pseudomalachite, kröhnkite, cyanochroite, and devilline. *The Canadian Mineral*. 2015;53:937-960. <https://doi.org/10.3749/canmin.1400066>
30. Ninkov J., Paprić Đ., Sekulić P., Zeremski-Škorić Institute T. et al. Copper content of vineyard soils at Sremski Karlovci (Vojvodina Province, Serbia) as affected by the use of copper-based fungicides. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2012;92(5):592-600. <http://dx.doi.org/10.1080/03067310903428743>
31. Lisetskiy F.N. Geochemical features of old-arable soils in the areas of ancient land use of Crimea (on the example of the environs of Evpatoria). *Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya "Geokhimiya landshaftov (k 100-letiyu A.I. Perelmana)"*. Moscow, Russia: Geograficheskiy fakultet, 2016:326-329. (In Russ.)
32. Wightwick A.M., Mollah M.R., Partington D.L., Allinson G. Copper fungicide residues in Australian vineyard soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008;56:2457-2464. <https://doi.org/10.1021/jf0727950>
33. Peralta E., Perez G., Ojeda G., Alcañiz J.M. et al. Heavy metal availability assessment using portable X-ray fluorescence and single extraction procedures on former vineyard polluted soils. *Science of the Total Environment*. 2020;726:138670. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138670>
34. Michaud A., Bravin M., Galleguillos M., Hinsinger P. Copper uptake and phytotoxicity as assessed in situ for durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.) cultivated in Cu-contaminated, former vineyard soils. *Plant and Soil*. 2007;298:99-111. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9343-0>
35. Gabechaya V., Andreeva I., Morev D., Yaroslavl'tsev A. et al. Exploring the Influence of Diverse Viticultural Systems on Soil Health Metrics in the Northern Black Sea Region. *Soil Systems*. 2023;7(3):73. <https://doi.org/10.3390/soilsystems7030073>
36. Colautti A., Civilini M., Contin M., Celotti E. et al. Organic vs. conventional: impact of cultivation treatments on the soil microbiota in the vineyard. *Frontiers in Microbiology*. 2023;14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1242267>
37. Castellini A., Mauracher C., Troiano S. An overview of the biodynamic wine sector. *International Journal of Wine Research*. 2017;9:1-11. <https://doi.org/10.2147/IJWR.S69126.06>
38. Botelho R., Roberti R., Tessarin P., Garcia-Mina J.M. et al. Physiological responses of grapevines to biodynamic management. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2015;1:1-12. <https://doi.org/10.1017/S1742170515000320>
39. Milićević T., Aničić Urošević M., Relić D., Jovanović G. et al. Environmental pollution influence to soil- plant-air system in organic vineyard: bioavailability, environmental, and health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021;28:3361-3374. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10649-8>
40. Hendgen M., Döring J., Stöhrer V. et al. Spatial Differentiation of Physical and Chemical Soil Parameters

under Integrated, Organic, and Biodynamic Viticulture. *Plants*. 2020;9:1361. <https://doi.org/10.3390/plants9101361>

41. Beni C., Rossi G. Conventional and organic farming: estimation of some effects on soil, copper accumulation and wine in Central Italy vineyard. *Agrochimica – Pisa*. 2009;53:145-159.

42. 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. № 1 (3). С. 13-28. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-13-28>

43. Finney D.M., Buyer J.S., Kaye J.P. Living cover crops have immediate impacts on soil microbial community structure and function. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2017;724:361-373. <https://doi.org/10.2489/jswc.72.4.361>

44. Linares R., de la Fuente M., Junquera P., Lissarrague J.R. et al. Effects of Soil Management in Vineyard on Soil Physical and Chemical Characteristics. *BIO Web Conference*. 2014;3(4):01008. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20140301008>

45. Bernaschina Y., Fresia P., Garaycochea S., Leoni C. Permanent cover crop as a strategy to promote soil health and vineyard performance. *Environmental Sustainability*. 2023;6:243-258. <https://doi.org/10.1007/s42398-023-00271-y>

Сведения об авторах

Ирина Викторовна Андреева, доцент кафедры экологии, кандидат биологических наук, доцент, 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, 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>

Анри Арменович Пивазян, студент 4 курса кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: pivazyan.03@yandex.ru

Дмитрий Владимирович Морев, 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>

Иван Иванович Васенев, профессор кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: vasenev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9127-9569>

Статья поступила в редакцию 09.10.2024
Одобрена после рецензирования 09.12.2024
Принята к публикации 10.12.2024

under Integrated, Organic, and Biodynamic Viticulture. *Plants*. 2020;9:1361. <https://doi.org/10.3390/plants9101361>

41. Beni C., Rossi G. Conventional and organic farming: estimation of some effects on soil, copper accumulation and wine in Central Italy vineyard. *Agrochimica – Pisa*. 2009;53:145-159.

42. 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;1(3):13-28. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-13-28>

43. Finney D.M., Buyer J.S., Kaye J.P. Living cover crops have immediate impacts on soil microbial community structure and function. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2017;724:361-373. <https://doi.org/10.2489/jswc.72.4.361>

44. Linares R., de la Fuente M., Junquera P., Lissarrague J.R. et al. Effects of Soil Management in Vineyard on Soil Physical and Chemical Characteristics. *BIO Web Conference*. 2014;3(4):01008. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20140301008>

45. Bernaschina Y., Fresia P., Garaycochea S., Leoni C. Permanent cover crop as a strategy to promote soil health and vineyard performance. *Environmental Sustainability*. 2023;6:243-258. <https://doi.org/10.1007/s42398-023-00271-y>

Information about the authors

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

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

Anri A. Pivazyanyan, 4th year student of the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: pivazyan.03@yandex.ru

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

Ivan I. Vasenev, DSc (Bio), Professor, Professor at the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: vasenev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9127-9569>

The article was submitted to the editorial office October 09, 2024
Approved after reviewing December 09, 2024
Accepted for publication December 10, 2024