

УДК 631.8:631.4(292.471)

DOI 10.5281/ZENODO.20787820

СОВРЕМЕННОЕ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ В ПРЕДГОРНОМ КРЫМУ С УЧЕТОМ ВЫРАЩИВАЕМЫХ КУЛЬТУР

Кобечинская В. Г., Бенескриптов А. В.

*Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: valekohome@mail.ru*

В предгорной зоне Крыма в целом прослеживается общая тенденция ухудшения плодородия почв сельскохозяйственных угодий. Данные, полученные в конце прошлого столетия, когда проводилось сплошное изучение состояния почвенного покрова, устарели. В 2024 г. было обследовано 324 га, с которых было отобрано 35 объединенных образцов и выполнено сравнение полученных показателей с архивными материалами за 2019 г. В отобранных почвенных пробах, взятых под однолетними и многолетними культурами, выявлено снижение основных агрохимических характеристик: подвижных форм соединений фосфора и калия, органического вещества, pH, основных микроэлементов – меди, кобальта, цинка, марганца и рост в почвах наиболее токсичных тяжелых металлов – кадмия и свинца. Рекомендуется увеличить дозы внесения фосфорных и органических удобрений, актуальным становится также внесение калийных удобрений, что не проводилось ранее.

Ключевые слова: агроэкологическое состояние, пахотные земли, агрохимические показатели, ухудшение плодородия, предгорный Крым.

ВВЕДЕНИЕ

Земли Симферопольского района представляют интерес в плане изучения агроэкологического состояния, так как они находятся в длительном агрогенном использовании. Данные, полученные в конце прошлого столетия, когда проводилось сплошное обследование состояния почвенного покрова, устарели. Точное знание современного состояния почв даст возможность вовремя принимать меры, направленные на сохранение почвенного плодородия и улучшения экологической ситуации.

Изучение почв полуострова Крым с учетом физико-географических особенностей территории происходило с момента присоединения Крыма к Российской империи (вторая половина XVIII века) и почти до конца XIX века происходил сбор информации. В конце этого века начинается научное исследование почвенного покрова данного региона. Он изучался многими почвоведом, в том числе В. В. Докучаевым, П. К. Костычевым, Н. Н.Клепинином, Л. И. Прасоловым, И. Н. Антиповым-Каратаевым и другими [1, 2].

В. В. Докучаев первым описал и доказал широкое распространение черноземов на территории центрально-равнинного Крыма, которые он назвал зоной чернозема «симферопольского типа». Ученый создал первую почвенную карту Крымского полуострова (1881 г.), на которой были изображены участки с примерно одинаковым содержанием гумуса. Одна из глав его фундаментального труда «Русский чернозем» посвящена именно почвам Крыма [3]. П. А. Костычев, организатор первой отечественной агрохимической лаборатории и автор первого отечественного учебника по почвоведению, уделил внимание и почвам виноградников Южного берега Крыма. В 1892 году он опубликовал работу, в которой выделил шиферные почвы в этой части полуострова [2]. В 1935 году была опубликована книга Н. Н. Клепинина «Почвы Крыма», в которой давалась не только подробная характеристика почв полуострова, но и описывались факторы зонального размещения почв, приводилась классификация основных типов и их разновидностей [4]. В послевоенный период к публикациям в области антропогенных изменений структуры почвенного покрова равнинного и горного Крыма можно отнести работы Кочкина М. А. [5], Половицкого И. Я., Гусева П. Г. [6], Драган Н. А. [7] и многих др.

В настоящее время мониторинг за состоянием почв Крыма занимаются такие организации, как ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – национальный центр РАН» (лаборатория агроэкологии), ФГБУН «Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарах» РАН», ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ФГАОУ ВО «КФУ имени В. И. Вернадского», ФГБУ «Центр агрохимической службы «Крымский».

На охрану земель направлен ряд федеральных законов РФ. Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» определяет правовые основы государственной политики в области охраны окружающей среды в целом, в том числе и почвенного покрова [8]. Порядок проведения мониторинга плодородия почв сельскохозяйственного назначения определяет Федеральный закон от 16.07.1998 г. № 101-ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия почв сельскохозяйственного назначения» [9]. Статья 13 Федерального закона «О развитии сельского хозяйства» от 29.12.2006 г. № 264-ФЗ регулирует государственную поддержку мероприятий по повышению плодородия и охране сельскохозяйственных земель [10]. В Федеральном законе от 24.07.2002 г. № 101-ФЗ «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения» прописаны основания для изъятия земельного участка, в том числе, если использование участка приводит к снижению плодородия и причиняет вред окружающей среде [11]. Для более эффективной защиты земель сельскохозяйственного назначения вводятся подзаконные акты регионов. Так, в 2020 году в Крыму был принят закон РК от 30.10.2020 н. № 123-ЗРК «Об особо ценных продуктивных сельскохозяйственных угодьях на территории Республики Крым» [12].

Местом проведения исследований является Симферопольский район РК. К сожалению, здесь четко прослеживается нарушение агротехники эксплуатации

пахотных земель с полным отказом от севооборотов и длительном выращивании одних и тех же культур, особенно в фермерских хозяйствах.

Агроэкологическое состояние почв – это совокупность показателей, позволяющих оценить степень пригодности земельных участков для выращивания культур и производства растениеводческой продукции определенного качества [13]. Для её характеристики используют агрохимические (содержание основных элементов питания – подвижных форм фосфора и калия, запасы минерального азота в метровом слое, содержание гумуса, pH, содержание подвижных форм микроэлементов) и экологические показатели (содержание тяжелых металлов, остаточных количеств пестицидов и др.) [14].

Только на основании объективных данных о современном агроэкологическом состоянии возможна разработка мер, направленных на сохранение и воспроизведение плодородия почв. Поэтому актуальным являются вопросы объективной оценки направленности и интенсивности снижения плодородия почв во временных параметрах с учетом зональных особенностей предгорного Крыма, что и было целью нашей работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Площадь Симферопольского района (1752,5 км²), что составляет 6,7 % территории полуострова. Протяженность с запада на восток – 70 км, с севера на юг – 60 км. Объект изучения – пахотные земли Симферопольского района под однолетними и многолетними культурами. По состоянию на 01.01.2024 площадь сельскохозяйственных угодий данной территории составляет 97,0 тыс. га, из них пашня – 66,3 тыс. га, площадь садов – 1,89 тыс. га, виноградников – 3,12 тыс. га [15].

В 2024 г. нами было обследовано 324 га, с которых было отобрано 35 объединенных образцов и выполнено сравнение полученных показателей с архивными материалами за 2019 г.

Первичные данные по содержанию агроэкологических показателей почв в пахотных землях Симферопольского района в 2019 и 2024 годах обрабатывались статистически с определением среднего содержания приведенного показателя по участку и рассчитана стандартная ошибка средней величины с помощью программ «Statistica-10», «Microsoft Excel 2016».

Симферопольский район характеризуется богатым разнообразием почв, обусловленным сочетанием различных геологических, гидрологических и климатических факторов, которые проявляются как в горизонтальной, так и в вертикальной зональности почвенного покрова. Согласно классификации почв, их доминирующим типом в данном районе являются черноземы и их разновидности. В северной части района встречаются черноземы южные солонцеватые, в западной и юго-западной и южных частях преобладают черноземы карбонатные, маломощные щебенчато-каменистые и дерново-карбонатные почвы. Также в этом районе распространены в долинах рек луговые и лугово-черноземные, темно-бурые и бурые лесные почвы [7, 16, 17].

Карбонатные черноземы образовались на древних делювиальных отложениях. Они имеют хорошо выраженный гумусовый горизонт, его мощность в среднем

составляет 30–45 см. Содержание органического вещества на целине может достигать 4,8 % [6]. Черноземы мицеллярно-карбонатные характеризуются среднemosщным гумусовым профилем, на пашне гумус – 2,6–2,9 % (на залежи – 4,5 %).

Всего выбрано 9 участков: на 5-ти из них выращивались однолетние культуры (пшеница озимая, лен, ячмень озимый и подсолнечник), 3 участка были заняты многолетними культурами (плодовые деревья – черешня, виноград винный – сорт «Алиготе» и столовый сорт «Кардинал»), контрольный участок – целинная типчаково-ковыльная степь. Карта-схема отбора почвенных проб на территории Симферопольского района приведена на рисунке 1.

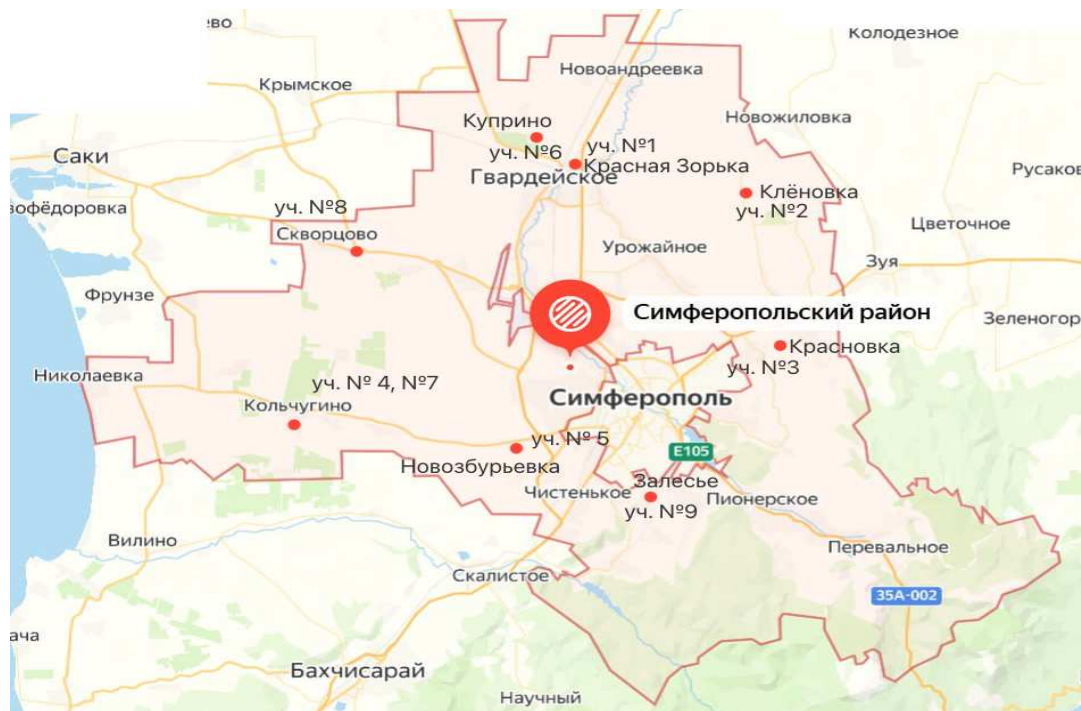


Рис. 1. Карта-схема отбора почвенных проб на территории Симферопольского района.

