

УДК 634.11:631.452:631.559

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРИЕМОВ БИОЛОГИЗАЦИИ АГРОЦЕНОЗА ЯБЛОНИ (*Malus domestica* Borkh.) НА ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ<sup>§</sup>

© 2024 г. О. Е. Клименко<sup>1,\*</sup>, А. И. Сотник<sup>1</sup>, А. И. Попов<sup>1</sup><sup>1</sup>Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН  
298648 Ялта, п.г.т. Никита, спуск Никитский, 52, Республика Крым, Россия

\*E-mail: olga.gnbs@mail.ru

Исследовано влияние приемов биологизации агроценоза плодового сада, включающих задернение почвы злаково-бобовыми смесями многолетних трав в сочетании с внесением биоудобрений различного спектра действия, на плодородие почвы и продуктивность яблони (*Malus domestica* Borkh.). Исследование проводили в двухфакторном многолетнем полевом опыте на луговых почвах долины р. Салгир (Республика Крым). Выявлено, что биологизация агроценоза яблони способствовала обогащению почвы органическим веществом, повышала содержание его активных компонентов, приводила к накоплению подвижных форм фосфора и калия при некотором снижении содержания нитратного азота в почве. При этом увеличивалась концентрация элементов питания в листьях яблони, в том числе азота. Все это способствовало увеличению урожая плодов. Выявлены количественные взаимосвязи между показателями плодородия почвы и продуктивностью яблони. Полученные зависимости позволили построить модель продуктивности яблони сорта Голден Делишес при биологизации ее агроценоза. Наиболее эффективным сочетанием изученных приемов биологизации признано применение задернения почвы злаково-бобовой смесью 3 (СТ3) с бактеризацией корневой системы яблони азотфиксирующим штаммом (АФ).

**Ключевые слова:** агроценоз, яблоня, биологизация, плодородие почвы, минеральное питание, продуктивность.

**DOI:** 10.31857/S0002188124020027

### ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация сельскохозяйственного производства нередко приводит к деградации почв и загрязнению природной среды. В садоводстве степень деградации почв при интенсификации усугубляется длительной монокультурой со значительными потерями гумуса, уплотнением и развитием эрозии [1–3].

Одним из путей преодоления данных проблем в садоводстве является биологизация интенсификационных процессов [4–5], которая применительно к садовому агроценозу направлена на преимущественное использование биологических, а не химических и технических факторов. К таким процессам относится повышение содержания органического вещества, которое достигается путем

посева сидератов и многолетних трав, использования всех растительных остатков в садовом агроценозе. Элементы данной системы, а также систему органического производства плодов в садоводстве разрабатывают в различных исследованиях [6–9].

Как элемент биологизации выступает снижение доз минеральных удобрений за счет применения биопрепаратов, созданных на основе активных штаммов микроорганизмов. Они обогащают почву азотом за счет азотфиксации, способствуют мобилизации слаборастворимых фосфатов и оксидов калия, выделяют гумусоподобные вещества, улучшают рост, защищают растение от патогенов, повышают его иммунитет [10, 11].

Ассоциированные с растением микроорганизмы используют для фиксации азота энергию, содержащуюся в органическом веществе почвы, в прижизненных выделениях автотрофов или свежем органическом веществе, поступающем в почву с растительными остатками. При использовании задернения почвы для обогащения ее органическим веществом, важно исследовать применение ассоциативных микроорганизмов на его фоне

<sup>§</sup>Работа выполнена в рамках Государственного контракта FNNS-2022-0005 “Принципы и технологии создания экологически ориентированных, ресурсо- и почвосберегающих высокопродуктивных агроэкосистем (плодовых насаждений) для почвенно-климатических условий Крыма и юга России”.

на плодородие почвы и продуктивность плодовых растений. Данное направление остается мало исследованным [12, 13].

