

*На правах рукописи*



**Габечая Валерия Вячеславовна**

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВ АМПЕЛОЦЕНОЗОВ В УСЛОВИЯХ  
ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА**

1.5.15. Экология (биологические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

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

Москва – 2025

Работа выполнена на кафедре экологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева»

**Научный руководитель:** **Андреева Ирина Викторовна**, кандидат биологических наук, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», кафедра экологии, доцент.

**Официальные оппоненты:** **Макаров Олег Анатольевич**, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», факультет почвоведения, кафедра эрозии и охраны почв, заведующий кафедрой;

**Клименко Ольга Евгеньевна**, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», отдел сельскохозяйственной микробиологии, научный сотрудник

Защита диссертации состоится **18 декабря 2025 г. в 12:30** часов на заседании диссертационного совета ЮФУ801.01.14 по биологическим наукам на базе Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки 194/1, к. 712.

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке им. Ю.А. Жданова Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге, 21Ж и на сайте Южного федерального университета <https://hub.sfedu.ru/diss/show/1346738/>.

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

Отзыв на автореферат в 2-х экз. (с указанием даты, полностью ФИО, учёной степени со специальностью, звания, организации, подразделения, должности, адреса, телефона, e-mail), заверенный печатью организации, просим направлять по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/1, к. 804, ученому секретарю диссертационного совета ЮФУ801.01.14 Тимошенко А.Н., а также в формате .pdf на e - mail: [atimoshenko@sfedu.ru](mailto:atimoshenko@sfedu.ru)

Ученый секретарь  
диссертационного совета ЮФУ801.01.14,  
кандидат биологических наук



Тимошенко А.Н.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Крымский полуостров имеет богатые традиции виноделия, восходящие к античности. Уникальные почвенно-климатические условия региона создают исключительные возможности для возделывания виноградной лозы и выпуска вин любой категории, в том числе сырья для коньяков. В настоящее время акцент делается на производство высококачественных вин с географическим статусом (Авидзба и др., 2016), растет спрос на экологически безопасную продукцию виноградарства и виноделия (Volkova et al., 2020). Однако развитие винодельческого направления на полуострове сопряжено с определенными рисками, обусловленными, с одной стороны, региональными климатическими изменениями (Ergina & Zhuk, 2019; Gorbunov et al., 2020), а с другой стороны – присущей отрасли интенсификацией производства с высокой пестицидной нагрузкой (Юрченко, 2021), снижением биоразнообразия (Giffard et al., 2022), опасностью развития эрозионных явлений (Резолюция OIV-VITI 716-2024 (OIV, 2024); Rodrigo-Comino et al., 2018). Поэтому для ампелозкосистем приобретает особое значение выявление абиотических и биотических экологических факторов, лимитирующих устойчивое получение виноградарско-винодельческой продукции.

Почва и ее микробиом в сочетании с локальными климатическими и ландшафтными условиями выступают ключевыми элементами устойчивого функционирования виноградников, напрямую влияют на продуктивность лозы и характеристики вина (Резолюция OIV-VITI 655/2021 (OIV, 2021); Zhou et al., 2021). Основные экологические свойства почвы и ее биологическая активность отражают уровень антропогенной нагрузки, что позволяет использовать их для экологической оценки применяемых в ампелозкосистемах технологий (Omer et al., 2023). В Крыму, где в последние годы наблюдается устойчивый тренд на расширение площадей виноградных насаждений (Беляева и Пискун, 2022), в том числе за счет вовлечения в оборот залежных земель, внедряется органическое виноградарство, параметры функционирования почвенного микробиома могут быть полезными в качестве критериев экологической оценки применения различных типов и интенсивности землепользования и других видов антропогенного воздействия.

Таким образом, результаты анализа пространственной изменчивости и биологической активности почв ампелоценозов в условиях юго-западной части Крымского полуострова позволят принимать экологически обоснованные решения по управлению виноградниками в целях предоставления ими экосистемных услуг, производства высококачественной виноградарско-винодельческой продукции и сохранения окружающей природной среды.

**Целью работы** является проведение экологической оценки пространственной изменчивости основных диагностических показателей и интегральной биологической активности почв ампелоценозов при разном уровне антропогенного воздействия в условиях юго-западной части Крымского полуострова.

Для достижения указанной цели решались следующие **задачи**:

1. Провести системный анализ ведущих экологических факторов выращивания винограда в условиях представительных ампелоценозов юго-западной части Крымского полуострова с выявлением лимитирующих абиотических факторов.

2. Дать сравнительную оценку основных диагностических показателей экологического состояния и интегральной биологической активности почв исследуемых ампелоценозов с различным уровнем и историей антропогенного воздействия.

3. Провести экологическую оценку уровня накопления и характера пространственной дифференциации содержания тяжелых металлов в почвах исследуемых ампелоценозов с различным уровнем пестицидной нагрузки с учетом их экогеохимического положения в ландшафте.

4. Оценить биологическое последствие загрязнения почв разновозрастных ампелоценозов тяжелыми металлами на основе интегральных показателей активности почвенного микробоценоза и его экофизиологического статуса.

**Научная новизна.** По результатам комплексной сравнительной оценки экологического состояния и пространственной изменчивости почв экосистем виноградников в условиях юго-западной части Крымского полуострова с разным уровнем антропогенного воздействия определены лимитирующие экологические факторы выращивания винограда с учетом региональных и локальных особенностей почв, истории их использования и применяемых технологий выращивания.

На основе сравнительного географического анализа экотоксикологического состояния сопоставимых почв действующих ампелоэкосистем и залежных земель в условиях юго-западной части Крыма выявлено наличие устойчивого экологического последствия длительного применения пестицидов на микробиоту и экологические показатели почв. По результатам исследования почв геохимически сопряженных элементов склоновых ландшафтов под разновозрастными виноградниками показаны регионально-типологические особенности латеральной миграции и накопления в их верхних горизонтах меди и других микроэлементов (тяжелых металлов).

На основе интегральных показателей активности почвенного микробиома и его экофизиологического статуса установлены разнонаправленные биологические эффекты антропогенного накопления в верхних горизонтах почв разновозрастных ампелоценозов биогенных элементов и тяжелых металлов.

**Практическая значимость.** Подтвержденные методами непараметрического дисперсионного анализа и главных компонент статистически достоверные различия микробиологических показателей почв ампелоценозов с разной антропогенной нагрузкой в условиях юго-западной части Крыма позволяют рекомендовать апробированные в работе параметры дыхательной активности и рассчитываемые на их основе экофизиологические индексы в качестве биологического индикатора экологического состояния почв, чувствительного к смене типа землепользования.

В условиях намечающихся трендов перехода отдельных винодельческих хозяйств Крыма с традиционных систем земледелия на органические и широкой

практики возрождения виноградников на ранее длительно использованных в виноградарстве залежных землях регионально протестированные показатели интегральной микробиологической активности могут рассматриваться в качестве перспективных диагностических параметров экологического состояния почв, проектируемых в Крыму ампелоценозов.

Полученные в результате настоящего исследования материалы вошли в научные отчеты по грантам и проектам, статьи, монографии и были включены в ряд учебных пособий кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Результаты проведенных исследований легли в основу практических обучающих мероприятий по современным методам экологической оценки почв и применяемых технологий в условиях ампелоэкосистем с разной антропогенной нагрузкой для слушателей Международной летней экологической школы MOSES, ежегодно проводимой на кафедре экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Диссертация, выполненная Габечей Валерией Вячеславовной, соответствует паспорту специальности 1.5.15. «Экология», а именно п. 1: «Закономерности влияния абиотических и биотических факторов на организмы. Экофизиология (факториальная экология. Адаптации организмов к различным факторам среды. Жизненные формы и адаптивные типы. Изменение организмами среды обитания» и п. 10 «Антропогенное воздействие на популяции, сообщества и экосистемы. Биологические эффекты загрязнения среды токсичными веществами (экотоксикология). Разработка биологических методов и критериев оценки состояния среды, биоиндикация, биотестирование, биомониторинг. Разработка экологически обоснованных норм воздействия хозяйственной деятельности человека на живую природу».

**Методология и методы исследования.** Комплексные экологические мониторинговые исследования проводились на виноградниках юго-западной части Крыма с различным уровнем антропогенной нагрузки (включая постагрогенные почвы) и в разных ландшафтных условиях с 2020 по 2024 гг.

Для выявления возможных лимитирующих абиотических факторов для региона исследования были рассчитаны биоклиматические индексы, рекомендованные Резолюцией OIV-VITI 423-2012 (OIV, 2012). Кроме того, в исследуемых ампелоэкосистемах определены основные диагностические показатели экологического, экотоксикологического состояния и интегральной биологической активности верхних горизонтов (0–10 и 10–20 см) коричневых типичных и бурых лесных почв с разным уровнем и продолжительностью антропогенного воздействия с использованием общепринятых физико-химических и химических методов исследования, методов определения субстрат-индуцированного (СИД) (Anderson & Domsch, 1978) и базального дыхания (БД) (ISO 16072:2002) почвы. На основе данных дыхательной активности рассчитаны содержание углерода микробной биомассы и экофизиологические индексы.

Для оценки влияния орографических факторов на накопление и пространственное распределение органического вещества, биогенных элементов и тяжелых металлов в почве разновозрастных виноградников, выращиваемых в

условиях склонового ландшафта, изучались его геохимически сопряженные элементы (элювиальный (автономный), трансэлювиальный и трансэлювиально-аккумулятивный) с использованием эколого-геохимических и экотоксикологических подходов.

#### ***Защищаемые положения.***

1. К основным лимитирующим абиотическим факторам выращивания винограда в условиях юго-западной части Крымского полуострова, наряду с выраженным сезонным дефицитом доступной почвенной влаги и низкой обеспеченностью почв отдельных хозяйств подвижным фосфором, относится избыточное содержание в почвах органических хозяйств подвижной серы и повсеместное – подвижной формы меди, биологический эффект загрязнения которой усиливается с возрастом ампелоценозов вследствие многолетнего применения на них разрешенных пестицидов.

2. Показатели экофизиологического статуса микробного сообщества почв, рассчитанные по результатам анализа почвенного дыхания, содержание микробной биомассы и ее доля в органическом углероде почвы могут рассматриваться в качестве перспективных диагностических биологических методов и критериев оценки экологического состояния почв, проектируемых в Крыму ампелоценозов с учетом различных режимов и интенсивности антропогенного воздействия на них.