Примечание: Однолетние культуры: уч. № 1 – пшеница, уч. № 2 – пшеница; уч. № 3 – лен; уч. № 4 – ячмень; уч. № 5 – подсолнечник. Многолетние культуры: уч. № 6 – сад (черешня); уч. № 7 – виноград (винный сорт Алиготе), уч. № 8 – виноград (столовый сорт Кардинал). Участок № 9 – контрольный (целинная типчаково-ковыльная степь).

Объединенные пробы брались с верхнего горизонта на глубину 0–25 см. Каждая из них отбиралась с элементарного участка площадью 10 га и состояла из 10 точечных проб, заложенных по диагонали. Масса каждой объединенной пробы – 500 г. Общее количество точечных проб – 350 шт. В таблице 1 отображены места отбора их с привязкой к населенным пунктам.

Таблица 1

Площадь обследуемых участков и количество отобранных проб пахотных земель Симферопольского района

№ участка	Место отбора (возле населенного пункта)	Площадь участка, га	Кол-во объединенных проб	Наименование выращиваемой культуры
Однолетние культуры				
1	с. Красная Зорька	48,0 га	5	пшеница озимая
2	с. Кленовка	45,0 га	5	пшеница озимая
3	с. Красновка	38,0 га	4	лен
4	с. Кольчугино	50,0 га	5	ячмень озимый
5	с. Новозбузьевка	38,4 га	4	подсолнечник
Многолетние культуры				
6	с. Куприно	35,0 га	4	черешня
7	с. Кольчугино	49,0 га	4	виноград «Алиготе»
8	с. Скворцово	15,8 га	2	виноград «Кардинал»
Фоновый контрольный участок				
9	с. Залесье	4,8 га	2	целинная типчаково-ковыльная степь

В отобранных пробах проводилось определение содержания гумуса, рН почвенного раствора, содержания подвижного фосфора и обменного калия, микроэлементов (медь, кобальт, цинк, марганец) и тяжелых металлов (свинец, кадмий).

Приведём краткую агроклиматическую характеристику Симферопольского района с учетом пятилетнего периода исследований. Он расположен в пределах равнинного степного и предгорного Крыма, захватывая также горную часть на юге, на западе имеет выход к Черному морю, перепад высот 200–700 м. н.у.м. На территории района расположены притоки бассейна реки Салгир, река Бештерек, река Кизил-Коба и бассейн реки Западный Булганак. Имеются 3 водохранилища: Симферопольское, Партизанское и Аянское [18].

Климат Симферопольского района умеренно-континентальный. Весна, как правило, затяжная, начинается в середине февраля и заканчивается в середине мая. Заморозки на почве возможны до мая. Лето – длительное, жаркое, сухое (с середины мая и до конца сентября), осень – теплая и долгая. Зима – короткая и мягкая, но изменчивая, погода нестабильная, период похолодания сменяется периодом потепления, когда температура воздуха может достигать + 10 – + 12 градусов, но с декабря наблюдаются устойчивые ночные заморозки [19, 20]. Среднегодовые температуры воздуха за годы исследований колебались от 12 °С (2023 г.) до 13,8 °С (2024 г.). Самая высокая среднемесячная температура была в августе, реже в июле – +23,2 – +25,2 °С. Осень, в целом, теплее весны на 2–3 градуса. Продолжительность безморозного периода 180–200 дней. Среднее

количество часов солнечного сияния высокое – 2469 час/год. Среднегодовой уровень осадков варьируется в широких пределах в зависимости от года: от 368 мм в 2020 г. до 703 мм в 2021 г. На вегетационный период приходится в среднем 350 мм осадков. Четко прослеживается динамика – повышение среднегодовой температуры воздуха и уменьшение среднегодового количества осадков в период с 2019 по 2024 год, то есть климат становится более жарким и засушливым, что будет сказываться на спектре выращиваемых культур с учетом дефицита влаги в весенне-летний период.

Для почвенных исследований на базе лаборатории Центра агрохимической службы «Крымский» использовались следующие методы и оборудование. Гумус почвы определялся по п. 6.1 ГОСТа 26213-2021 фотометрическим методом, основанном на окислении органического вещества хромовой смесью с последующим количественным определением эквивалентного содержания трёхвалентного хрома на спектрофотометре [21], pH почвенного раствора определялся потенциометрическим методом на ионометре в водной вытяжке почвы при соотношении почвы и воды 1:5 [22]. Определение подвижных форм фосфора и калия в почве проводилось по методу Мачигина в соответствии с ГОСТом 26205-91. Этот метод основан на извлечении подвижных соединений фосфора и калия раствором углекислого аммония с массовой долей растворенного вещества 1 % при соотношении почвы к извлекающему раствору 1:20 [23]. В полученной вытяжке на пламенном фотометре определялось содержание подвижного калия, соединения подвижного фосфора переводились в фосфорно-молибденовое комплексное соединение, имеющее синюю окраску, которое количественно определялось на спектрофотометре. Определение подвижных форм микроэлементов и тяжелых металлов производилось атомно-абсорбционным методом в вытяжке почвы, приготовленной с использованием в качестве экстрагента ацетатно-аммонийного буферного раствора с pH – 4,8 [24]. Для проведения анализов были использованы следующие средства измерения: весы электронные Scout Pro SPU-202, весы лабораторные RADWAG AS 60/220/ X, ионометр лабораторный И-160МИ, спектрофотометр ПЭ-5300ВИ, пламенный фотометр PFP7, пламенный фотометр BWB-XP, атомно-абсорбционный спектрофотометр Квант 2МТ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим динамику изменения основных агрохимических показателей плодородия почв в пахотных землях Симферопольского района за 2024 г. на 9 пробных участках.

На рисунке 2 четко видна тенденция падения гумуса во всех агропробах, кроме контрольного. Для исследования были выбраны участки с разным содержанием гумуса: от 2,59 % (участок № 4) до 4,97 % (участок № 3) в 2019 г.

В формировании почвенного плодородия важная роль принадлежит гумусу, запасы и состав которого определяют многие агрохимические свойства почв [25]. Чем больше запасы гумуса в почве, тем богаче она азотом, серой, фосфором и другими питательными веществами. Органическое вещество почвы влияет на множество процессов, включая ионный обмен, кислотно-щелочные и окислительно-

восстановительные реакции, на растворимость минеральных компонентов, облегчая их усвоение растениями, а также способствуют стабилизации температурного режима [26].

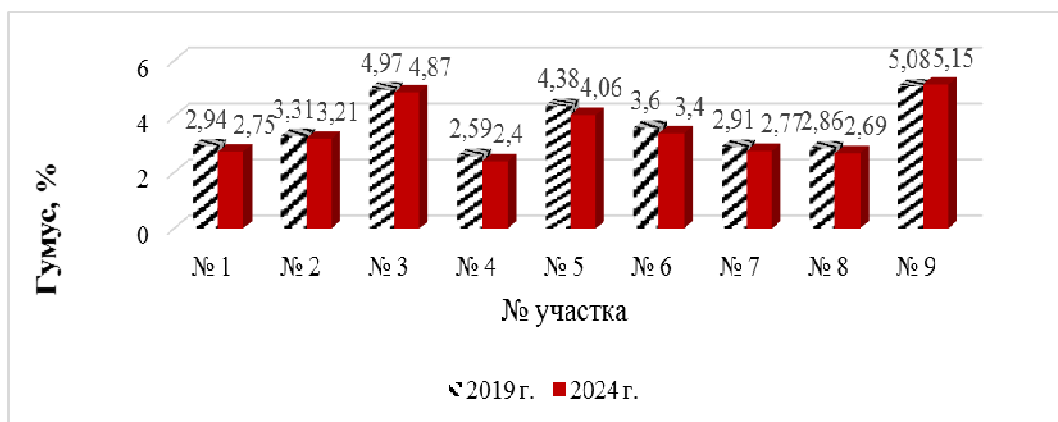


Рис. 2. Обеспеченность гумусом почв Симферопольского района в 2019 и 2024 годах.

Примечание: Однолетние культуры: уч. № 1 – пшеница, уч. № 2 – пшеница; уч. № 3 – лен; уч. № 4 – ячмень; уч. № 5 – подсолнечник. Многолетние культуры: уч. № 6 – сад (черешня); уч. № 7 – виноград (винный сорт Алиготе), уч. № 8 – виноград (столовый сорт Кардинал). Участок № 9 – контрольный (целинная типчаково-ковыльная степь).

Высокое содержание гумуса отмечается в почвах участков № 3 и № 5, оно составило в 2024 году 4,87 % и 4,06 % соответственно. Это объясняется длительным и систематическим внесением на этих участках органических удобрений. Минимальное содержание гумуса в 2024 году было на участке № 4 – 2,40 % (здесь не менялась выращиваемая культура 4 года). В почвах под виноградниками и плодовым садом снижение произошло на 0,14–0,20 %, под однолетними культурами – 0,19–0,32 % за период исследований.

Таким образом, видно, что процессу дегумификации подвержены все участки, причем под однолетними культурами в большей степени, что связано не только с выносом органического вещества растениями, но и с высокой интенсивностью использования почвы. В почве контрольного участка гумуса в пробах выше 5 % и с течением времени оно только увеличивается. Для поддержания имеющегося уровня содержания гумуса рекомендуется проводить внесение органических удобрений из расчета 10 т/га.

Реакция среды почвы [27] оказывает большое влияние на поступление питательных веществ в растения и, следовательно, на их рост и развитие (рис. 3).

В почвах Симферопольского района подстилающими породами являются известняки, поэтому pH на всех участках слабощелочное и колеблется от 8,0 до 8,3. Исключение составляет участок № 3, где значение pH почвенного раствора немного ниже – 7,8. Это объясняется длительным систематическим внесением на данном

участке больших доз органических удобрений и регулярным поливом. За период с 2019 года по 2024 год лишь на 2-х из 9 участках наблюдается незначительное увеличение значения pH. Сохранение этого показателя объясняется также таким свойством почв, как буферность.

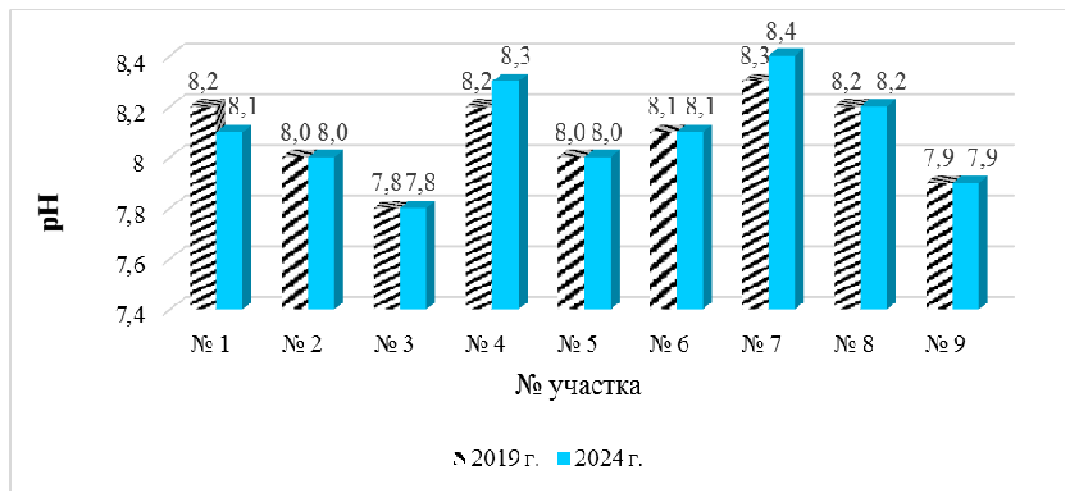


Рис. 3. pH почв Симферопольского района в 2019 г. и 2024 г.