Известно, что генотипы имеют разную отзывчивость на инокуляцию, что зависит от условий возделывания, а также от метаболической активности их корневой системы [14]. Поэтому необходимо выявлять наиболее эффективные взаимодействия, а также создавать оптимальные условия для взаимодействия бактериального штамма и сорта растения [15, 16]. Для большинства сортов яблони такие исследования не проводили. Цель работы – оценка влияния задержания междурядий сада различными злаково-бобовыми смесями и применения биопрепаратов на плодородие почвы, продуктивность и минеральное питание яблони сорта Голден Делишес для выбора наиболее эффективного сочетания этих приемов биологизации.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения поставленной цели на протяжении 2019–2021 гг. проводили исследования в многолетнем двухфакторном полевом опыте в долине р. Салгир (с. Маленькое Симферопольского р-на, Республика Крым, 45°04'40"N, 34°00'40"E). Опыт был заложен в 2017 г. в саду яблони 2000 г. посадки. Сорт яблони Голден Делишес, подвой М 9, схема посадки 4 × 1.5 м. Сад карликовый с элементами голландской технологии. Схема опыта приведена в табл. 1. Площадь опыта – 0.16 га.

Первый фактор опыта – задержание сада осуществляли путем посева злаково-бобовых смесей многолетних трав с постоянным их скашиванием 3–4 раза за сезон по мере отрастания на 30–40 см и оставлением растительных остатков на месте в виде мульчи. Травы высевали ручной сеялкой Listok ЛЕ09005. Норма высева семян 18–21 кг/га. Контролем служило естественное задержание (ЕЗ) сеgetальной растительностью с регулярным скашиванием травостоя.

Вторым фактором в опыте были биопрепараты (БП) как биоудобрения и стимуляторы роста: Азотфиксатор (АФ) на основе азотфиксирующего эффективного штамма, обладающего также

ростостимулирующими свойствами и Бактериальный комплекс (БК), включавший 3 препарата различного спектра действия: азотфиксатор, фосфатмобилизатор и биопротектор. Препараты были предоставлены лабораторией сельскохозяйственной микробиологии НИИ сельского хозяйства Крыма (<https://ckp-rf.ru/catalog/usu/507484/>). БП вносили весной после цветения яблони в дозе 6 л/га с фертигацией (титр АФ –  $5 \times 10^8$  КОЕ/мл, титр БК –  $(1.01–1.08) \times 10^8$  КОЕ/мл). Контроль – без применения БП.

Закладку и проведение опытов осуществляли согласно методике полевого опыта [17]. Число деревьев на учетной делянке – 3–5 экз. Размещение вариантов рендомизированное. Повторность опыта трехкратная. Учеты и наблюдения за растениями в опыте проводили по методике сортоизучения плодовых культур [18]. В течение вегетационного периода учитывали биомассу скошенного травостоя в вариантах опыта методом пробных площадок [19].

Сад орошали капельным поливом, влажность поддерживали на уровне 80% НВ на расчетной глубине увлажнения 80 см. Агротехника общепринятая для зоны степного садоводства. В период исследования механические обработки почвы в саду не проводили, минеральные удобрения не вносили.

Почва опытного участка – аллювиальная луговая карбонатная остепненная сверхмощная слабогумусированная средне- и тяжелосуглинистая на слоистом аллювии современных речных долин (по классификации 1977 г.). Перед закладкой опыта почва имела следующие показатели: рН<sub>Н<sub>2</sub>О</sub> 7.9–8.0, содержала 9–13% общих карбонатов, 2.4–3.3% гумуса, нитратного азота – 5–10, подвижного фосфора – 32–35 и обменного калия – 309–401 мг/кг [20].

Метеоусловия периода исследования значительно менялись по годам. Например, среднегодовая температура воздуха в годы исследования была выше средней многолетней (10.5°C) на 0.5–1.4°C. Самым теплым был 2020 г. В этом же году была самая низкая абсолютная минимальная температура –20.1°C, а также температура позднего весеннего заморозка 5 апреля составила –5.1°C, что отрицательно сказалось на урожае яблони в 2020 г.