#### ***Степень достоверности и апробация результатов работы.***

Достоверность полученных результатов подтверждается представительным количеством отобранных проб и большим массивом фактических данных, полученных в аналитической лаборатории с использованием современного оборудования и стандартных образцов для внутрилабораторного контроля. Статистический анализ и интерпретация полученных результатов проведены с использованием современных компьютерных программ и методов обработки информации. Выводы, сформулированные в диссертации, подкреплены фактическими данными, представленными в приведенных в работе таблицах и рисунках.

Результаты исследования докладывались на международных и всероссийских научных конференциях (г. Симферополь, 2020 г.; г. Москва, 2022, 2023, 2024 гг.; г. Благовещенск, 2023 г.; г. Яхорина (Босния и Герцеговина), 2022, 2023 гг.; г. Адана (Турецкая Республика), 2023 г.; г. Нови Сад (Республика Сербия), 2023 г.).

***Публикации результатов исследований.*** По теме исследования опубликовано 17 работ: 2 статьи Q1 и 1 статья Q4 в журналах, 2 статьи (не входящие в квартили Scopus по состоянию на 2024 год), индексируемых в Scopus и Web of Science, 2 статьи из списка журналов, входящих в базу данных RSCI, 5 статей в журналах из списка ВАК, 5 статей РИНЦ в сборниках, включая международные конференции. Опубликовано 2 монографии в соавторстве. В работах, опубликованных в соавторстве, основополагающий вклад принадлежит соискателю.

***Структура и объем диссертации.*** Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, включающих обзор литературы, описание объектов и методов исследований, анализ результатов исследований, заключения и списка

использованной литературы. Диссертационная работа изложена на 187 страницах, включая 16 таблиц и 32 рисунка. Список литературы состоит из 367 источников, в том числе 297 – на иностранном языке.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю, к.б.н., доценту И.В. Андреевой, а также к.б.н., доценту Д.В. Мореву и к.б.н., доценту Ярославцеву А.М. за неоценимую помощь в проведении исследований, ценные советы и рекомендации. Особая благодарность д.б.н., профессору И.И. Васенёву за помощь в обсуждении результатов проведенных исследований. Автор также выражает благодарность всем сотрудникам, аспирантам и студентам кафедры экологии РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, а также своим родным и близким.

## **Глава 1. Анализ экологических требований винограда к условиям выращивания**

Устойчивое виноградарство, определяемое комплексом климатических, эдафических и агротехнологических факторов, формирующих терруар, сталкивается с проблемами изменения ареалов возделывания вследствие климатических сдвигов, деградации почв (эрозия, кумуляция меди, снижение биоразнообразия) при интенсивном землепользовании и ограниченной эффективности органических методов, сохраняющих проблему медьсодержащих фунгицидов, что требует разработки комплексных систем мониторинга для баланса природных и антропогенных воздействий.

## **Глава 2. Объекты и методы исследования**

Исследования проводились в 14 винодельческих хозяйствах Севастопольского региона Крымского полуострова на представительных виноградниках, выращиваемых по органическим и традиционным технологиям, а также на залежи после длительного выращивания винограда (рис. 2.1).

Севастопольский регион находится в юго-западной части полуострова, охватывая горный Крым с эрозионно-грядовым рельефом. Климат умеренно-континентальный (средняя температура февраля +2,8°C, июля +22,4°C) со среднегодовым количеством осадков 350–450 мм/год, но может варьироваться в зависимости от микроклиматических особенностей. Почвенный покров на территории 10 хозяйств представлен коричневыми типичными легкоглинистыми щелнистыми почвами [Haplic cambisols (WRB, 2006); Eutric cambisols (FAO, 1988)], сформированными на продуктах выветривания карбонатных пород. Четыре хозяйства находились в зоне распространения бурых лесных почв [Haplic cambisols (WRB, 2006); Eutric cambisols (FAO, 1988)].

С целью изучения климатических условий выращивания винограда и выявления лимитирующих его продуктивность климатических абиотических факторов были рассчитаны биоклиматические индексы, рекомендованные Резолюцией Международной организации винограда и вина (OIV) по терруарной специализации виноградарско-винодельческой отрасли: индекс прохладности ночей (средняя минимальная температура воздуха в период созревания винограда),

средняя температура вегетации, сумма активных температур, индекс Хуглина (биоклиматический индекс тепла), индекс Уинклера (сумма среднесуточных температур  $>10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Дополнительно рассчитывались гидротермический коэффициент (ГТК) по Селянину и коэффициент увлажнения (КУ) на основе испаряемости (формула Иванова).

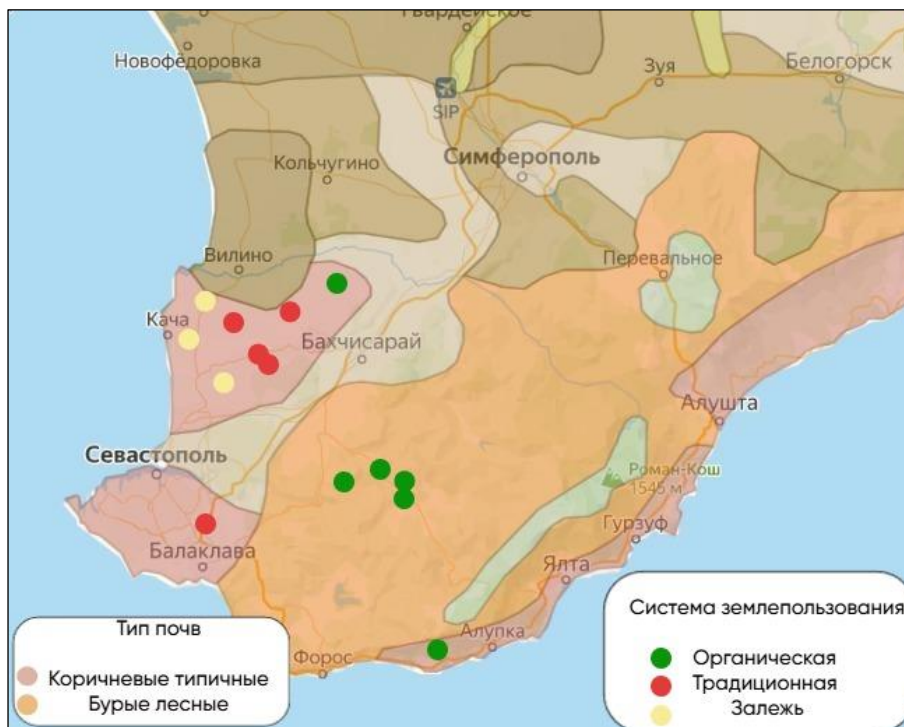


Рис. 2.1 – Расположение изучаемых винодельческих хозяйств на Почвенной карте Крыма в масштабе 1:2 500 000 (Урусевская и др., 2019) (Информационная система «Почвенно-географическая база данных России» <https://soil-db.ru/map/fridland>).

Отбор проб почвы проводился по ГОСТ 17.4.3.01-2017 методом «конверта» из горизонтов 0–10 и 10–20 см. Гранулометрический состав почвы определялся ареометрическим методом по ГОСТ 12536-2014, pH – по ГОСТ 26423–85, содержание органического вещества – по ГОСТ 26213–91, содержание подвижных форм фосфора и калия – по ГОСТ 26205–91, содержание подвижной серы – по ГОСТ 26490–85. Валовое содержание (М-МВИ-80-2008) и содержание подвижной формы (РД 52.18.289–90, ацетатно-аммонийный буфер pH 4,8) тяжелых металлов в почве определялись на оптико-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой Agilent 5110 ICP-OES и на атомно-абсорбционном спектрофотометре Agilent 240FS Series AA после микроволнового разложения с использованием системы пробоподготовки Milestone ETHOS UP.

Микробиологические методы включали определение субстрат-индуцированного дыхания (СИД) почвы на основе регистрации дополнительного количества  $\text{CO}_2$ , выделяемого микробиотой в ответ на внесение легкодоступного субстрата – глюкозы (Anderson & Domsch, 1978) и определение базального дыхания (БД) почвы – по методике EN ISO 16072:2011 «Soil quality - Laboratory methods for determination of microbial soil respiration». Содержание углерода микробной биомассы (Смик) рассчитывалось на основе СИД согласно Anderson & Domsch (1978).

Для оценки экофизиологического статуса почвенного микробиома рассчитывались следующие индексы: удельное дыхание микробной биомассы (микробный метаболический коэффициент)  $qCO_2$  – как отношение БД к Смик; доля углерода микробной биомассы в общем содержании органического углерода почвы – как отношение Смик к Сорг; эффективность использования органического вещества микроорганизмами – как отношение  $qCO_2$  к Сорг.

С целью изучения влияния орографических факторов на накопление и миграционные потоки вещества по геохимическим сопряжениям (Полынов, 1956; Перельман, 1975; Глазовская, 1988) в условиях комбинаторного действия природных и антропогенных факторов были исследованы коричневые типичные почвы двух разновозрастных ампелоценозов, расположенных на склонах различной морфологии. Отбор проб выполнялся в пределах представительных участков размером  $5 \times 5 \text{ м}^2$ , расположенных в автономном (А), трансэлювиальном (ТЭ) и трансэлювиально-аккумулятивном (ТЭА) элементах ландшафта. Для количественной оценки интенсивности латеральной миграции, отражающей перераспределение элементов от автономных к подчиненным ландшафтам, использовался коэффициент латеральной дифференциации (L) (Авессаломова, 1987), для оценки экологических аномалий в распределении тяжелых металлов в почве ампелозкосистем – кларки концентрации и рассеяния на основе кларков литосферы (Касимов и Власов, 2016) и данных эталонной коричневой почвы Крыма (Лисецкий, 2023).

Статистическая значимость различий экологических и микробиологических свойств почв ампелоценозов с разным уровнем антропогенного воздействия оценена с использованием непараметрического дисперсионного анализа (критерии Краскела-Уоллиса и Уилкоксона) с попарными множественными сравнениями. Взаимосвязь между параметрами почвы изучена с помощью корреляционного анализа (коэффициенты Спирмена и Пирсона), а также методов простой и множественной линейной регрессии. Обработка данных выполнена в среде R (версия 4.2.3) с использованием пакетов FactoMiner для факторного анализа смешанных данных (FAMD) и FactoExtra для визуализации. Климатические показатели рассчитаны с помощью пакетов «climate» и «rnoaa».