Примечание: Однолетние культуры: уч. № 1 – пшеница, уч. № 2 – пшеница; уч. № 3 – лен; уч. № 4 – ячмень; уч. № 5 – подсолнечник. Многолетние культуры: уч. № 6 – сад (черешня); уч. № 7 – виноград (винный сорт Алиготе), уч. № 8 – виноград (столовый сорт Кардинал). Участок № 9 – контроль (целинная типчаково-ковыльная степь).

Для жизни растений крайне важен фосфор, так как он входит в состав следующих органических соединений: нуклеиновых кислот (РНК и ДНК), которые участвуют в синтезе белков, росте и размножении растений, передаче наследственной информации; АТФ (накопление энергии); нуклеотидов (коферментов, катализирующих окисление веществ); нуклеопротеидов (рост и развитие растений); фосфатидов (важная роль в процессах проникновения и обмена веществ в клетках растений); витаминов, гормонов, ферментов, определяющих направление и скорость биохимических процессов в растениях; фитина (запасное вещество семян и плодов), способствуя их формированию, а также стимулирует развитие корневой системы.

Недостаток фосфора приводит к нарушению азотного обмена; изменению круговорота сахаров в растениях; замедлению роста и развития растений, созреванию семян, у ряда растений снижается морозоустойчивость, его избыток в почве приводит к снижению усвоения железа и цинка [28]. В почве фосфор содержится как в органической, так и в минеральной форме, но преобладает минеральная. Растения усваивают этот элемент в виде дигидрофосфат-ионов (H_2PO_4^-) и гидрофосфат-ионов (HPO_4^{2-}) [29].

На исследованных участках содержание подвижных соединений фосфора в почве существенно различается (рис. 4). Следует отметить, что на участках под виноградом и плодовыми деревьями содержание фосфора снизилось значительно меньше, на 2–4 мг/кг, в то время как на участках, где выращивалась пшеница и другие однолетние культуры от 3,6 (участок № 2) до 9 мг/кг (участок № 5) более значительно.

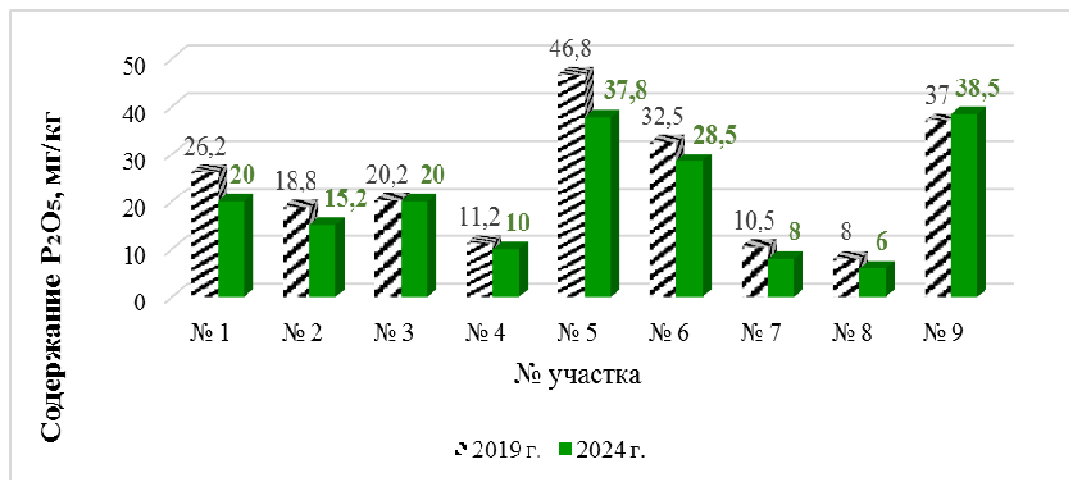


Рис. 4. Динамика обеспеченности почв Симферопольского района подвижными соединениями фосфора в 2019 и 2024 годах.

Примечание: Однолетние культуры: уч. № 1 – пшеница, уч. № 2 – пшеница; уч. № 3 – лен; уч. № 4 – ячмень; уч. № 5 – подсолнечник. Многолетние культуры: уч. № 6 – сад (черешня); уч. № 7 – виноград (винный сорт Алиготе), уч. № 8 – виноград (столовый сорт Кардинал). Участок № 9 – контроль (целинная типчаково-ковыльная степь).

Проведенный анализ данных говорит о том, что в Симферопольском районе при интенсивном ведении сельского хозяйства внесение фосфорных удобрений весьма незначительно и недостаточно. Так, на участке № 4 содержание подвижного фосфора упало до критического значения (10 мг/кг). Если не увеличить применение фосфорных удобрений, то урожай зерновых составит не более 10–15 ц/га [30], что уже является не рентабельным. Следовательно, внесение фосфорных удобрений под однолетние культуры требуется на четырех из пяти участков, как и под многолетние культуры (участки № 7 и 8 виноградники). При содержании в почве подвижного фосфора менее 20,0 мг/кг наступает фосфорное голодание растений, в результате которого плохо усваивается растениями азот [28]. На контрольном участке содержание подвижных соединений фосфора повышенное и в 2024 году в сравнении с 2019 годом, наблюдается рост данного показателя с 37,0 до 38,5 мг/кг.

Калий относится к главным макроэлементам питания, но, в отличие от фосфора и азота, находится в растениях только в ионной форме [31]. Он стимулирует нормальное течение процессов фотосинтеза, повышает скорость усвоения азота, образование белка и снижает содержание нитратов в сельскохозяйственной продукции, усиливает азотофиксацию и способствует формированию клубеньков на

корнях бобовых культур. Играет важную роль в активации свыше шестидесяти ферментов и ферментативных систем, связанных с ростом растений. Этот элемент играет важную роль в процессах осмотической регуляции, поскольку способен быстро перемещаться между органами растений [32]. В итоге они становятся устойчивыми к переизбытку либо, наоборот, недостатку влаги, а также к перепадам температур. Данный элемент оптимизирует кислотно-щелочной баланс.

Дефицит этого элемента приводит к снижению ферментативной активности, нарушению углеводного и белкового обмена, увеличению расхода углеводов на дыхание. В результате уменьшается продуктивность растений и качество продукции. При недостатке калия сильно снижается устойчивость растений к различным заболеваниям и неблагоприятным климатическим условиям (к перепадам температур и засухе). Семена, образовавшиеся у растений в условиях калийного голодания, нередко теряют всхожесть. Избыток калия также негативно отражается на росте и развитии растений. Известно, что при избыточном содержании этого элемента в почве резко сокращается поглощение растением магния и кальция, а также микроэлементов [31].

Представляет значительный интерес проследить динамику распределения калия в почвах Симферопольского района, т.к. в прошлые периоды традиционно считалось, что калия природно много в плодородном слое почв из-за повышенного содержания глинистых фракций и поэтому его не вносили в крымские почвы [6, 7]. Сейчас следует пересмотреть это мнение, т.к. уровень содержания калия снижается и его уже следует вносить, чтобы не падала продуктивность выращиваемых культур. На рисунке 5 отражена динамика данных этого элемента на изучаемых пробных площадях.

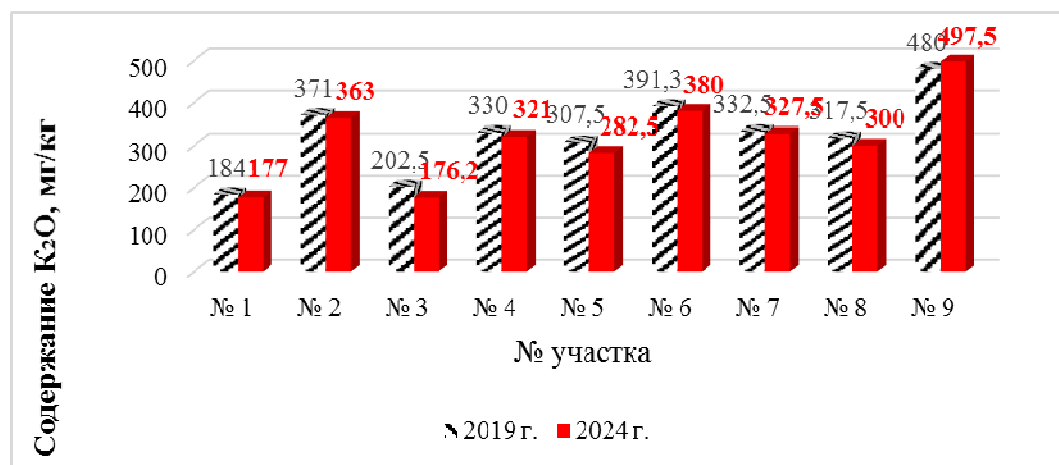


Рис. 5. Обеспеченность почв Симферопольского района подвижными соединениями калия в 2019 г. и 2024 г.

Примечание: Однолетние культуры: уч. № 1 – пшеница, уч. № 2 – пшеница; уч. № 3 – лен; уч. № 4 – ячмень; уч. № 5 – подсолнечник. Многолетние культуры: уч. № 6 – сад (черешня); уч. № 7 – виноград (винный сорт Алиготе), уч. № 8 – виноград (столовый сорт Кардинал). Участок № 9 – контроль (целинная типчаково-ковыльная степь).

В 2019 году на участке № 1 – содержание подвижных соединений калия было низким (184,0 мг/кг), на участке № 3 – среднее (202,5 мг/кг) и на шести участках – № 2, 4, 5, 6, 7, 8 – повышенное (от 307,5 до 391,3 мг/кг). На контрольном участке № 9 данный показатель был очень высоким – 480 мг/кг. В 2024 году уже на двух участках – № 1 и № 3 – содержание подвижного калия низкое (177,0 и 176,2 мг/кг соответственно); на двух участках: № 5 и № 8 – среднее (282,5 и 300,0 мг/кг соответственно) и только на четырех участках – № 2, 4, 6, 7 – повышенное (от 321,0 до 380,0 мг/кг). На контрольном участке содержание подвижных соединений калия по-прежнему очень высокое – 497,5 мг/кг. Таким образом, на всех участках, где выращиваются сельскохозяйственные культуры, наблюдается устойчивое снижение содержания подвижных форм калия, что объясняется выносом этого элемента растениями и невнесением удобрений, содержащих его.