**Таблица 1.** Схема многолетнего двухфакторного полевого опыта биологизации агроценоза яблони

Вариант	1-й фактор – задержание	2-й фактор – биопрепараты (БП)		
		контроль (без БП)	АФ	БК
ЕЗ	Естественное зарастание (контроль)	+	+	+
СТ2	Двухкомпонентная злаково-бобовая смесь 2	+	+	+
СТ3	Двухкомпонентная злаково-бобовая смесь 3	+	+	+
СТ4	Пятикомпонентная злаково-бобовая смесь 4	+	+	+

Примечание. Обозначения вариантов те же в табл. 2–5.

Сумма осадков за год превышала среднюю многолетнюю норму (495 мм) во все годы исследования и изменялась от 539 до 1020 мм осадков. Максимальное их количество выпало в 2021 г., из них в вегетационный период – 764 мм (75% годовой нормы). В 2-х годах из 3-х, когда проводили исследования, 2 раза за вегетацию выпадал град: в 2019 г. 7 июня и 16 июля, в 2021 г. 16 и 29 мая, что значительно повредило листовую аппарат, а также завязи и плоды яблони.

Отбор образцов почвы для анализа проводили ежегодно в конце июля в слое 0–60 см в области ризосферы растений. Подвижные формы фосфора и обменного калия определяли модифицированным методом Мачигина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26205–91): фосфор – спектрофотометрическим методом на приборе В-1100 (“Shanghai Marada Instruments Co., Ltd”, Шанхай), калий – методом пламенной фотометрии на приборе ВВВ-ХР (Великобритания); нитратный азот – потенциометрическим методом (ГОСТ 26951–86) на иономере И-160М (ООО “Измерительная техника”, Россия), валовое содержание почвенного органического вещества ( $C_{\text{орг}}$ ) – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213–91), активный углерод ( $C_{\text{акт}}$ ) – модифицированным методом Блейра [19]. Групповой состав органического вещества определяли ускоренным методом Кононовой–Бельчиковой [21], тип гумуса оценивали согласно показателям гумусового состояния почв [22].

Листья яблони для анализа отбирали со средней части однолетних побегов из середины кроны по периметру дерева в фазе окончания интенсивного роста побегов (начало августа)

в трехкратной повторности по 100 листьев. Образцы сырой биомассы трав отбирали перед кошением в апреле в трехкратной повторности. Определение содержания элементов питания в листьях яблони и образцах трав из одной навески проводили после мокрого озоления смесью серной кислоты и пероксида водорода [23]. В фильтрате определяли азот (ГОСТ 13496.4–93) методом Кьельдаля на анализаторе азота UDK 139 VELP (Италия), фосфор – молибденово-ванадатным методом по ГОСТ 26657–97, калий и кальций – методом пламенной фотометрии на приборе ВВВ-ХР (Великобритания).

Статистическую обработку результатов выполняли методами дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов [17], используя пакет программ Statistica 07. Приведены средние ( $M$ ) с доверительным интервалом  $\pm 95.00\%$ , коэффициенты парной корреляции ( $r$ ), наименьшая существенная разница ( $HCP$ ) при 95%-ном доверительном уровне ( $t \leq 0.05$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основным источником повышения плодородия почв при биологизации и в отсутствие минеральных и органических удобрений служила биомасса трав, которая при разложении и гумификации в почве способствовала повышению содержания элементов минерального питания и гумуса. Установлено, что в среднем за 3 года опыта сухая надземная биомасса растительных остатков в контроле с ЕЗ была невысокой –  $0.86 \text{ кг/м}^2$  (рис. 1).