### **Глава 3. Анализ климатических факторов выращивания винограда в юго-западной части Республики Крым**

Результаты анализа климатических факторов выращивания винограда и расчета биоклиматических индексов за период 2003–2023 гг. показали, что в регионе исследования складываются оптимальные условия для сбалансированного созревания винограда – средний показатель индекса прохладности ночей составил  $12,7 \text{ }^\circ\text{C}$ , что соответствует классу прохладных ночей, способствующих накоплению ароматических веществ в ягодах. Средняя температура вегетационного периода составила  $18,3 \text{ }^\circ\text{C}$ , а сумма активных температур изменялась за исследуемый период от  $3280 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $4333 \text{ }^\circ\text{C}$  со средним значением  $3827 \text{ }^\circ\text{C}$ , что отражает относительно высокий уровень теплообеспеченности региона для выращивания сортов винограда разных сроков созревания. На возможность выращивания в

регионе даже поздних сортов винограда указывают гелиотермический индекс Хуглина, который варьировался в интервале 1965–2675 °С со средним значением за период 2339 °С, и тепловой индекс Уинклера со средним значением за исследуемый период 1828 °С, что позволяет отнести регион к умеренно-теплому и теплому классу климата. Наиболее близкими по климату к юго-западной части Крыма оказались регионы Ajaccio и Bastia (о. Корсика), Montpellier и Perpignan во Франции, Ravenna в Италии, Tarragona в Испании и Tekirdag в Турции.

Результаты исследований выявили устойчивый тренд повышения суммы активных температур, поддерживающий общемировой тренд потепления климата (рис. 3.1).

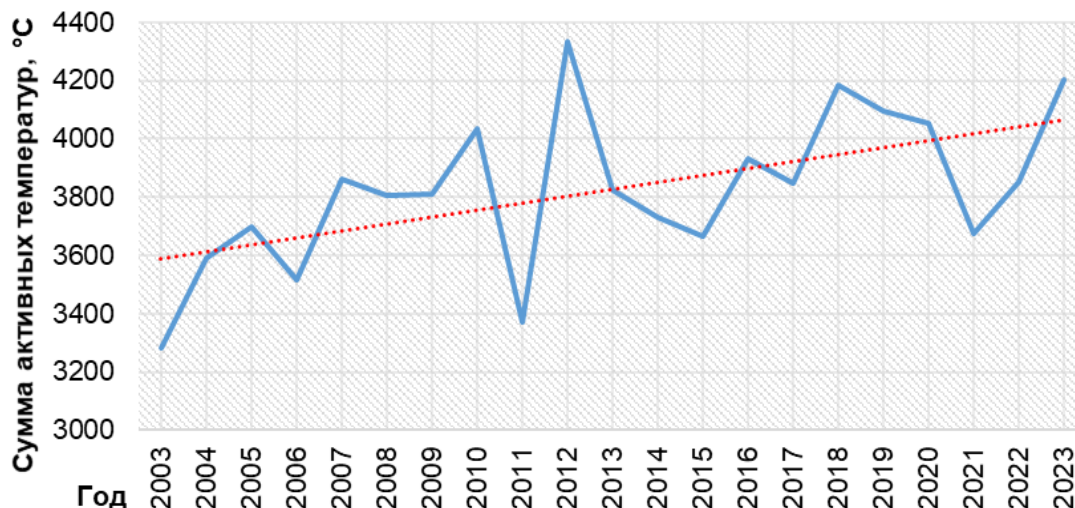


Рисунок 3.1 – Динамика суммы активных температур за период 2003–2023 гг., °С

В отличие от суммы активных температур, среднемноголетний тренд годовой суммы осадков оставался стабильным на протяжении всего учетного периода (рис. 3.2).

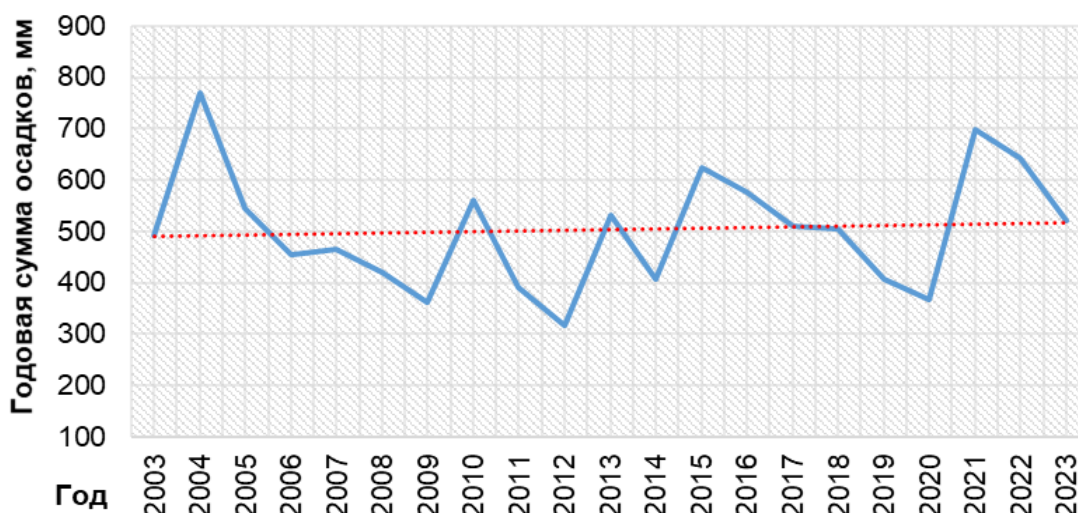


Рисунок 3.2 – Динамика годовой суммы осадков (мм) за период 2003–2023 гг.

Коэффициенты вариации для всех рассчитанных биоклиматических индексов, в основе расчета которых лежали температурные показатели, были невысокими и колебались в диапазоне от 7% до 23%, а коэффициент вариации среднегодовой температуры вегетационного периода составил всего 4%.

Однако на фоне относительной стабильности среднесуточного значения годовой суммы осадков на уровне 503 мм выявлен крайне неустойчивый характер их выпадения (коэффициент вариации гидротермического коэффициента Селянинова составил 52%) с чередованием засушливых периодов с осадками высокой интенсивности.

Таким образом, сезонный дефицит доступной растениям влаги выступает лимитирующим фактором выращивания винограда, что диктует необходимость системной адаптации применяемых в виноградарстве технологий для смягчения последствий экстремальных погодных явлений с акцентом на методы ирригации, защиты растений и подбор устойчивых сортов.

#### **Глава 4. Анализ лимитирующих экологических факторов выращивания винограда при разном уровне антропогенного воздействия**

Значения рН водной вытяжки в почвах исследуемых хозяйств находились в диапазоне от 7,2 до 8,4, что соответствовало нейтральной – умеренно щелочной реакции среды, идеально подходящей для виноградной культуры (табл. 4.1). Содержание органического вещества (Сорг) в поверхностном горизонте варьировалось в широком диапазоне от 1,48 до 4,34% с наибольшим значением в залежных почвах и почвах хозяйств с традиционной системой земледелия – 3,37 и 3,33% соответственно (табл. 4.1). Наименьшее значение Сорг отмечалось для почв органических хозяйств – 2,54–2,58% в зависимости от горизонта.

При широком варьировании содержания подвижного фосфора в почвах исследуемых ампелоценозов от 3,8 до 138,3 мг  $P_2O_5$ /кг, для ряда винодельческих хозяйств вне зависимости от уровня антропогенной нагрузки была выявлена низкая обеспеченность почв данным элементом (5,2–14,6 мг/кг) (табл. 4.1). Содержание обменного калия в почвах винодельческих хозяйств соответствовало высокой и очень высокой обеспеченности и варьировалось от 359 до 1109 и от 168 до 1152 мг  $K_2O$ /кг в горизонтах соответственно 0–10 и 10–20 см (табл. 4.1).

Почвы органических хозяйств отличались высокой обеспеченностью подвижной серой (в среднем 18,3 мг/кг против 8,0 и 5,5 мг/кг соответственно в почвах традиционных хозяйств и залежи), что, вероятно, являлось следствием применения серосодержащих препаратов, включенных в перечень разрешенных для защиты растений в органическом земледелии (рис. 4.1). Однако существует мнение, что повышение доступной серы в почве ампелоценозов увеличивает доступность растениям азота и усвоение данных элементов, что в совокупности может привести к снижению накопления в ягодах винограда фенольных соединений и ухудшению качества получаемого из них виноматериала (Mocali et al., 2020).

Содержание меди в поверхностном горизонте почв органических хозяйств варьировалось в диапазоне от 14,8 до 48,6 мг/кг, тогда как в традиционных хозяйствах и залежных почвах – от 24,8 до 100,3 мг/кг без превышения установленной ориентировочно-допустимой концентрации и, за некоторым исключением, содержания данного элемента в эталонной коричневой почве региона (табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Экологические показатели почв виноградников с разным уровнем антропогенного воздействия (среднее ± стандартная ошибка)