Поэтому вопрос о необходимости внесения данных удобрений должен решаться в каждом конкретном случае, при этом должны рассматриваться не только показатели их содержания, но и учитываться виды выращиваемых культур. Например, на участке № 1, где выращивается озимая пшеница, уже давно требуется внесение калийных удобрений, т.к. данная культура отзывчива на их внесение. Содержание этого элемента в почве ниже 250 мг/кг ведёт к падению её урожайности. Напротив, на участке № 3, где выращивается лен, содержание подвижного калия также низкое (176,2 мг/кг), но при дальнейшем его выращивании можно не проводить внесение калийных удобрений, так как данная культура не требовательна к этому элементу питания, но при смене выращиваемых растений, внесение удобрений необходимо. Несмотря на то, что на участке № 5 среднее содержание подвижного калия – 282,5 мг/кг в 2024 году, также необходимо проводить внесение калийных удобрений, так как здесь выращивался подсолнечник, который является активным потребителем этого элемента питания и быстро забирает его для своего развития [32].

Таким образом, наблюдается устойчивое снижение содержания гумуса, подвижных соединений калия и фосфора, что объясняется недостаточностью внесения удобрений на фоне интенсивной эксплуатации земель. Кроме того, снижение плодородия почв связано с отказом от севооборотов и длительном выращивании одной культуры. На контрольном участке наблюдается рост агрохимических показателей плодородия.

Данные по содержанию азота мы не приводим, т.к. он легко вымывается с осадками и забирается с полей выращиваемыми растениями, отбор проб проходил осенью, поэтому показатели по азоту были бы не репрезентативны.

Проанализируем динамику изменения содержания в пахотных землях Симферопольского района основных микроэлементов – меди, кобальта, цинка, марганца. Большинство функций этих микроэлементов связано с их участием в ферментативных реакциях

Медь участвует в фотосинтезе, регулирует транспорт белков, а также повышает содержание в плодах азота и фосфора, защищает хлорофилл от разрушения. Содержание меди в растениях колеблется в среднем от 1 до 20 мг/кг сухого вещества [33, 34]. Медь необходима для деятельности ряда ферментов белкового обмена, таких

как нитритредуктаза, гипонитритредуктаза, протеаза и др. Она обеспечивает ассимиляцию нитратного азота и фиксацию азота атмосферы (рис. 6).

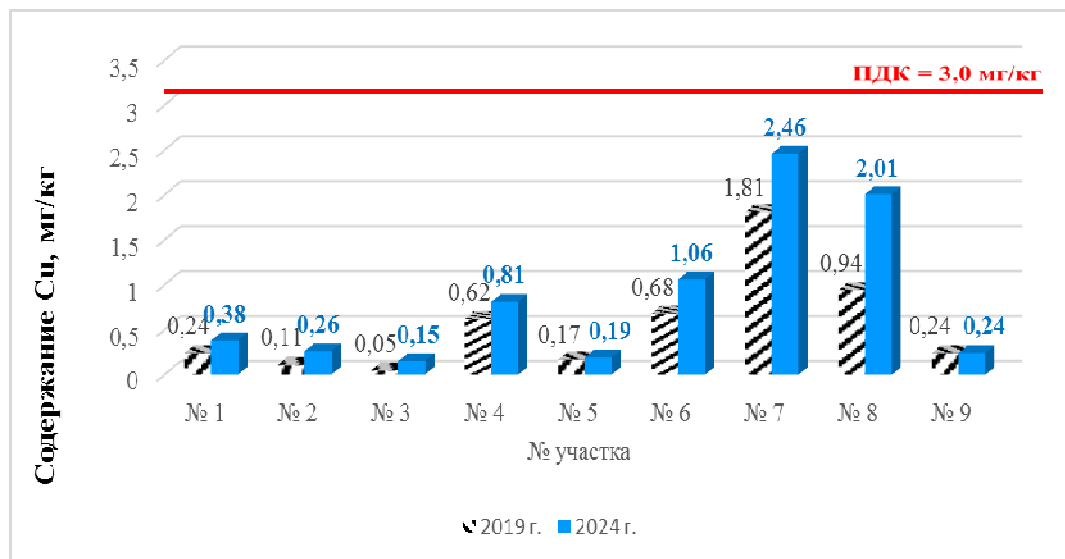


Рис. 6. Содержание подвижных форм меди в почвах Симферопольского района в 2019 г. и 2024 г.

Примечание: Однолетние культуры: уч. № 1 – пшеница, уч. № 2 – пшеница; уч. № 3 – лен; уч. № 4 – ячмень; уч. № 5 – подсолнечник. Многолетние культуры: уч. № 6 – сад (черешня); уч. № 7 – виноград (винный сорт Алиготе), уч. № 8 – виноград (столовый сорт Кардинал). Участок № 9 – контрольный (целинная типчаково-ковыльная степь).

Медь является единственным элементом, улучшающим рост растений в условиях аммиачного питания. Под влиянием Cu в растениях увеличивается содержание хлорофилла, активизируется образование белков и витаминов группы В. Она участвует в перераспределении углеводов [33]. При недостатке меди у растений задерживается рост и цветение, теряется тургор, наблюдаются хлороз и увядание.

Избыток этого элемента для растений является токсичным. Он приводит к повреждению тканей, сначала происходит замедление развития растения, а затем его гибель. Большое количество меди обычно подавляет рост корней.

На всех участках, где выращиваются сельскохозяйственные культуры, содержание меди с течением времени выросло, но следует отметить, что этот рост не одинаковый. На участках, где выращивались однолетние культуры, возрастание содержания меди составило 0,02–0,19 мг/кг за 5 лет. В почвах под виноградниками и плодовым садом рост содержания меди произошел значительно больше и составил 0,38 мг/кг на участке № 6, 0,65 мг/кг – на участке № 7 и 1,07 мг/кг – на участке № 8. Такой быстрый темп роста подвижной меди объясняется применением на этих участках медьсодержащих фунгицидов. Следует отметить, что на участке

№ 7 значение содержания меди приблизилось к предельному и, если темпы роста сохранятся, то в ближайшие 5 лет будет превышен порог токсичности для выращиваемой продукции.

Физиологическая роль кобальта связана с его участием в окислительно-восстановительных процессах, происходящих в клетках. Содержание кобальта в растениях находится в пределах от 0,02 до 11,5 мг/кг сухого вещества. Примерно половина его находится в ионной форме, около 20 % – в форме карбамидных соединений и в составе витамина В12, оставшиеся 30 % – в виде не идентифицированных стабильных органических соединений [33].

Он участвует в реакциях карбоксилирования, гидролиза пептидных связей и фосфорных эфиров, переноса фосфатных групп и в других реакциях, а также в фиксации атмосферного азота [34, 35]. Он активизирует процессы дыхания и фотосинтеза, способствуя образованию хлорофилла и замедляя его разрушение в темноте, способствует повышению содержания влаги в растениях. Данный микроэлемент отвечает за накопление алкалоидов и витаминов, за ускорение наступления фаз развития растения.

Рассмотрим динамику его распределения по учетным площадям (рис. 7).

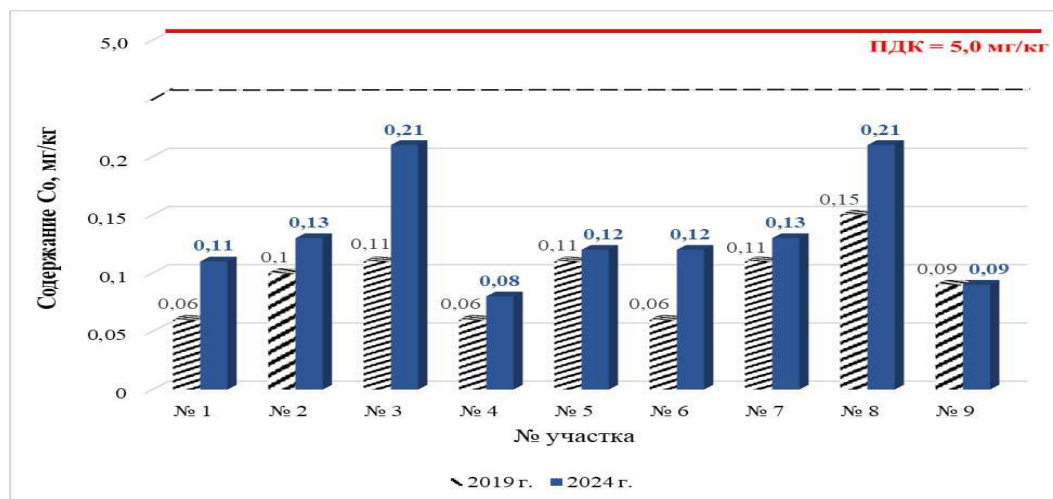


Рис. 7. Содержание подвижных форм кобальта в почвах Симферопольского района в 2019 г. и 2024 г.

Примечание: Однолетние культуры: уч. № 1 – пшеница, уч. № 2 – пшеница; уч. № 3 – лен; уч. № 4 – ячмень; уч. № 5 – подсолнечник. Многолетние культуры: уч. № 6 – сад (черешня); уч. № 7 – виноград (винный сорт Алиготе), уч. № 8 – виноград (столовый сорт Кардинал). Участок № 9 – контрольный (целинная типчаково-ковыльная степь).

Недостаток кобальта отражается на процессе N_2 -фиксации, возможны нарушения в азотном метаболизме растений, может снижаться содержание в листьях хлорофилла, каротиноидов, витамина Е [36]. На фоне избытка Со наблюдается дефицит железа, что приводит к хлорозу растений. При высоких

концентрациях кобальта в почве происходит ингибирование и гибель растения [37, 38]. На всех обрабатываемых участках в 2024 году в сравнении с 2019 г. наблюдается рост содержания подвижного кобальта, но он незначителен – от 0,01мг/кг на участке № 5 до 0,1мг/кг на участке № 3. Это связано с применением удобрений, преимущественно фосфорных.

Цинк играет важную роль в ферментативных процессах и регуляции синтеза фитогормонов, влияющих на рост (рисунок 8). Таким образом, этот элемент играет большую роль в углеводном, фосфорном и белковом обмене [39]. Структурную функцию цинк выполняет в алкогольдегидрогеназе и Zn-белках, включенных в ДНК. Каталитическую функцию рассматриваемый микроэлемент выполняет в ферменте карбон-гидраза, которая участвует в процессе фотосинтеза. Так как цинк является структурным компонентом рибосом, то он тесно связан с белковым синтезом.

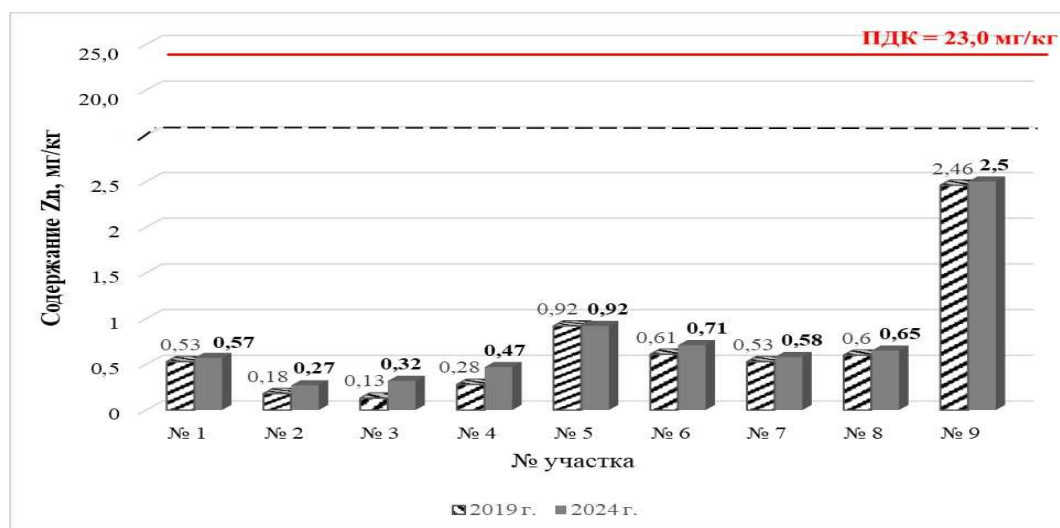


Рис. 8. Содержание подвижных форм цинка в почвах Симферопольского района в 2019 и 2024 годах.

Примечание: Однолетние культуры: уч. № 1 – пшеница, уч. № 2 – пшеница; уч. № 3 – лен; уч. № 4 – ячмень; уч. № 5 – подсолнечник. Многолетние культуры: уч. № 6 – сад (черешня); уч. № 7 – виноград (винный сорт Алиготе), уч. № 8 – виноград (столовый сорт Кардинал). Участок № 9 – контрольный (целинная типчаково-ковыльная степь).

Под влиянием цинка улучшается синтез сахаров и крахмала, увеличивается общее содержание углеводов, белковых веществ, аскорбиновой кислоты и хлорофилла, повышается засухоустойчивость, жаро- и холодостойкость растений. Кроме того, Zn влияет на проницаемость мембран [40], повышает устойчивость растений к грибковым и бактериальным заболеваниям. Он также влияет на скорость поступления калия в клетки растений.

При недостатке цинка в почвах у растений наблюдается задержка роста междоузлий, замедляется образование сахарозы, крахмала и ауксинов, нарушается процесс синтеза белков и фотосинтез, в них накапливаются небелковые соединения.

С другой стороны, цинк нарушает фотосинтетическую активность, устьичную проводимость и множество других жизненно важных метаболических функций у растений. Избыток рассматриваемого элемента замедляет их развитие и снижает структурную устойчивость, способствует хлорозу листьев. Высокие концентрации цинка вызывают окислительные повреждения, стимулируя образование активных форм кислорода, которые приводят к перекисному окислению липидов мембран и в тяжелых случаях происходит гибель растения [38].

Содержание подвижного цинка в почвах сельскохозяйственных угодий значительно ниже, чем в почве контрольного участка. Это объясняется тем, что происходит вынос цинка возделываемыми культурами. Данный элемент входит в виде добавок удобрений, за счет чего стараются восполнить его недостаток. Так как вынос разными видами растениями колеблется в больших пределах, а вносится разное количество удобрений, то наблюдается различная динамика его содержания. Так в период с 2019 г. по 2024 г. в почве участков, где выращиваются однолетние культуры, минимальный рост содержания цинка составил 0,04 мг/кг (участок № 1), максимальный – 0,19 (участках № 3 и № 4), в то время как на участках с многолетними культурами рост составил от 0,05 до 0,1 мг/кг. Это связано, во-первых, с тем, что под многолетники, как правило вносят отдельно удобрения, содержащие микроэлементы, а под однолетние культуры микроэлементы вносятся только в качестве добавок, содержащихся в удобрениях с основными элементами питания. Во-вторых, вынос подвижного цинка однолетними культурами больше в сравнении с плодовыми растениями [39].

Марганец (Mn) играет важную роль в катализаторах в качестве активатора и кофактора. Известно более 35 ферментов и ферментативных систем, активируемых Mn [38]. Марганец способен замещать в других ферментах магний и регулировать отношение Fe^{2+}/Fe^{3+} , тем самым влияя на окислительные процессы, совершающиеся с помощью железа [40]. Этот элемент играет важную роль в дыхании, которая обусловлена его каталитическим действием в сочетании с пероксидазной системой растений. Рассматриваемый элемент связан с обменом белка через регулирование активности ДНК- и РНК-полимера [41]. Способствует марганец увеличению содержания сахаров и их оттоку из листьев; важен для синтеза витаминов С, В, Е.

Дефицит марганца сказывается на многих процессах обмена веществ, снижается синтез углеводов и протеинов, уменьшается содержание хлорофилла. Следует отметить, что при любой степени недостаточности марганца в растениях угнетаются только те реакции фотосинтеза, которые связаны с образованием кислорода. При дефиците марганца отмечается слабое развитие корневой системы [42, 43].

Избыток данного элемента задерживает поступление железа в растения, при этом нарушается нормальное соотношение Fe/Mn , уменьшается содержание хлорофилла и вызывает депрессию в нуклеиновом обмене [41].

На рисунке 9 отражена разногодичная динамика содержания марганца на участках в Симферопольском районе, которая демонстрирует значительный диапазон его колебаний от 8,85 мг/кг до 31,32 мг/кг в 2019 г. и от 5,15 мг/кг до 31,46 мг/кг в 2024 г.

Четкой зависимости в изменении содержания его в почвах не выявлено. Марганец – легко подвижный элемент, хорошо усваивается растениями, именно этим и объясняется более высокое содержание данного микроэлемента в почве контрольного участка в сравнении с обрабатываемыми агроценозами.

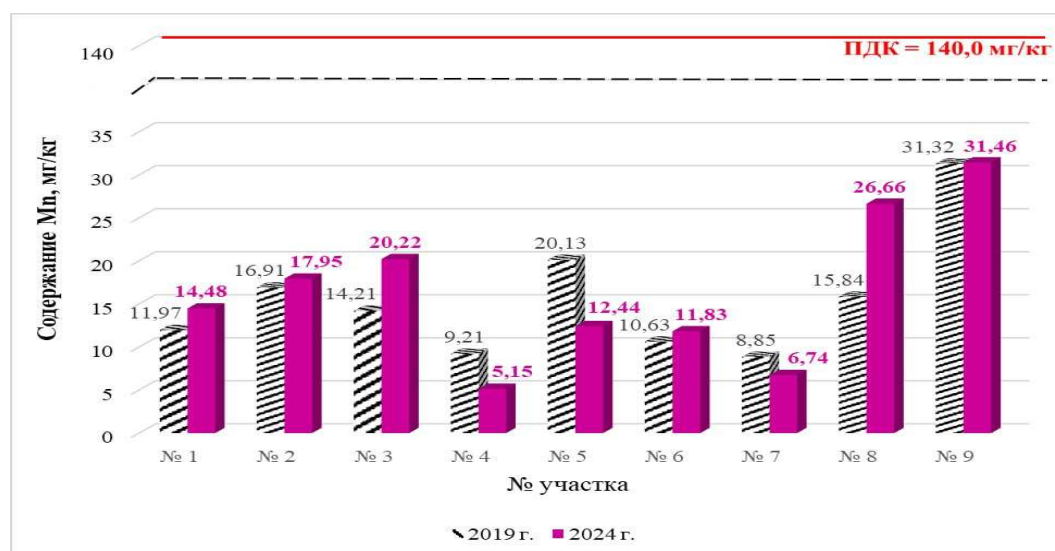


Рис. 9. Содержание подвижных форм марганца в почвах Симферопольского района в 2019 и 2024 годах.

Примечание: Однолетние культуры: уч. № 1 – пшеница, уч. № 2 – пшеница; уч. № 3 – лен; уч. № 4 – ячмень; уч. № 5 – подсолнечник. Многолетние культуры: уч. № 6 – сад (черешня); уч. № 7 – виноград (винный сорт Алиготе), уч. № 8 – виноград (столовый сорт Кардинал). Участок № 9 – контрольный (целинная типчаково-ковыльная степь).

Таким образом, на всех обрабатываемых участках за пятилетний период наблюдается устойчивый рост содержания микроэлементов. Стоит отметить, что в сравнении с пахотными землями целинная почва характеризовалась большим содержанием только марганца и цинка – 31,46 мг/кг и 2,50 мг/кг в 2024 году соответственно. Иная ситуация с кобальтом и медью, содержание которых было выше в обрабатываемых почвах.

Среди целого ряда тяжелых металлов, кадмий и свинец являются приоритетными (относятся к первому классу опасности), так как поступаая в растения из почвы, а затем в организм человека и животных, не просто там накапливаются, а вызывают отравление, приводящее к тяжелым последствиям.

Следует выделить 2 основных источника поступления кадмия в почвы сельскохозяйственных угодий: минеральные удобрения, как правило, фосфорные (в особенности суперфосфат, в который Cd входит в качестве микродобавок) и отходы животноводства (в навозе в среднем содержится на кг сухой массы до 0,2 мг кадмия). В число необходимых растениям элементов кадмий не входит, но эффективно может поглощаться корневой системой и листьями. Из почвы он усваивается в форме свободного иона Cd^{2+} , находящегося в почвенном растворе. Поступление этого элемента в растения усиливается при низком pH, повышенной солености, низком содержании гумуса и глинистых веществ, цинка, оксидов железа и марганца, присутствии ионов аммония и высокой температуры [44].

Рассмотрим динамику его накопления в сравнении за 2019 и 2024 гг. по участкам (рис. 10).

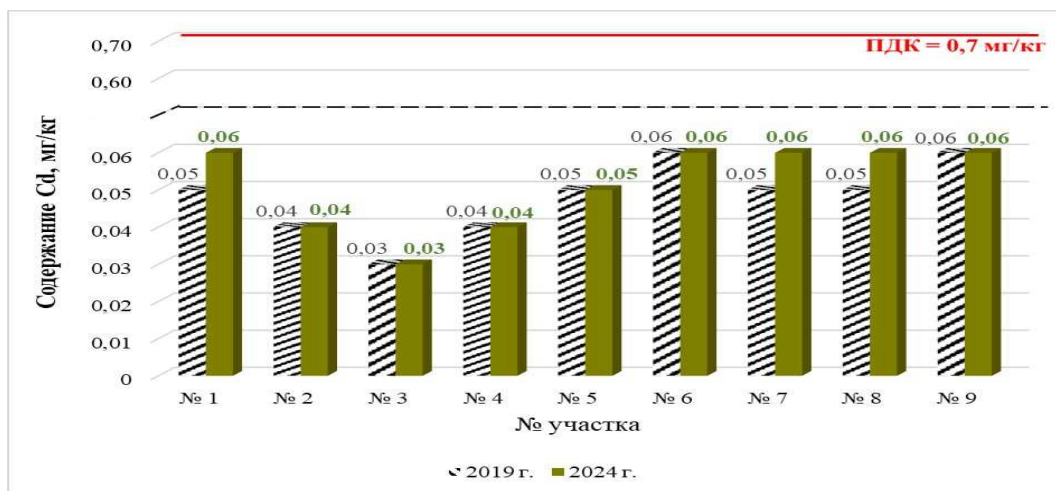


Рис. 10. Содержание подвижного кадмия в почвах Симферопольского района в 2019 и 2024 годах.