№ хозяйства	Система землепользования	Глубина, см	рН (Н <sub>2</sub> О), ед.	Содержание органического вещества, %	Содержание подвижного фосфора	Содержание подвижного калия	Содержание подвижной серы	Валовое содержание меди	Содержание подвижных форм меди
					мг/кг				
1	Органическая	0–10	7,5 ± 0,1	1,48 ± 0,30	84,8 ± 29,7	521 ± 104	28,1 ± 2,1	36,5 ± 11,0	<b>3,7 ± 0,6</b>
		10–20	7,8 ± 0,1	2,47 ± 0,49	48,8 ± 17,1	551 ± 110	16,3 ± 1,2	40,5 ± 12,2	0,9 ± 0,1
2		0–10	7,9 ± 0,1	3,53 ± 0,53	21,3 ± 4,3	575 ± 115	29,2 ± 2,2	55,9 ± 16,8	<b>6,0 ± 1,0</b>
		10–20	7,8 ± 0,1	2,48 ± 0,50	3,8 ± 0,8	168 ± 34	17,1 ± 1,3	55,0 ± 16,5	<b>9,2 ± 1,5</b>
3		0–10	6,5 ± 0,1	2,28 ± 0,46	14,6 ± 2,9	428 ± 86	10,7 ± 0,8	50,0 ± 15,0	<b>4,5 ± 0,7</b>
		10–20	6,7 ± 0,1	2,21 ± 0,44	8,1 ± 1,6	433 ± 87	9,4 ± 0,7	48,3 ± 14,5	<b>6,1 ± 1,0</b>
4		0–10	7,9 ± 0,1	2,78 ± 0,56	14,3 ± 2,9	478 ± 96	13,7 ± 1,0	14,8 ± 4,4	1,0 ± 0,2
		10–20	7,9 ± 0,1	2,48 ± 0,50	1,94 ± 0,4	328 ± 66	12,3 ± 0,9	18,0 ± 5,4	<b>5,4 ± 0,9</b>
5		0–10	7,2 ± 0,1	3,48 ± 0,52	43,8 ± 15,3	521 ± 104	10,6 ± 0,8	27,1 ± 8,1	0,9 ± 0,1
		10–20	7,3 ± 0,1	3,84 ± 0,58	46,9 ± 16,4	514 ± 102	7,6 ± 0,6	22,2 ± 6,7	2,7 ± 0,4
6	0–10	7,2 ± 0,1	1,93 ± 0,39	31,4 ± 11,0	359 ± 72	37,8 ± 2,8	45,6 ± 13,7	1,4 ± 0,2	
	10–20	7,4 ± 0,1	1,74 ± 0,35	35,2 ± 12,3	410 ± 82	26,3 ± 2,0	42,9 ± 12,9	1,2 ± 0,2	
7	Традиционная	0–10	7,9 ± 0,1	3,53 ± 0,53	21,3 ± 4,3	575 ± 115	39,2 ± 3,0	48,6 ± 14,6	2,5 ± 0,4
		10–20	7,9 ± 0,1	3,41 ± 0,51	17,6 ± 3,5	475 ± 95	4,7 ± 0,5	47,3 ± 14,2	<b>4,5 ± 0,7</b>
8		0–10	7,9 ± 0,1	3,49 ± 0,52	20,9 ± 4,2	578 ± 115	3,6 ± 3,6	54,0 ± 16,2	2,9 ± 0,5
		10–20	8,1 ± 0,1	3,28 ± 0,49	11,5 ± 2,3	547 ± 109	3,4 ± 0,3	50,9 ± 15,3	1,8 ± 0,3
9		0–10	8,1 ± 0,1	4,34 ± 0,65	49,2 ± 17,2	1109 ± 221	2,1 ± 0,5	100,3 ± 30,1	<b>5,1 ± 0,8</b>
		10–20	8,2 ± 0,1	4,13 ± 0,62	60,7 ± 21,3	1152 ± 230	2,1 ± 0,5	83,7 ± 25,1	<b>3,2 ± 0,5</b>
10		0–10	7,5 ± 0,1	2,04 ± 0,41	138,3 ± 48,4	709 ± 141	5,7 ± 0,4	68,2 ± 20,5	<b>5,1 ± 0,8</b>
		10–20	7,6 ± 0,1	1,96 ± 0,39	57,4 ± 20,1	729 ± 145	4,2 ± 0,4	47,8 ± 14,3	<b>3,9 ± 0,6</b>
11		0–10	8,1 ± 0,1	3,24 ± 0,49	5,2 ± 1,0	373 ± 75	7,8 ± 0,6	24,8 ± 7,4	1,0 ± 0,2
		10–20	8,2 ± 0,1	3,19 ± 0,48	6,1 ± 1,2	431 ± 86	7,4 ± 0,6	23,6 ± 7,1	0,7 ± 0,1
12	Залежь	0–10	8,3 ± 0,1	3,31 ± 0,50	29,0 ± 5,8	511 ± 102	6,4 ± 0,5	45,6 ± 13,7	<b>5,8 ± 0,9</b>
		10–20	8,4 ± 0,1	3,09 ± 0,46	17,9 ± 3,6	408 ± 82	5,7 ± 0,4	49,6 ± 14,9	<b>4,3 ± 0,7</b>
13		0–10	8,2 ± 0,1	3,64 ± 0,55	50,0 ± 17,5	475 ± 95	3,6 ± 0,4	64,0 ± 19,2	<b>4,0 ± 0,6</b>
		10–20	8,2 ± 0,1	3,83 ± 0,57	19,0 ± 3,8	485 ± 97	3,1 ± 0,3	58,1 ± 17,4	<b>4,3 ± 0,7</b>
14		0–10	8,3 ± 0,1	3,17 ± 0,48	10,7 ± 2,1	556 ± 111	7,8 ± 0,6	60,8 ± 18,2	<b>5,4 ± 0,9</b>
		10–20	8,3 ± 0,1	3,08 ± 0,46	4,7 ± 0,9	374 ± 75	6,4 ± 0,5	47,3 ± 14,2	<b>3,2 ± 0,5</b>

\* - Жирным шрифтом выделены значения, превышающие установленные нормативы по СанПиН 1.2.3685-21.

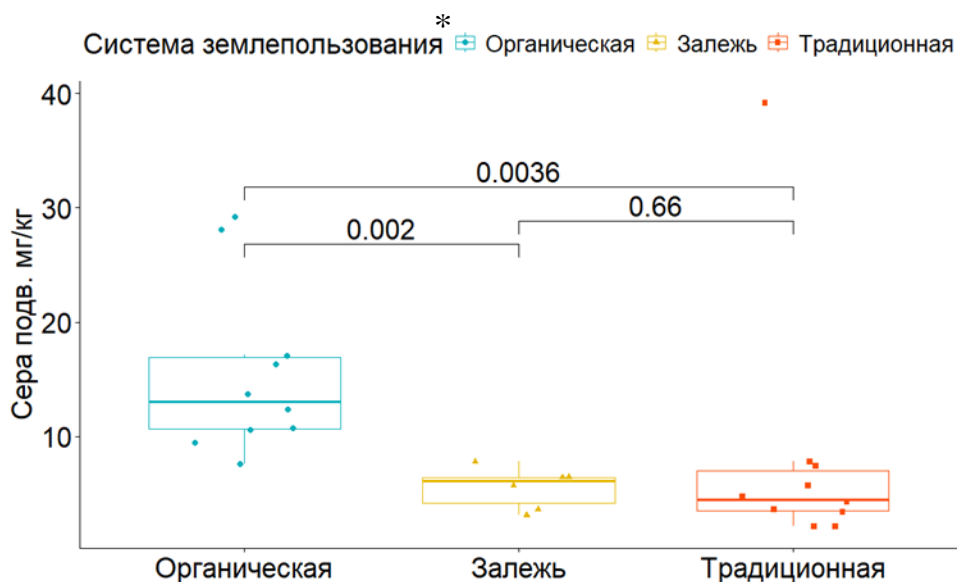


Рисунок 4.1 – Зависимость содержания подвижной серы (мг/кг) в почвах исследуемых ампелоценозов от уровня антропогенного воздействия при разных системах землепользования согласно критерию Уилкоксона.

Содержание подвижной формы меди в почве десяти из четырнадцати исследованных хозяйств независимо от уровня антропогенной нагрузки превышало величину ПДК в 1,2–3,1 раза, что согласуется с данными других авторов для почв винодельческих хозяйств Краснодарского края (Красильников и Руссо, 2019). Кроме того, выявлена достоверная зависимость между содержанием подвижных форм хрома, свинца и кадмия в почве исследуемых виноградников и практикуемой в хозяйстве системой землепользования.

Наибольшее содержание подвижных форм данных тяжелых металлов обнаружено в постагрогенной почве без превышения установленных нормативных значений.

Результаты исследований выявили достоверные различия биологической активности почв между хозяйствами с разной антропогенной нагрузкой. В почвах органических хозяйств показатели базального и субстрат-индуцированного дыхания были в 2,2–2,3 и 3,4–5,8 раза выше, чем в почвах традиционных хозяйств и залежи соответственно (рис. 4.2).

Высокая микробная биомасса, достигающая в среднем в горизонте 0–10 см 545,8 мкг С/г почвы против 161,0 и 95,7 мкг С/г в почвах соответственно традиционных хозяйств и залежи, а также выраженная биологическая активность почв органических хозяйств могут быть связаны с внесением органических удобрений, компостов, сидератов и других легкоразлагаемых субстратов, что характерно для данного типа землепользования в отсутствие разрешенных для применения синтетических минеральных удобрений и прочих агрохимикатов (табл. 4.2).

Таблица 4.2 – Показатели почвенного дыхания (базальное (БД, мкг СО<sub>2</sub>-С/г почвы/ч) и субстрат-индуцированное (СИД, мкл СО<sub>2</sub>/г почвы/ч)), содержание углерода микробной биомассы (Смик, мкг С/г почвы), микробный метаболический коэффициент (qCO<sub>2</sub>, мкг СО<sub>2</sub>-С/мг Смик/ч), доля углерода микробной биомассы в органическом углероде (Смик/Сорг, %), эффективность использования органического вещества микроорганизмами (qCO<sub>2</sub>/Сорг, мкг СО<sub>2</sub>-С/мг Смик/ч/г Сорг/г почвы) (среднее ± стандартная ошибка)