Примечание: Однолетние культуры: уч. № 1 – пшеница, уч. № 2 – пшеница; уч. № 3 – лен; уч. № 4 – ячмень; уч. № 5 – подсолнечник. Многолетние культуры: уч. № 6 – сад (черешня); уч. № 7 – виноград (винный сорт Алиготе), уч. № 8 – виноград (столовый сорт Кардинал). Участок № 9 – контрольный (целинная типчаково-ковыльная степь).

Кадмий в настоящее время считается одним из самых вредных тяжелых металлов, так как он, во-первых, является одним из наиболее подвижных тяжелых металлов (он активно поглощается растениями, довольно быстро транспортируется в их надземные части, в том числе, в плоды и семена), во-вторых, любое заметное увеличение его содержания в продуктах и кормах приводит к накоплению этого элемента в организме человека. Накапливаясь в нем, кадмий оказывает токсическое действие на почки, костную и дыхательную системы [45].

В растениях кадмий нарушает процессы фотосинтеза и транспирации, изменяет активность ферментов, подавляет синтез белков и нуклеиновых кислот, фиксацию

углекислого газа, а также затрудняет поглощение важных элементов, таких как фосфор, калий, кальций, магний, железо, медь, цинк, марганец, вызывая угнетение роста и хлороз листьев, негативно влияет на образование репродуктивных органов, тормозят прорастания семян [44].

Содержание кадмия на всех обследуемых участках, как обрабатываемых, так и контрольном, невысокое (0,03–0,06 мг/кг), значительно ниже порога токсичности (0,7 мг/кг), поэтому по данному элементу почвы Симферопольского района относительно безопасны, хотя тенденция увеличения его содержания за изученные годы четко прослеживается.

Свинец является одним из наиболее токсичных металлов. Содержание этого элемента в проанализированных пробах незначительное, но при этом наблюдается его стабильный рост (рис. 11).

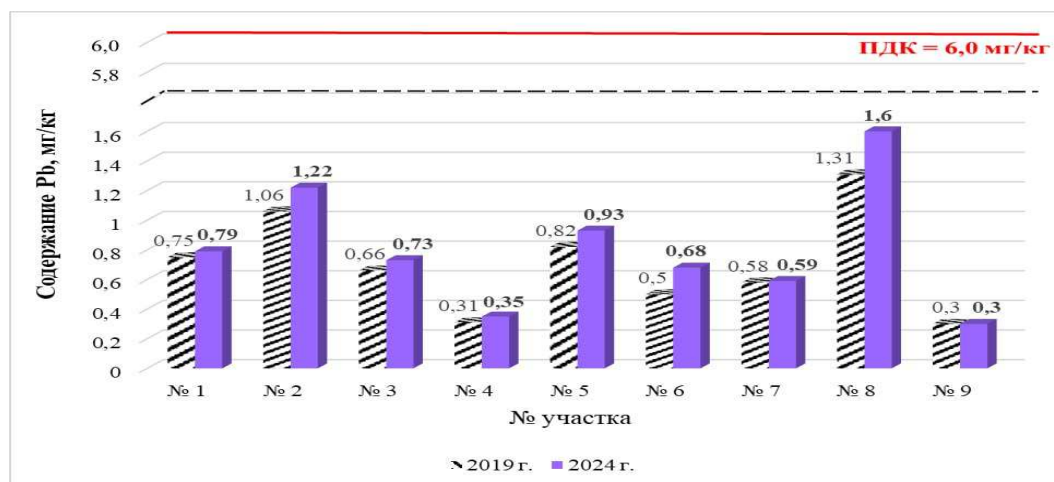


Рис. 11. Содержание подвижного свинца в почвах Симферопольского района в 2019 и 2024 годах.

Примечание: Однолетние культуры: уч. № 1 – пшеница, уч. № 2 – пшеница; уч. № 3 – лен; уч. № 4 – ячмень; уч. № 5 – подсолнечник. Многолетние культуры: уч. № 6 – сад (черешня); уч. № 7 – виноград (винный сорт Алиготе), уч. № 8 – виноград (столовый сорт Кардинал). Участок № 9 – контрольный (целинная типчаково-ковыльная степь).

Среди механизмов влияния на физиологические процессы можно выделить конкурентное вытеснение ионов некоторых металлов, участвующих в минеральном обмене растений – железа, марганца, цинка. Этот элемент также снижает доступность фосфора, калия и кальция [33].

Свинец оказывает существенное ингибирующее воздействие на многие ферменты, играющих ключевую роль в базовых метаболических процессах, включая фотосинтез, гликолиз, фосфорилирование. Также негативное влияние свинца на ферментативную активность обусловлено взаимодействием ионов металла с SH-группами белков, что приводит к их дезактивации. Этот тяжелый

металл может взаимодействовать с ДНК, нарушая ее нормальное функционирование [44].

Так, на участке № 6 увеличение составило 0,18 мг/кг; на участке № 8 – 0,29 мг/кг; на участке № 2 – 0,16 мг/кг; на участке № 5 – 0,11 мг/кг. На остальных – рост содержания свинца в верхнем почвенном горизонте колеблется от 0,01 до 0,07 мг/кг. Содержание свинца на контрольном участке самое низкое и равно 0,3 мг/кг. Содержание его варьируется от 0,35 мг/кг до 1,60 мг/кг при ПДК 6,0 мг/кг, при этом наблюдается стабильный рост. На тех участках (№ 2 и № 8), которые находятся в непосредственной близости от автодорог, рост содержания свинца значительнее.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты комплексных исследований по современному агроэкологическому состоянию пахотных почв Симферопольского района в предгорном Крыму позволяет сделать ряд выводов:

1. На всех участках, где выращиваются сельскохозяйственные культуры, наблюдается устойчивое снижение содержания гумуса, подвижных соединений калия и фосфора. Основная причина – недостаточное внесение удобрений на фоне интенсивной эксплуатации земель. Снижение плодородия почв так же связано с отказом от севооборотов и длительном выращивании монокультур на одной территории, особенно в фермерских хозяйствах.
2. Рекомендуются увеличить дозы внесения фосфорных и органических удобрений. Для поддержания имеющегося уровня содержания гумуса рекомендуется проводить внесение органических удобрений из расчета 10 т/га. Актуальным становится внесение калийных удобрений, что не проводилось ранее. Вопрос о необходимости и дозах внесения этих удобрений должен решаться в каждом конкретном случае с учетом не только показателей содержания, но и вида выращиваемых культур.
3. На всех обрабатываемых участках за пятилетний период наблюдается устойчивый рост содержания основных микроэлементов – меди, кобальта, цинка и марганца. Причем на участках под многолетними насаждениями рост содержания меди произошел значительно выше, что объясняется применением на них медьсодержащих фунгицидов. Для предотвращения накопления меди следует отказаться от их использования, заменив на железный купорос, препараты, содержащие серу и др. В сравнении с пахотными землями контрольный участок характеризовался большим содержанием только марганца и цинка – 31,46 мг/кг и 2,50 мг/кг в 2024 году соответственно.
4. Содержание кадмия на всех обследуемых участках, как обрабатываемых, так и контрольном, невысокое (0,03–0,06 мг/кг), значительно ниже порога токсичности (0,7 мг/кг) и практически не меняется. Показатели свинца варьируется от 0,35 мг/кг до 1,60 мг/кг при ПДК 6,0 мг/кг, при этом наблюдается стабильный рост. На тех участках, которые находятся в непосредственной близости от автодорог, рост содержания свинца значительнее.

Список литературы

1. Ергина Е. И. Исследования процессов почвообразования и деградации почв Крыма (историко-географический обзор) / Е. И. Ергина, Е. А. Артемова // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2024. – Том 10 (76), № 1. – С. 52–64.
2. Ена В. Г. Открыватели земли Крымской / В. Г. Ена, Ал. В. Ена, Ан. В. Ена. – Симферополь: Бизнес-Информ, 2007. – 520 с.
3. Докучаев В. В. Русский чернозём / В. В. Докучаев. – М.-Л.: АН СССР, 1948. – Т. 1. – 480 с.
4. Клепинин Н. Н. Почвы Крыма / Н. Н. Клепинин. – Симферополь: Крымиздат, 1935. – 123 с.
5. Кочкин М. А. Почвы, леса и климат горного Крыма и пути их рационального использования. Основы рационального использования почвенно-климатических условий в земледелии / М. А. Кочкин. – М.: Колос, 1972. – 303 с.
6. Половицкий И. Я. Почвы Крыма и повышение их плодородия / И. Я. Половицкий, П. Г. Гусев. – Симферополь: Таврия, 1987. – 152 с.
7. Драган Н. А. Почвенные ресурсы Крыма / Н. А. Драган. – Симферополь: Доля, 2004. – 208 с.
8. Российская Федерация. Законы. Об охране окружающей среды: почвы. Федеральный закон № 7-ФЗ: [принят Государственной думой 20 декабря 2001 года; одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 года]. // Собрание законодательств РФ, 2002. – № 2. – Ст. 133.
9. Российская Федерация. Законы. О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения: Федеральный закон № 101-ФЗ: [принят Государственной думой 3 июля 1998 года; одобрен Советом Федерации 9 июля 1998 года]. // Собрание законодательств РФ, 1998. – № 29. – Ст. 3399.
10. Российская Федерация. Законы. О развитии сельского хозяйства: Федеральный закон № 264-ФЗ: [принят Государственной думой 22 декабря 2006 года; одобрен Советом Федерации 27 декабря 2006 года]. // Собрание законодательств РФ, 2007. – № 51. – Ст. 27.
11. Российская Федерация. Законы. Об обороте земель сельскохозяйственного назначения: Федеральный закон № 101-ФЗ: [принят Государственной думой 26 июня 2002 года; одобрен Советом Федерации 07 июля 2002 года]. // Собрание законодательств РФ, 2002. – № 30. – Ст. 3018.
12. Закон Республики Крым: Об особо ценных продуктивных сельскохозяйственных угодьях на территории Республики Крым. Принят 30 октября 2020 года. № 123-ЗРК/2020. Симферополь.: URL: <https://file:///C:/Users/poisk/Downloads/123%D0%97%D0%A0%D0%9A%20%20%2030102020.pdf>
13. Макаров В. И. Агроэкологическая оценка земель / В. И. Макаров. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2015. – 104 с.
14. Шакиров В. З. Динамика содержания и баланс гумуса в почвах Республики Татарстан / В. З. Шакиров, С. Ш. Нуриев, А. А. Лукманов // Агрохимический вестник. – 2006. – № 3. – С. 1–6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-soderzhaniya-i-balans-gumusa-v-pochvah-respubliki-tatarstan>
15. Социально-экономический паспорт Симферопольского района по состоянию на 01.04.2024 // Правительство Республики Крым: официальный сайт. Дата публикации: 13.05.2024. URL: <https://simfmo.rk.gov.ru>.
16. Иванченко В. И. Оценка почвенных показателей Симферопольского района для многоцелевого производства винограда / В. И. Иванченко, Е. А. Рыбалко, Н. В. Баранова и др. // Русский виноград. – 2019. – Т. 10. – С. 156–166.
17. Коба В. П. Почвенное плодородие и урожайность зерновых и зернобобовых культур в Крыму / В. П. Коба, Т. М. Сахно // АгроЭкоИнфо. – 2020. – № 2. – URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/2/st_216pdf.
18. Водные ресурсы – основа устойчивого развития Крыма: коллективная монография / Под редакцией В. С. Паштецкого. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2022. – 216 с.
19. Ведь И. П. Климатический атлас Крыма / И. П. Ведь // Приложение к научно-практическому дискуссионно-аналитическому сборнику «Вопросы развития Крыма». – Симферополь: Таврия-Плюс, 2000. – 120 с.
20. Потанин Д. В. Агроклиматический атлас Республики Крым / Д. В. Потанин, М. И. Иванова, В. Я. Даниленко – Симферополь: Полипринт, 2023. – 306 с.