№ хозяйства	Система землепользования	Глубина, см	БД	СИД	Смик	qCO <sub>2</sub>	Смик/Сорг	qCO <sub>2</sub> /Сорг	
1	Органическая	0-10	0,59 ± 0,09	9,05 ± 0,58	363 ± 27	1,63 ± 0,28	2,45	110,1	
		10-20	0,67 ± 0,08	8,57 ± 0,46	344 ± 25	1,94 ± 0,49	1,39	78,5	
2		0-10	0,48 ± 0,18	6,27 ± 0,58	251 ± 23	1,90 ± 0,33	0,71	53,8	
		10-20	0,24 ± 0,14	8,47 ± 0,67	340 ± 29	0,69 ± 0,19	1,37	27,8	
3		0-10	0,74 ± 0,29	22,65 ± 0,96	907 ± 21	0,82 ± 0,38	3,98	36,0	
		10-20	0,53 ± 0,21	21,38 ± 0,84	856 ± 34	0,61 ± 0,21	3,87	27,6	
4		0-10	0,74 ± 0,20	15,58 ± 0,77	624 ± 41	1,20 ± 0,54	2,24	43,2	
		10-20	0,20 ± 0,16	2,13 ± 0,46	86 ± 13	2,16 ± 0,59	0,35	87,1	
5		0-10	1,50 ± 0,27	19,89 ± 0,91	797 ± 33	1,90 ± 0,32	2,29	54,6	
		10-20	0,92 ± 0,13	7,18 ± 0,44	288 ± 48	3,21 ± 0,58	0,75	83,6	
6		0-10	0,25 ± 0,29	8,31 ± 0,39	333 ± 29	0,73 ± 0,13	1,73	37,8	
		10-20	0,50 ± 0,18	8,95 ± 0,33	359 ± 47	1,41 ± 0,21	2,06	81,0	
7		Традиционная	0-10	0,48 ± 0,01	6,27 ± 0,56	251 ± 32	1,90 ± 0,17	0,71	53,8
			10-20	0,10 ± 0,04	3,87 ± 0,49	155 ± 19	0,63 ± 0,09	0,45	18,5
8	0-10		0,30 ± 0,12	3,52 ± 0,61	141 ± 52	2,15 ± 0,36	0,40	61,6	
	10-20		0,18 ± 0,05	7,52 ± 0,77	302 ± 24	0,58 ± 0,04	0,92	17,7	
9	0-10		0,21 ± 0,08	2,11 ± 0,41	85 ± 17	2,44 ± 0,32	0,19	56,2	
	10-20		0,13 ± 0,04	3,04 ± 0,36	122 ± 28	1,11 ± 0,11	0,30	26,9	
10	0-10		0,54 ± 0,21	5,89 ± 0,55	236 ± 51	2,31 ± 0,32	1,16	113,2	
	10-20		0,09 ± 0,01	4,85 ± 0,48	194 ± 26	0,45 ± 0,08	0,99	23,0	
11	0-10		0,11 ± 0,05	2,28 ± 0,39	92 ± 18	1,23 ± 0,17	0,28	38,0	
	10-20		0,33 ± 0,14	2,13 ± 0,31	86 ± 15	4,01 ± 0,87	0,27	125,7	
12	Залежь		0-10	0,45 ± 0,03	2,03 ± 0,41	82 ± 17	5,57 ± 0,87	0,26	168,3
			10-20	0,11 ± 0,08	3,19 ± 0,47	128 ± 36	0,84 ± 0,24	0,41	27,2
13			0-10	0,21 ± 0,02	3,10 ± 0,31	125 ± 42	1,70 ± 0,56	0,34	46,7
			10-20	0,06 ± 0,01	4,46 ± 0,48	179 ± 51	0,33 ± 0,19	0,47	8,6
14		0-10	0,29 ± 0,04	1,98 ± 0,59	80 ± 21	3,61 ± 0,78	0,25	113,9	
		10-20	0,31 ± 0,02	2,50 ± 0,28	100 ± 28	3,14 ± 0,64	0,32	101,9	

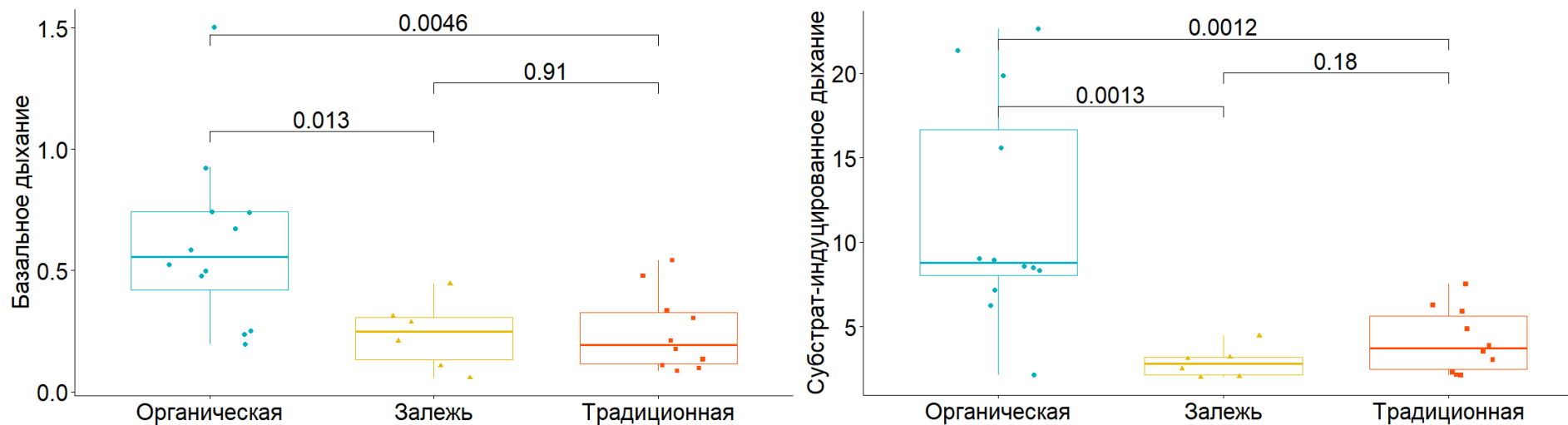


Рисунок 4.2 – Зависимость базального и субстрат-индуцированного дыхания ( $\mu\text{кг CO}_2\text{-C}/\text{г почвы}/\text{ч}$ ) почвы исследуемых ампелоценозов от уровня антропогенного воздействия при разных системах землепользования согласно критерию Уилкоксона

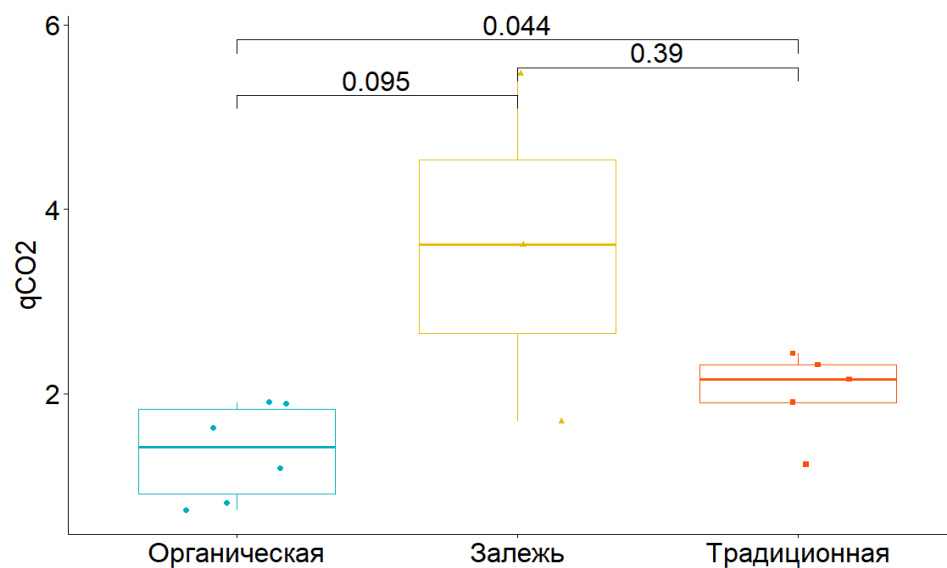


Рисунок 4.3 – Зависимость микробного метаболического коэффициента ( $q\text{CO}_2$ ) в горизонте 0–10 см почв исследуемых ампелоценозов от уровня антропогенного воздействия при разных системах землепользования согласно критерию Уилкоксона.

Наибольший средний показатель микробного метаболического коэффициента  $qCO_2$ , который считается показателем микробного стресса, обнаружен для залежных почв (3,63 мкг  $CO_2$ -С/мг Смик/ч), где он оказался в 1,5 и 1,7 раза выше, чем в традиционных и органических хозяйствах соответственно (рис. 4.3, табл. 4.3).

Это указывает на бóльшие траты микроорганизмами энергии на дыхание, чем на рост, возможно, вследствие неоптимальных условий или низкого качества субстрата. Считается, что повышенные значения микробного метаболического коэффициента характерны для нарушенных или деградированных почв (Благодатская и др., 1995).

На низкую эффективность использования микроорганизмами органических соединений для поддержания своей жизнедеятельности и высокую скорость отмирания микробной биомассы в поверхностном горизонте постагрогенной почвы указывают также минимальная доля Смик в Сорг (0,28% против 2,23% в органических хозяйствах) и максимальное среди всех изученных почв ампелоценозов отношение  $qCO_2$ /Сорг (109,6 против 55,9 мкг  $CO_2$ -С/мг Смик/ч/г Сорг/г почвы в органических хозяйствах) (табл. 4.3).

Таблица 4.3 – Средние показатели микробного метаболического коэффициента ( $qCO_2$ , мкг  $CO_2$ -С/мг Смик/ч), доля углерода микробной биомассы в органическом углероде (Смик/Сорг, %) и эффективность использования органического вещества микроорганизмами  $qCO_2$ /Сорг, мкг  $CO_2$ -С/мг Смик/ч/г Сорг/г почвы) в горизонтах 0–10 и 10–20 см почв виноградников.

Система землепользования	$qCO_2$		Смик/Сорг		$qCO_2$ /Сорг	
	0–10	10–20	0–10	10–20	0–10	10–20
Органическая	1,36	1,67	2,23	1,63	55,9	64,3
<i>среднее</i>	<i>1,52</i>		<i>1,93</i>		<i>60,1</i>	
Традиционная	2,01	1,36	0,55	0,59	64,6	42,4
<i>среднее</i>	<i>1,69</i>		<i>0,57</i>		<i>53,5</i>	
Залежь	3,63	1,44	0,28	0,40	109,6	45,9
<i>среднее</i>	<i>2,54</i>		<i>0,34</i>		<i>77,8</i>	

Таким образом, залежные почвы, несмотря на накопление органического вещества, демонстрировали минимальный уровень микробиологической активности по сравнению с почвами действующих виноградников, что может быть связано с остаточным воздействием пестицидов и прочих агрохимикатов, применявшихся ранее на протяжении 40–60 лет. Показатели микробиологической активности почв традиционных винодельческих хозяйств занимали промежуточное положение между залежами и почвами органических ампелоценозов, хотя количественно они были ближе к показателям постагрогенной почвы.

Корреляционный анализ показал, что варьирование физико-химических, химических и микробиологических показателей почв не был связан с их типом, а анализ главных компонент подтвердил значимость различий между данными показателями в зависимости от уровня антропогенного воздействия (рис. 4.4). Первая главная компонента состоит в основном из переменных, связанных с микробной биомассой (Смик/Сорг, СИД, БД, Сорг) (рис. 4.4А). Поскольку возраст и рН вносят большой вклад в первую ось главных компонент и отрицательно

коррелируют, а Смик/Сорг, СИД и БД вносят меньший вклад и положительно коррелируют (рис. 4.4D), органические виноградники отличаются от традиционных более низкой величиной рН, меньшим возрастом насаждений, более высокой дыхательной активностью почвы и долей углерода микробной биомассы в органическом углероде почвы. Близкая локализация почв традиционных хозяйств и залежных почв (рис. 4.4E), несмотря на их принадлежность к разным категориям, свидетельствует об их схожести по изучаемым показателям, что объясняется многолетним использованием почв, впоследствии перешедших в категорию постагрогенных, для выращивания винограда по традиционным технологиям.

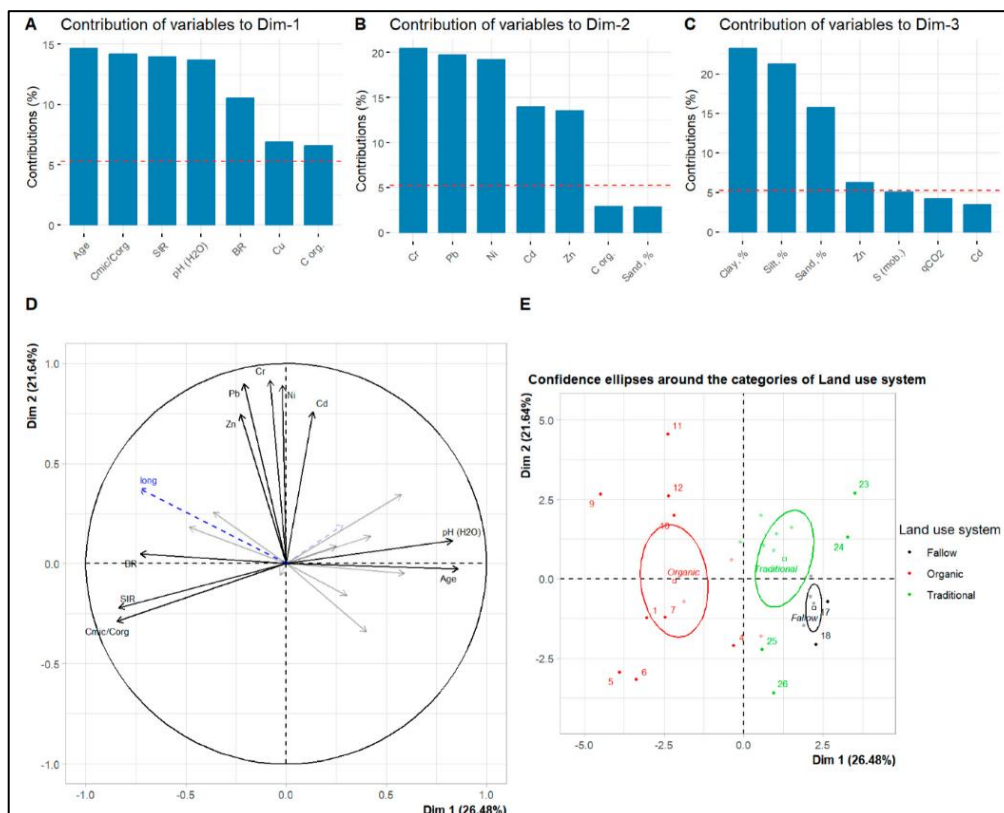


Рисунок 4.4 – Анализ главных компонент микробиологических (BR – базальное дыхание, SIR – субстрат-индуцированное дыхание, qCO<sub>2</sub>, Смик/Сорг), физико-химических и химических (Сорг, pH, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, К<sub>2</sub>O, Сподв, Cu, Pb, Cd, Zn, Cr) показателей почв виноградников с разной системой землепользования (fallow – залежь, organic – органическая, traditional – традиционная).

Таким образом, анализ экологического состояния исследуемых почв ампелоценозов Севастопольской зоны виноделия по комплексу химических, физико-химических показателей и дыхательной активности показал, что наиболее благоприятные условия для функционирования почвенного микробиоценоза сложились в ампелоэкосистемах с органическим землепользованием, хотя лимитирующими факторами для получения качественной винодельческой продукции могут выступить невысокое содержание органического вещества и повышенное – подвижной серы (соответственно на 26–31% ниже и в 2,3–3,3 раза выше, чем в почвах с более высоким уровнем антропогенного воздействия), а также превышение нормативных значений по содержанию в почве подвижных форм меди. Определенную озабоченность вызывают отмеченные признаки дестабилизации функционирования почвенного микробиома постагрогенных почв

под бывшими виноградниками, что необходимо учитывать при их возврате в сельскохозяйственный оборот.

Проведенные исследования показали необходимость в комплексном подходе к проведению экологического мониторинга почв винодельческих хозяйств с включением в программу исследований биотестирования с определением показателей дыхания и расчетных экофизиологических индексов в качестве информативного и полезного инструмента системного анализа проблемных экологических ситуаций на ранних этапах их развития в ампелоэкосистемах.

## **Глава 5. Влияние орографических факторов на накопление и миграцию тяжелых металлов в почвах виноградников в условиях склонового ландшафта**

Виноградники часто размещают в горных или холмистых районах, где вследствие геохимического сопряжения элементарных ландшафтов склонов наблюдаются активные процессы латерального перемещения веществ в виде их механической миграции и растворов с поверхностным и внутрипочвенным стоком в нижележащие элементы рельефа и соседние ландшафты с формированием зон аккумуляции и рассеивания.

На территории Севастопольского региона нами проведена эколого-геохимическая оценка латеральной миграции меди, цинка, марганца и кобальта в почве сопряженных транзитных элементов ландшафта под 40-летним и 6-летним традиционными виноградниками интенсивного типа, расположенными соответственно на склонах 1 и 2 различной морфологии.

Несмотря на выявленную тенденцию повышения в 1,3–1,5 раза содержания органического вещества в поверхностном горизонте почвы подчиненных элементов ландшафта по сравнению с автономным, статистически достоверных различий между ними не выявлено, что может указывать на в целом слабую выраженность миграционных процессов.

Валовое содержание меди в почве склона 1 изменялось от 173,3 мг/кг в трансэлювиально-аккумулятивном элементе ландшафта до 246,6 мг/кг – в трансэлювиальном, склона 2 – от 81,3 мг/кг в трансэлювиальном элементе ландшафта до 133,2 мг/кг – в автономном (табл. 5.1).

По результатам статистической обработки выявлено достоверное двукратное превышение как валового содержания, так и содержания подвижных форм меди в почве под 40-летним виноградником по сравнению с 6-летним (рис. 5.1). Аналогичная закономерность была установлена в отношении подвижных форм цинка и валового содержания марганца. Во всех исследуемых горизонтах почвы и элементах склона 40-летнего ампелоценоза и в отдельных – 6-летнего обнаружено превышение нормативных значений по валовому содержанию и содержанию подвижных форм меди соответственно в 1,3–1,9 и 2,0–10,6 раза, чего не наблюдалось в отношении других изучаемых металлов (табл. 5.1). Из всех изучаемых элементов наибольшими значениями кларка концентрации (6,4–9,1 и 3,0–4,9 для почв первого и второго склонов соответственно) относительно кларка литосферы и полным отсутствием зон рассеяния отличалась медь.

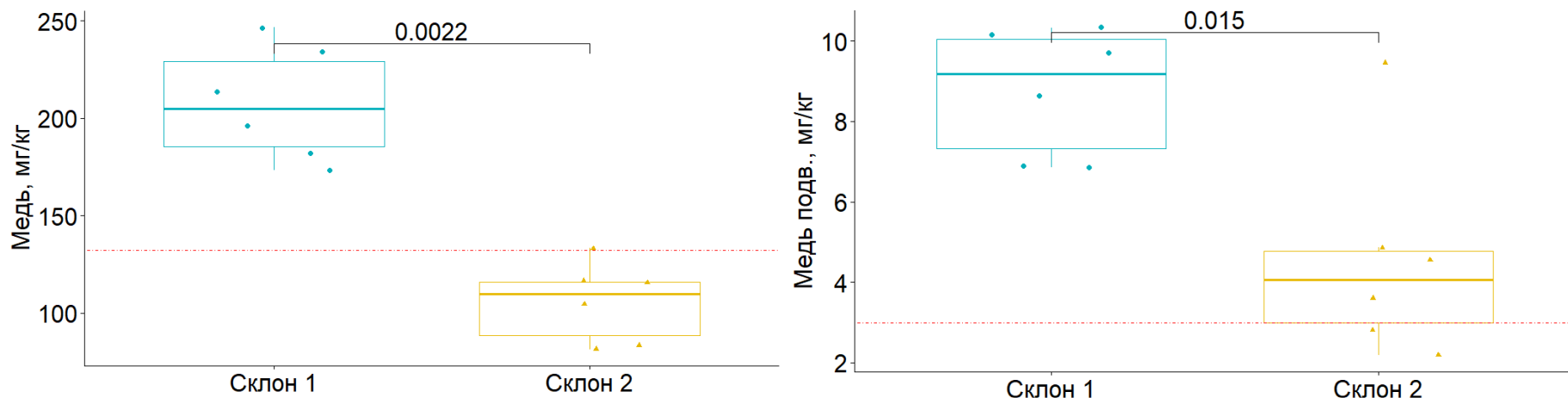


Рисунок 5.1 – Валовое содержание (слева) и содержание подвижных форм меди (справа) (мг/кг) в почве рядов винограда на склонах согласно критерию Краскела-Уоллиса; красной пунктирной линией обозначены ОДК меди по валовому содержанию (слева) и ПДК меди по подвижным формам (справа) в почве.

Таблица 5.1 – Распределение валового содержания и содержания подвижных форм тяжелых металлов (мг/кг) в почве рядов винограда между склоновыми элементами ландшафта (среднее ± стандартная ошибка).