21. ГОСТ 26213-2021. Почвы. Методы определения органического вещества / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Москва: Российский институт стандартизации, 2021. – 8 с.
22. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки. – Москва: Стандартинформ, 2011. – 5 с.
23. ГОСТ 26205-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО / Комитет стандартизации и метрологии СССР. Москва: Стандарты, 1992. – С. 8–10.
24. РД 52.18289-90 МУ. Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом / Государственный комитет СССР по гидрометеорологии. Москва: Государственный комитет СССР по гидрометеорологии, 1990. – С. 11–25.
25. Сычёв В. Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования: монография / В. Г. Сычёв. – Москва: РАН, 2019. – 328 с.
26. Морина О. М. Почвоведение / О. М. Морина, А. М. Дербенёва, В. А. Морин. – Хабаровск: ТОГУ, 2013. – 370 с.
27. Соколова Т. А. Почвенная кислотность. Кислотно-основная буферность почв. Соединения алюминия в твердой фазе почвы и в почвенном растворе / Т. А. Соколова, И. И. Толпешта, С. Я. Трофимов. – Тула: Гриф и К, 2012. – 124 с.
28. Алимкулов С. О. Биологическая роль фосфора в жизни растений / С. О. Алимкулов, Д. К. Мурадова // Молодой ученый. – 2015. – № 10 (90). – С. 44–47. URL: <https://moluch.ru/archive/90/18916/>
29. Самсонова Н. Е. Основы минерального питания растений и технологии применения удобрений / Н. Е. Самсонова. – Смоленск: ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА, 2021. – 256 с.
30. Сычевский М. Е. Тридцатипятилетняя динамика содержания подвижных фосфатов в почвах Крыма в связи с применением удобрений / М. Е. Сычевский, А. Л. Винник, В. И. Косулина // Научные труды ЮФ НУБиП Украины «Крымский агротехнологический университет». – 2006. – Вып. 96. – С. 70–74.
31. Минеральные элементы в кормах и методы их анализа: монография / В. М. Косолапов, В. А. Чуйков, Х. К. Худяков, В. Г. Косолапова. – Москва: ООО «Угрешская типография», 2019. – 272 с.
32. Журова В. Г. Изучение влияния ионов калия, кальция и магния на рост и развитие растений / В. Г. Журова, М. С. Светличная // Достижения науки и образования. – 2018. – № 14(36). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-vliyaniya-ionov-kaliya-kaltsiya-i-magniya-na-rost-i-razvitiye-rasteniy>.
33. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пандиас – Москва: МИР, 1989. – 439 с.
34. Ёрова Б. С. Роль микроэлементов в жизни растений: авторское исследование / Б. С. Ёрова, Г. М. Бекова // Вестник науки. – 2024. – № 2(71). – С. 693–697. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-mikroelementov-v-zhizni-rasteniy-avtorskoe-issledovanie>.
35. Ягодин Б. А. Кобальт в жизни растений / Б. А. Ягодин. – Москва: Наука, 1970. – 344 с.
36. Chatzistatis T. Physiological importance of manganese, cobalt and nickel and the improvement of their uptake and utilization by plants / T. Chatzistatis // Plant Micronutrient Use Efficiency. – Amsterdam: Elsevier, 2018. – Chapter 7. – P. 123–135.
37. Hu X. Cobalt: an essential micronutrient for plant growth? / X. Hu, X. Wei, J. Ling, J. Chen // Frontiers in plant science. – 2021. – Vol. 12. – Article 768.
38. Битюцкий Н. П. Микроэлементы высших растений / Н. П. Битюцкий. – СПб: СПб. Гос. Ун-т. – 1999. – 232 с.
39. Иванищев В. В. Цинк в природе и его значение для растений / В. В. Иванищев // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2022. – № 2. – С. 35–49. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsink-v-prirode-i-ego-znachenie-dlya-rasteniy>
40. Mousavi S. R. Zinc (Zn) importance for crop production / S. R. Mousavi, M. Galavi, M. Rezaei // International journal of Agronomy and Plant Production. – 2013. – № 4 (1). – P. 64–68.
41. Schmidt S. B. The biochemical properties of manganese in plants / S. B. Schmidt, S. Husted // Plants. – 2019. – Vol. 8, № 10. – P. 381–395.
42. Рогачева С. М. Влияние растворимых соединений марганца на высшие растения и оценка фитоэкстракционной способности растений / С. М. Рогачева, А. Ф. Каменец, Н. А. Шилова //

- Известия Самарского научного центра РАН. – 2016. – № 53. – С. 484–488. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-rastvorimyh-soedineniy-margantsa-na-vysshie-rasteniya-i-otsenka-fitoekstraktsionnoy-sposobnosti-rastenyi>
43. Alejandro S. Manganese in Plants: From Acquisition to Subcellular Allocation / S. Alejandro, B. Höller, E. Meier [et.al] // *Frontiers in plant science*. – 2020. – Vol. 11. – Article 30.
 44. Медведев И. Ф. Тяжелые металлы в экосистемах / И. Ф. Медведев, С. С. Деревягин. – Саратов: Ракурс, 2017. – 178 с.
 45. Фазлыева А. С. Влияние кадмия на здоровье населения и способы профилактики его токсических эффектов / А. С. Фазлыева, Р. А. Даукаев, Д. О. Каримов // *Медицина труда и экология человека*. – 2022. – № 1. – С. 220–235. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-kadmiya-na-zdorovie-naseleniya-i-sposoby-profilaktiki-ego-toksicheskikh-effektov>

THE CURRENT AGROECOLOGICAL STATE OF ARABLE LAND IN THE FROSTY PART OF THE CRIMEA, TAKING INTO ACCOUNT THE CROPS GRAINED

Kobechinskaya V. G., Beneskriptob A. B.

*Institute of Biochemical Technologies, Ecology and Pharmacy (structural unit) of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky, Simferopol, Republic of Crimea, Russia
E-mail: valekohome@mail.ru*

The agroecological state of soils is a set of indicators that allow us to assess the suitability of land plots for growing crops and producing plant-based products of a certain quality. In the foothill zone of Crimea, in general, there is a general trend of deterioration of soil fertility in agricultural lands. The data obtained at the end of the last century, when a comprehensive survey of the state of the soil cover was conducted, are outdated.

The research was conducted in the Simferopol district of the Republic of Crimea. Unfortunately, there is a clear violation of agricultural practices in the use of arable land, with a complete abandonment of crop rotation and the prolonged cultivation of the same crops, especially in farms. In 2024, 324 hectares were surveyed, and 35 combined samples were collected and compared with archival data from 2019.

A total of 9 plots were selected: 5 of them were used for annual crops (winter wheat, flax, winter barley and sunflower), 3 plots were used for perennial crops (fruit trees – sweet cherry, wine grape variety Aligote and table grape variety Cardinal), and the control plot was a virgin steppe. The selected samples were analyzed for humus content, soil solution pH, mobile phosphorus and exchangeable potassium content, trace elements (copper, cobalt, zinc and manganese) and heavy metals (lead and cadmium).

In the Simferopol region, with intensive agriculture, the application of phosphorus fertilizers is very insignificant and insufficient. So, at site No. 4, the content of mobile phosphorus dropped to a critical value (10 mg/kg). If the use of phosphorous fertilizers is not increased, the grain harvest will not exceed 10–15 kg/ha, which is no longer profitable. In previous periods, it was traditionally believed that there was a natural abundance of potassium in the fertile layer of soil due to the high content of clay fractions, so it was not added to the Crimean soils. However, in recent years, there has been a steady decrease in

the content of mobile forms of potassium in all areas where agricultural crops are grown, which is attributed to the removal of this element by plants. Therefore, the need for potassium fertilizers should be determined on a case-by-case basis, taking into account not only the content of potassium, but also the types of crops being grown.

In all the plots, the copper content increased over time, but it should be noted that the increase was not uniform. In the plots where annual crops were grown, the increase in copper content was 0.02 to 0.19 mg/kg over a period of 5 years. In the soils under vineyards and orchards, the increase in copper content was significantly higher due to the use of copper-containing fungicides.

In 2024, compared to 2019, there was an increase in the content of mobile cobalt in all the cultivated areas, but it was insignificant, ranging from 0.01 mg/kg in area 5 to 0.1 mg/kg in area 3. This is due to the use of fertilizers, primarily phosphorus-based fertilizers. The content of mobile zinc in the soils of agricultural areas is significantly lower than in the soil of the control area. This is because zinc is removed by the cultivated crops. This element is added to fertilizers, which helps to compensate for its deficiency. Since the amount of this element varies greatly among different plant species, and different amounts of fertilizers are applied, the amount of this element varies accordingly. For perennial crops, fertilizers containing micronutrients are usually applied separately, while for annual crops, micronutrients are applied only as additives to fertilizers containing the main nutrients. Therefore, annual crops tend to extract more mobile zinc than fruit plants.

Manganese is a highly mobile element that is easily absorbed by plants, which explains the higher content of this micronutrient in the soil of the control plot compared to the cultivated agrocenoses. The annual dynamics of manganese content in the plots in the Simferopol region show a significant range of fluctuations, but no clear correlation has been found between the changes in manganese content in the soils of the plots.