Склон	Элемент ландшафта	Глубина, см	Cu		Zn		Mn	Co
			Валовое содержание	Подвижные формы	Валовое содержание	Подвижные формы	Валовое содержание	Валовое содержание
1	А	0–10	<b>195,8 ± 16,7</b>	<b>6,1 ± 0,9</b>	41,5 ± 10,4	3,7 ± 0,4	955,4 ± 57,3	19,3 ± 1,8
		10–20	<b>181,8 ± 14,3</b>	<b>6,9 ± 1,0</b>	85,0 ± 17,2	3,9 ± 0,7	807,2 ± 67,8	15,5 ± 2,1
	ТЭ	0–10	<b>246,6 ± 19,5</b>	<b>7,7 ± 1,2</b>	122,9 ± 19,3	3,1 ± 0,2	1137,2 ± 94,4	21,2 ± 3,4
		10–20	<b>234,0 ± 14,3</b>	<b>10,3 ± 1,5</b>	108,7 ± 22,3	2,9 ± 0,3	1039,4 ± 76,9	19,5 ± 2,7
	ТЭА	0–10	<b>173,3 ± 18,0</b>	<b>8,1 ± 1,5</b>	56,5 ± 9,4	4,4 ± 0,6	707,0 ± 58,0	9,4 ± 2,2
		10–20	<b>213,8 ± 16,7</b>	<b>10,2 ± 1,6</b>	92,5 ± 16,8	3,7 ± 0,5	897,5 ± 70,9	12,9 ± 1,9
2	А	0–10	<b>133,2 ± 16,8</b>	<b>4,6 ± 1,0</b>	105,4 ± 18,6	2,6 ± 0,5	869,3 ± 65,2	20,3 ± 2,1
		10–20	83,2 ± 14,9	<b>4,5 ± 0,8</b>	62,2 ± 9,5	2,4 ± 0,2	536,4 ± 39,6	8,5 ± 1,6
	ТЭ	0–10	81,3 ± 13,2	<b>6,5 ± 1,3</b>	78,2 ± 11,1	4,5 ± 0,6	711,7 ± 56,9	13,0 ± 2,0
		10–20	104,4 ± 11,6	<b>3,6 ± 0,7</b>	94,4 ± 14,3	2,5 ± 0,3	857,9 ± 66,1	11,2 ± 2,4
	ТЭА	0–10	115,4 ± 15,1	1,6 ± 0,4	88,2 ± 15,5	2,5 ± 0,2	608,7 ± 56,2	11,1 ± 2,3
		10–20	116,2 ± 13,6	2,8 ± 0,3	97,9 ± 18,2	1,5 ± 0,2	629,9 ± 51,7	12,9 ± 1,8
<i>ПДК/ОДК</i>			<i>-/132</i>	<i>3,0/-</i>	<i>-/220</i>	<i>23,0/-</i>	<i>1500/-</i>	<i>-</i>

\* - Жирным шрифтом выделены значения, превышающие установленные нормативы по СанПиН 1.2.3685-21.

Относительно региональной эталонной почвы значения кларков концентрации меди составили 2,3–3,2 для почвы первого склона и 1,1–1,7 – для второго. Эти данные указывают на антропогенный источник накопления меди в почве обоих ампелоценозов, вероятно, в результате применения медьсодержащих фунгицидов. Чередование зон концентрации и рассеяния с невысокими значениями кларков остальных изучаемых элементов свидетельствует об их преимущественно геогенном происхождении.

Скорость БД варьировалась в диапазонах 0,21–0,59 и 0,13–0,32 мкг CO<sub>2</sub>-С/г почвы/ч соответственно в почвах первого и второго склона и находилась на уровне аналогичного среднего показателя для поверхностного горизонта почв традиционных хозяйств и залежи (см. раздел 4). Значения СИД изменялись в широких диапазонах от 5,37 до 14,57 мкл CO<sub>2</sub>/г почвы/ч в почве первого склона и от 4,58 до 9,55 мкл CO<sub>2</sub>/г почвы/ч – второго склона (табл. 5.2).

Таблица 5.2 – Показатели почвенного дыхания и экофизиологические индексы в почве склоновых элементов ландшафта под разновозрастными виноградниками (наименование и единицы измерения показателей аналогичны приведенным в таблице 4.2) (среднее ± стандартная ошибка)

Склон	Часть склона	Глубина, см	БД	СИД	Смик	qCO <sub>2</sub>	Смик/Сорг	qCO <sub>2</sub> /Сорг
1	А	0–10	0,59 ± 0,01	14,57 ± 0,79	584 ± 32	1,02 ± 0,05	4,46	77,9
		10–20	0,58 ± 0,09	8,14 ± 0,05	327 ± 2	1,79 ± 0,29	2,89	158,4
	ТЭ	0–10	0,38 ± 0,02	8,62 ± 0,78	346 ± 32	1,11 ± 0,13	2,07	66,5
		10–20	0,21 ± 0,01	5,37 ± 0,21	216 ± 9	1,01 ± 0,04	1,93	90,2
	ТЭА	0–10	0,45 ± 0,12	9,26 ± 0,38	371 ± 15	1,21 ± 0,33	1,90	62,1
		10–20	0,37 ± 0,05	11,10 ± 0,31	445 ± 13	0,83 ± 0,13	2,87	53,5
2	А	0–10	0,18 ± 0,01	5,25 ± 0,09	211 ± 4	0,88 ± 0,01	1,77	73,9
		10–20	0,16 ± 0,01	5,99 ± 0,04	240 ± 2	0,68 ± 0,01	2,31	65,4
	ТЭ	0–10	0,32 ± 0,02	9,55 ± 0,15	383 ± 6	0,85 ± 0,07	2,84	63,0
		10–20	0,25 ± 0,01	5,33 ± 0,13	214 ± 5	1,18 ± 0,08	1,83	100,9
	ТЭА	0–10	0,24 ± 0,01	7,98 ± 0,33	320 ± 14	0,75 ± 0,06	1,80	42,1
		10–20	0,13 ± 0,01	4,58 ± 0,13	184 ± 5	0,73 ± 0,03	1,48	58,9

Средние значения БД и СИД в почве 40-летнего ампелоценоза оказались соответственно в 2,0 и 1,5 раза выше, чем в почве 6-летнего, что подтверждается статистическим анализом по критерию Краскела-Уоллиса (рис. 5.2). При этом среднее значение показателя микробного стресса qCO<sub>2</sub> было в 1,4 раза выше для почвы 40-летнего виноградника и составило 1,16 против 0,85 мкг CO<sub>2</sub>-С/мг Смик/ч в почве 6-летнего.

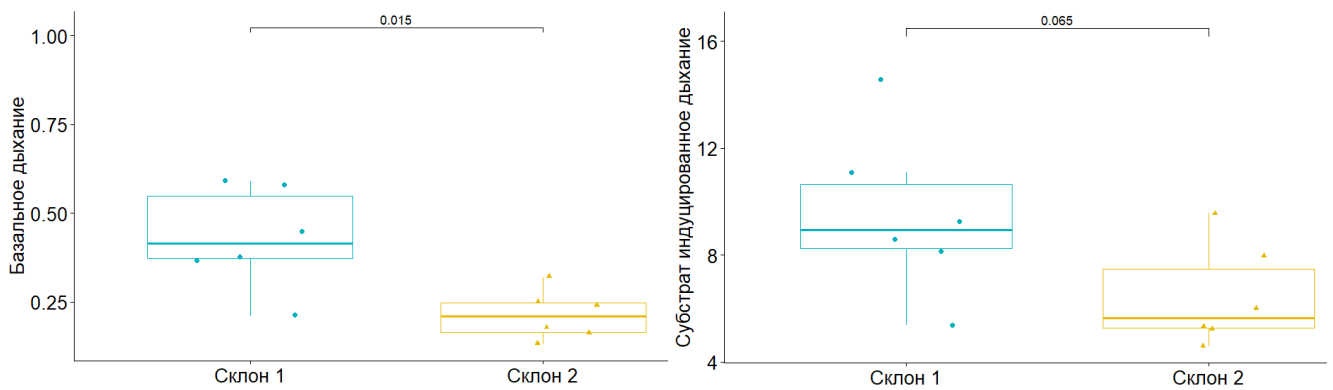


Рисунок 5.2 – Зависимость базального дыхания (слева) (мкг СО<sub>2</sub>-С/г почвы/ч) и субстрат-индуцированного дыхания (справа) (мкл СО<sub>2</sub>-С/г почвы/ч) в почве склонов под разновозрастными виноградниками согласно критерию Краскела-Уоллиса.

Несмотря на достоверно более высокий уровень базального дыхания в почве возрастного ампелоценоза по сравнению с молодым, статистический анализ выявил наличие сильной отрицательной корреляционной связи между БД и содержанием подвижных форм меди ( $r = -0,94$ ) и отсутствие значимой зависимости – между БД и валовым содержанием меди. Это свидетельствует о наличии негативных биологических эффектов, вызываемых наиболее биодоступными формами меди при трех – десятикратном превышении ее ПДК, на автохтонную почвенную микрофлору в условиях ее низкой метаболической активности. В то же время отсутствие значимой зависимости между содержанием подвижных форм меди и субстрат-индуцированным дыханием может указывать на способность потенциально активных штаммов микроорганизмов переходить в состояние активного роста при появлении легкодоступного питательного субстрата, преодолевая токсический эффект избытка меди в среде за счет выработки защитных механизмов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в период 2020–2024 гг. исследования ампелоценозов юго-западной части Крыма с различным уровнем антропогенного воздействия показали значительную пространственную изменчивость экологических показателей и дыхательной активности почв, в значительной мере определяемую режимом землепользования, последствием многолетнего выращивания винограда по интенсивным технологиям, совокупностью климатических и орографических абиотических факторов.

В результате исследований сформулированы следующие выводы:

1. Проведенные комплексные экологические исследования коричневых типичных и бурых лесных почв применяющих традиционные и органические технологии винодельческих хозяйств в условиях юго-западной части Крымского полуострова показали, что лимитирующими выращивание винограда экологическими факторами выступают: выраженный сезонный дефицит доступной почвенной влаги, низкая обеспеченность почв отдельных хозяйств подвижным фосфором (5,2–14,6 мг/кг), избыточное содержание в почвах органических хозяйств подвижной серы (28,1–37,8 мг/кг) и последствие многолетнего

применения медьсодержащих пестицидов, характерное для всех хозяйств независимо от уровня антропогенного воздействия.

2. С применением метода главных компонент и непараметрического дисперсионного анализа доказано экологически значимое различие интегральных микробиологических показателей почв ампелоценозов с разной антропогенной нагрузкой. По совокупности показателей содержания микробной биомассы, ее доли в органическом углероде почвы и экофизиологического статуса микробного сообщества почвы (базальное и субстрат-индуцированное дыхание, микробный метаболический коэффициент, эффективность использования органического вещества микроорганизмами) в почвах органических ампелоценозов сформированы наиболее благоприятные условия для микробиологической активности и закрепления углерода в составе микробной биомассы, тогда как экофизиологические индексы почв в многолетнем залежном состоянии после длительного выращивания винограда могут выходить за пределы оптимальных значений этих показателей.

3. Валовое содержание меди в почвах рядов 40-летнего виноградника, выращиваемого в условиях склонового ландшафта, варьировалось от 173,3 до 246,6 мг/кг, что вдвое выше по сравнению с почвой 6-летнего виноградника и на 31–87% выше ориентировочно допустимой концентрации. Для почв 40-летнего и 6-летнего ампелоценозов кларк концентрации меди относительно кларка литосферы составил соответственно 6,4–9,1 и 3,0–4,9, относительно региональной эталонной почвы – 2,3–3,2 и 1,4–1,5 без зон рассеяния, которые были выявлены для других исследуемых микроэлементов (тяжелых металлов), что указывает на преимущественно антропогенное происхождение меди в почвах исследованных виноградников. Обнаружена умеренная миграция меди по склону с коэффициентами латеральной дифференциации 1,18–1,29, главным образом, в горизонте 10–20 см, с накоплением средней силы в трансэлювиальном и трансаккумулятивном элементах ландшафта.

4. Содержание подвижных форм меди в почвах всех исследуемых виноградников варьирует в широком диапазоне: 0,7–31,8 мг/кг с превышением предельно допустимой концентрации в 1,2–10,6 раза и преимущественным накоплением в рядах и междурядьях 40-летнего ампелоценоза, где медь в форме подвижных соединений активнее мигрировала по склону с коэффициентом латеральной дифференции 1,25–1,40 в горизонтах 0–10 и 10–20 см.

5. На фоне общего повышения в 1,6–5,7 раза уровня дыхательной активности загрязненной медью почвы 40-летнего ампелоценоза по сравнению с 6-летним, по результатам корреляционного анализа установлено ингибирующее воздействие доступной формы меди на базальное дыхание микробного сообщества почвы ( $r = -0,94$ ) и отсутствие значимого токсического эффекта на субстрат-индуцированное дыхание, что может свидетельствовать о временной стимуляции потенциально активных штаммов микроорганизмов и адаптированности почвенного микробоценоза, формируемого в условиях длительного применения медьсодержащих фунгицидов.

6. В условиях намечающихся трендов перехода отдельных винодельческих хозяйств Крыма с традиционных систем земледелия на органические и широкой

практики возрождения виноградников на ранее длительно использованных в виноградарстве залежных землях регионально протестированные показатели интегральной микробиологической активности могут рассматриваться в качестве перспективных критериев оценки экологического состояния почв, проектируемых в Крыму ампелоценозов.

### Список работ, опубликованных по теме диссертации

#### Статьи в научных изданиях, входящих в Перечень ВАК

1. Андреева, И. В. Медь в почве агроэкосистем виноградников: современный взгляд на проблему / И. В. Андреева, **В. В. Габечая** // Агрохимия. – 2024 – № 11. – С. 56-80. – DOI 10.31857/S0002188124110084. K1.

2. Габечая, В. В. Эколого-геохимическая оценка накопления и миграции тяжелых металлов в почве разновозрастных виноградников интенсивного типа в условиях эродированного ландшафта Южнобережной зоны Крыма / **В. В. Габечая**, И. В. Андреева, Д. В. Морев // АгроЭкоИнфо. – 2024. – № 6(66). – DOI 10.51419/202146613. – Режим доступа: [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/6/st\\_613.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/6/st_613.pdf) (дата обращения 17.09.2025). K3

3. Андреева, И. В. Эколого-геохимическая оценка латеральной миграции подвижной серы в почве склоновых ландшафтов под разновозрастными виноградниками автономного края Воеводина Республики Сербия / И. В. Андреева, **В. В. Габечая** // Проблемы агрохимии и экологии. – 2023. – № 4. – С. 36-41. – DOI 10.26178/AE.2023.94.54.007. K2

4. Андреева, И. В. Экологическая оценка накопления и миграции меди в почве возрастных ампелоценозов в результате длительного применения медьсодержащих фунгицидов в регионе Фрушка гора Республики Сербия / И. В. Андреева, **В. В. Габечая**, Д. В. Морев // АгроЭкоИнфо. – 2023. – № 5(59). – DOI 10.51419/202135547. – Режим доступа: [https://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/5/st\\_547.pdf](https://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/5/st_547.pdf) (дата обращения 17.09.2025). K3

5. Габечая, В. В. Сравнительный анализ лимитирующего функционирование почвенного микробиома факторов при культивировании винограда в условиях южного берега Крыма и Автономного края Воеводина Республики Сербия / **В. В. Габечая**, И. В. Андреева, Д. В. Морев // АгроЭкоИнфо. – 2023. – № 6(60). – DOI 10.51419/202136628. – Режим доступа: [https://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/6/st\\_628.pdf](https://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/6/st_628.pdf) (дата обращения 17.09.2025). K3

#### Статьи в научных журналах, входящих в Scopus, Web of Science

6. Exploring the Influence of Diverse Viticultural Systems on Soil Health Metrics in the Northern Black Sea Region / **V. Gabechaya**, I. Andreeva, D. Morev [et al.] // Soil Systems. – 2023. – Vol. 7, No. 3. – P. 73. – DOI 10.3390/soilsystems7030073. K1.

7. How Landscapes and History Shape Copper in Vineyard Soils: Example of Fruška Gora Region, Serbia / I. Andreeva, **V. Gabechaya**, D. Morev [et al.] // Land. – 2025. – Vol. 14, No. 1. – P. 96. – DOI 10.3390/land14010096. K1

#### Публикации в сборниках трудов конференций

8. Gabechaya, V. Comparative Assessment of The Climatological Conditions on The Biological Activity of Ampelocenoses Soils Cultivated in The Wine-Growing Regions of The Southern Coast of Crimea and The Eastern Part of The National Park "Fruska Gora" / **V. Gabechaya**, I. Andreeva, D. Morev // BIO Web of Conferences : 3rd International Conference on Research of Agricultural and Food Technologies (I-CRAFT-2023), Adana, Turkey, October 4-6, 2023 / A. M. Bozdoğan, M. Çelik Güney, S. Şahin and B. Dalkiliç (Eds.). – 2024. – Vol. 85. – P. 01051. – DOI 10.1051/bioconf/20248501051.

9. Andreeva, I. Comparative analysis of different-age vineyards in Fruska Gora National Park, in the Autonomous province of Vojvodina, Republic of Serbia, on the characteristics of lateral migration of mobile sulphur / I. Andreeva, **V. Gabechaya**, D. Morev // BIO Web of Conferences : 3rd International Conference on Research of Agricultural and Food Technologies (I-CRAFT-2023), Adana, Turkey,

October 4-6, 2023 / A. M. Bozdoğan, M. Çelik Güney, S. Şahin and B. Dalkılıç (Eds.). – 2024. – Vol. 85. – P. 01056. – DOI 10.1051/bioconf/20248501056.

10. Габечая, В. В. Накопление и миграция меди в эродированной почве виноградника Южного берега Крыма / В. В. Габечая // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 150-летию со дня рождения А. Я. Миловича : сборник статей : [в 2 т.]. Т. 1 / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева [и др.]. – Москва: РГАУ-МСХА, 2024. – С. 204-209.

11. Gabechaya, V. Mobile sulphur status in soils of organic and conventional vineyards of the Southern coast of Crimea / V. Gabechaya, I. Andreeva // E3S Web of Conferences : International Scientific Conference “Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East” (AFE-2023), Blagoveshchensk, Russia, November 8-10, 2023 / A. Muratov and O. Lygina (Eds.). – 2023. – Vol. 462. – P. 02013. – DOI 10.1051/e3sconf/202346202013.

12. Габечая, В. В. Содержание меди в почве ампелоценозов Крыма в условиях органической и традиционной систем землепользования / **В. В. Габечая**, Е. С. Смирнова, И. В. Андреева // Сборник статей Всероссийской конференции молодых исследователей «Аграрная наука – 2022». – Москва : РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2022. – С. 659-663. – DOI 10.26897/978-5-9675-1950-5-2022-1884. – Режим доступа: <https://elib.timacad.ru/dl/full/S29112022AgrarnNauka-2022.pdf/view> (дата обращения 17.09.2025)

13. Содержание тяжелых металлов в почвах ампелоценозов Крыма в условиях применения различных систем защиты растений / **В. В. Габечая**, И. В. Андреева, Д. В. Морев, А. В. Кузьмин // Международная научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 135-летию со дня рождения А. Н. Костякова : сборник статей : [в 2 т.]. Т. 1 / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева [и др.]. – Москва : РГАУ-МСХА, 2022. – С. 114-118. – Режим доступа: [https://www.timacad.ru/uploads/files/20230313/1678694104\\_sbornik\\_SMUiS-2022\\_1.pdf](https://www.timacad.ru/uploads/files/20230313/1678694104_sbornik_SMUiS-2022_1.pdf) (дата обращения 17.09.2025)

14. Необходимость мониторинга и оценки влияния медьсодержащих пестицидов на экологические и сельскохозяйственные функции почв / **В. В. Габечая**, И. В. Андреева, И. И. Васенев, А. А. Неаман // Сборник материалов V международной научной конференции «Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки», Симферополь, 5-9 октября 2020 г. – Симферополь : ИТ "Ариал", 2020. – С. 256-257. – DOI 10.33952/2542-0720-2020-5-9-10-127-1. – Режим доступа: [https://conf.niishk.site/data/documents/Svedennyysbornik\\_2020-FINAL.pdf](https://conf.niishk.site/data/documents/Svedennyysbornik_2020-FINAL.pdf) (дата обращения 17.09.2025)

#### Статьи в журналах, индексируемых в РИНЦ

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

#### Монографии

16. Наилучшие доступные почво- и углерод-сберегающие технологии природопользования, экологического мониторинга и контроля: [монография] / Васенев И. И., Александров Н. А., Андреев И. В. [и др.; под редакцией И. И. Васенева] ; Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева. - Москва: РГАУ-МСХА, 2023. – 239 с. – ISBN 978-5-6049459-1-9 :500 экз.

17. Цифровые технологии агроэкологического мониторинга и оптимизация земледелия: монография / Васенев И. И., Александров Н. А., Андреева И. В. [и др.] ; под редакцией И. И. Васенева ; РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева. – Москва: ВИН: РГАУ-МСХА, 2022. – 240 с. – Авт. указаны на обороте тит. л. – ISBN 978-5-6048783-0-9 :500 экз.