Among a number of heavy metals, cadmium and lead are the most important, as they belong to the first hazard class. Cadmium is not an essential element for plants, but it can be effectively absorbed by the root system and leaves. The cadmium content in all the surveyed areas, both the cultivated and the control area, is low (0.03–0.06 mg/kg), significantly below the toxicity threshold (0.7 mg/kg), so the soils of the Simferopol region are relatively safe in terms of this element, although there is a clear trend of increasing its content over the years studied.

Lead has a significant inhibitory effect on many enzymes that play a key role in basic metabolic processes. In plots 2, 5, 6, and 8, the increase in lead compared to 2019 ranged from 0.11 mg/kg to 0.29 mg/kg, while in the remaining plots, the increase ranged from 0.01 mg/kg to 0.07 mg/kg. The increase in lead in the soil is more significant in areas located near highways.

Based on the data obtained, we recommend increasing the doses of phosphorus and organic fertilizers. The application of potassium fertilizers, which was not previously carried out, has become relevant. The need for and doses of these fertilizers should be determined on a case-by-case basis, taking into account not only the content levels, but also the type of crops being grown.

Keywords: agroecological conditions, arable land, agrochemical indicators, deterioration of fertility, the foothill regions of Crimea.

References

1. Ergina E. I., Artemova E. I. Research on the Processes of Soil Formation and Soil Degradation in the Crimea (Historical and Geographical Review), *Scientific Notes of the Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology*, **10 (76)**, 1, 52 (2024).
2. Yena V. G., Yena Al. V., Yena An. V. *Discoverers of the Crimean Land*, 520 (Simferopol: Business-Inform, 2007).
3. Dokuchaev V. V. *Russian Chernozem*, **1**, 480 (Moscow-Leningrad: USSR Academy of Sciences, 1948).
4. Klepinin N. N. *Soils of the Crimea*, 123 (Simferopol: Krymizdat, 1935).
5. Kochkin M. A. *Soils, forests, and climate of the mountainous Crimea and ways of their rational use. Fundamentals of rational use of soil and climatic conditions in agriculture*, 303 (Moscow: Kolos, 1972).
6. Polovitsky I. Y., Gusev P. G. *Soils of the Crimea and Increasing Their Fertility*, 152 (Simferopol: Tavriya, 1987).
7. Dragan N. A. *Soil Resources of Crimea*, 208 (Simferopol: Dolya, 2004).
8. Russian Federation. Laws. *On Environmental Protection: Soil*. Federal Law No. 7-FZ: [adopted by the State Duma on December 20, 2001; approved by the Federation Council on December 26, 2001]. **2**, **133** (Collection of Laws of the Russian Federation, 2002).
9. Russian Federation. Laws. *On State Regulation of Ensuring the Fertility of Agricultural Land*: Federal Law No. 101-FZ: [adopted by the State Duma on July 3, 1998; approved by the Federation Council on July 9, 1998]. **29**, **3399** (Collection of Laws of the Russian Federation, 1998).
10. Russian Federation. Laws. *On the Development of Agriculture*: Federal Law No. 264-FZ: [adopted by the State Duma on December 22, 2006; approved by the Federation Council on December 27, 2006]. **51**, **27** (Collection of Laws of the Russian Federation, 2007).
11. Russian Federation. Laws. *On the circulation of agricultural land*: Federal Law No. 101-FZ: [adopted by the State Duma on June 26, 2002; approved by the Federation Council on July 7, 2002], **30**, **3018** (Collection of Laws of the Russian Federation, 2002).
12. Law of the Republic of Crimea: *On Particularly Valuable Productive Agricultural Land in the Republic of Crimea*. Adopted on October 30, 2020. **123-ZRK** (Simferopol, 2020). URL: <https://file:///C:/Users/poisk/Downloads/123%D0%97%D0%A0%D0%9A%20%20%2030102020.pdf>
13. Makarov V. I. *Agroecological Assessment of Lands*, 104 (Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2015).
14. Shakirov V. Z., Nuriev V. Z., Lukmanov A. N. Dynamics of humus content and balance in soils of the Republic of Tatarstan, *Agrochemical Bulletin*. **3**, 6 (2006). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-soderzhaniya-i-balans-gumusa-v-pochvah-respubliki-tatarstan>
15. *Social and economic passport of the Simferopol District as of 01.04.2024*. Government of the Republic of Crimea: official website (13.05.2024). URL: <https://simfmo.rk.gov.ru>
16. Ivanchenko V. I., Rybalko E. A., Baranova N. V., et. al. Assessment of Soil Indicators in the Simferopol Region for Multipurpose Grape Production, *Russian Grapes*, **10**, 156 (2019).
17. Koba V. P., Sakhno T. M. Soil Fertility and Yield of Grain and Legume Crops in Crimea, *AgroEcoInfo*, **2** (2020).
18. *Water Resources as the Basis for Sustainable Development in Crimea*: A Collective Monograph / Edited by V. S. Pashtetsky, 216 (Simferopol: IT "ARIAL", 2022).
19. Ved I. P. Klimaticheskii Atlas of the Crimea. Appendix to the scientific and practical discussion and analytical collection "*Issues of the Crimea's Development*", 120 (Simferopol: Tavriya-Plus, 2000).
20. Potanin D. V., Ivanova M. I., Danilenko V. Y. *Agroclimatic Atlas of the Republic of Crimea*, 306 (Simferopol: Poliprint, 2023).
21. GOST 26213-2021. *Soils. Methods for Determining Organic Matter* / Interstate Council for Standardization, Metrology, and Certification. 8 (Moscow: Russian Institute of Standardization, 2021).
22. GOST 26423-85. *Soils. Methods for Determining Specific Electrical Conductivity, pH, and Dense Residue of an Aqueous Extract*, 5 (Moscow: Standartinform, 2011).
23. GOST 26205-91. *Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by the Machigin method in the modification of TsINAO* / USSR Committee for Standardization and Metrology, 8 (Moscow: Standards, 1992).

24. RD 52.18289-90 MU. *Method for Measuring the Mass Fraction of Mobile Forms of Metals (Copper, Lead, Zinc, Nickel, Cadmium, Cobalt, Chromium, and Manganese) in Soil Samples by Atomic Absorption Analysis* / State Committee of the USSR for Hydrometeorology, 11 (Moscow: State Committee of the USSR for Hydrometeorology, 1990).
25. Sychev V. G. *The current state of soil fertility and the main aspects of its regulation*: monograph, 328 (Moscow: RAS, 2019).
26. Morina O. M., Derbeneva A. M., Morin V. A. *Soil Science*, 370 (Khabarovsk: TSU, 2013).
27. Sokolova T. A., Tolpeshta I. I., Trofimov S. Ya. *Soil acidity. Acid-base buffering of soils. Aluminum compounds in the solid phase of soil and in the soil solution*, 124 (Tula: Grif and K, 2012).
28. Alimkulov S. O., Muradova D. K. The Biological Role of Phosphorus in Plant Life. *Young Scientist*, **10** (90), 44 (.2015), URL: <https://moluch.ru/archive/90/18916/>
29. Samsonova N. E. *Fundamentals of Plant Mineral Nutrition and Fertilizer Application Technology*, 256 (Smolensk: Smolensk State Agricultural Academy, 2021).
30. Sychevsky M. E., Vinnik A. L., Kosulina V. I. Thirty-five-year dynamics of mobile phosphate content in Crimean soils in connection with the use of fertilizers. *Scientific Works of the Southern Branch of the National University of Bioresources and Environmental Engineering of Ukraine "Crimean Agrotechnological University"*, **96**, 70 (2006).
31. Kosolapov V. M., Chuikov V. A., Khudyakov Kh. K., Kosolapova V. G. *Mineral elements in feed and methods of their analysis*: monograph, 272 (Moscow: «Ugreshskaya» Printing House LLC, 2019). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-vliyaniya-ionov-kaliya-kaltsiya-i-magniya-na-rost-i-razvitiye-rasteniy>.
32. Zhurova V. G., Svetlichnaya M. S. Study of the Effect of Potassium, Calcium, and Magnesium Ions on Plant Growth and Development, *Advances in Science and Education*, **14**(36), (2018). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-vliyaniya-ionov-kaliya-kaltsiya-i-magniya-na-rost-i-razvitiye-rasteniy>
33. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace Elements in Soils and Plants*, 439 (Moscow: MIR, 1989).
34. Yorova B. S., Bekova G. M. The Role of Micronutrients in Plant Life: An Author's Study. *Bulletin of Science*. **2**(71), 693 (2024). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-mikroelementov-v-zhizni-rasteniy-avtorskoe-issledovanie>
35. Yagodin B. A. *Cobalt in the Life of Plants*, 344 (Moscow: Nauka, 1970).
36. Chatzistatis T. Physiological importance of manganese, cobalt and nickel and the improvement improvement of their uptake and utilization by plants, *Plant Micronutrient Use Efficiency*, **7**, 123 (Amsterdam: Elsevier, 2018).
37. Hu X., Wei X., Ling J., Chen J. Cobalt: an essential micronutrient for plant growth? *Frontiers in plant science*. **12**, 768 (2021).
38. Bityutskiy N. P. *Microelements of higher plants*, 232 (St. Petersburg: St. Petersburg State University Univ., 1999).
39. Ivanishchev V. V. Zinc in Nature and Its Significance for Plants. *Izvestiya TulGU. Earth Sciences*. **2**, 35 (2022). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsink-v-prirode-i-ego-znachenie-dlya-rasteniy>
40. Mousavi S. R., Galavi M., Rezaei M. Zinc (Zn) importance for crop production, *International journal of Agronomy and Plant Production*. **4** (1), 64 (2013).
41. Schmidt S. B., Husted S. The biochemical properties of manganese in plants. *Plants*, **8**, **10**, 381 (2019).
42. Rogacheva S. M., Kamenets A. F., Shilova N. A. Influence of Soluble Manganese Compounds on Higher Plants and Assessment of Plant Phytoextraction Capacity, *Izvestiya of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. **53**, 484, (2016). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-rastvorimyh-soedineniy-margantsa-na-vysshie-rasteniya-i-otsenka-fitoekstraktsionnoy-sposobnosti-rasteniy>
43. Alejandro S., Höller B., Meier E., et.al. Manganese in Plants: From Acquisition to Subcellular Allocation. *Frontiers in plant science*, **11**, **30**, (2020).
44. Medvedev I. F., Derevyagin S. S. *Heavy Metals in Ecosystems*, 178 (Saratov: Rukurs, 2017).
45. Fazlyeva A. S., Daukaev R. A., Karimov D. O. The impact of cadmium on public health and methods of preventing its toxic effects, *Occupational Medicine and Human Ecology*, **1**, 220 (2022). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-kadmiya-na-zdorovie-naseleniya-i-sposoby-profilaktiki-ego-toksicheskikh-effektov>