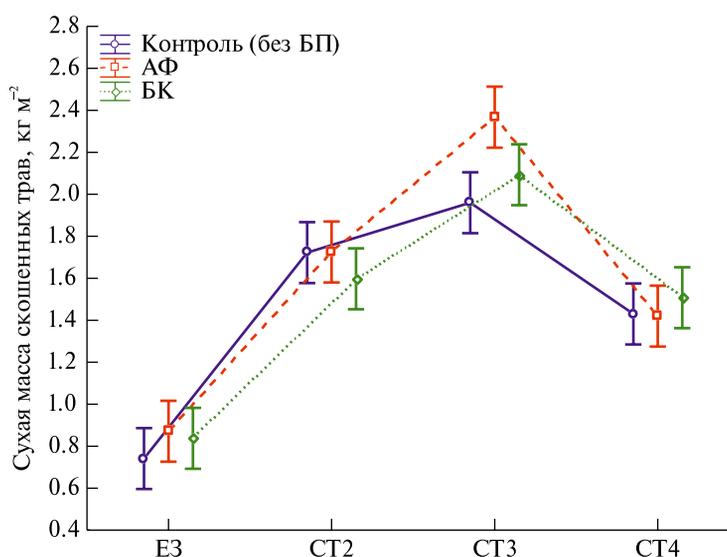
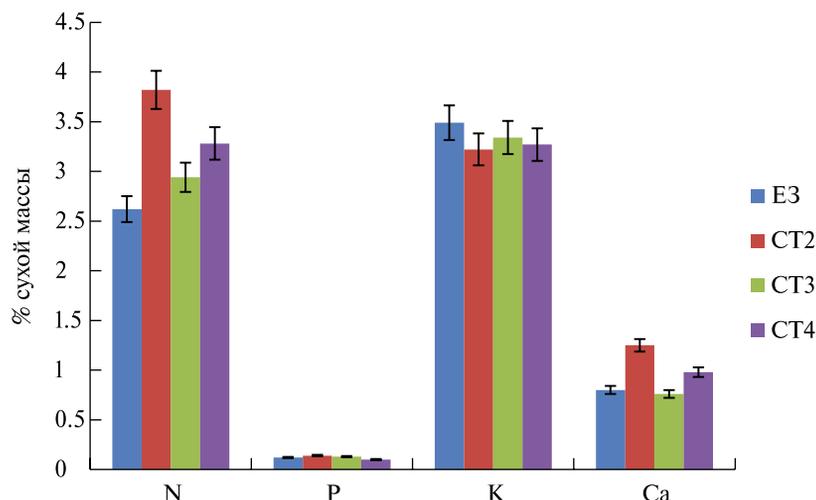


Рис. 1. Сухая биомасса скошенных трав в опыте (среднее за 3 года, 2019–2021 гг.). Вертикальные отрезки – доверительный интервал  $\pm 95.00\%$  при  $p \leq 0.05$ . То же на рис. 3 и 5.



**Рис. 2.** Содержание элементов питания в надземной массе трав перед их скашиванием (2020–2021 гг.). Вертикальные отрезки – стандартная ошибка среднего.

Биомасса сеяных трав в опыте была в 2–3 раза и существенно больше, чем в варианте ЕЗ, и достигала в среднем за 3 года 1.70 (вариант СТ2) и 2.99 (вариант СТ3) кг/м<sup>2</sup>. БП мало влияли на биомассу скошенных трав в большинстве вариантов задержания и только в варианте СТ3 + АФ существенно увеличивалась на 0.54 кг/м<sup>2</sup> (22%) по отношению к СТ3К, что, вероятно, определялось ростстимулирующим действием этого препарата.

Для оценки влияния состава трав на содержание в них элементов минерального питания, было проведено определение основных элементов питания, которые травы накапливали в зеленой массе перед кошением (рис. 2).

Результаты показали, что в сеgetальной растительности (ЕЗ) было достаточно много N и K и незначительное количество P и Ca. Наибольшее количество элементов питания было обнаружено в смеси трав варианта СТ2, вероятно, благодаря присутствию большой доли люцерны, которая отличается высоким содержанием данных элементов [30]. Наибольшее накопление азота в смеси СТ2 по сравнению с ЕЗ и другими смесями определяло большой вынос его из почвы и значительное снижение содержания нитратного азота в почве при задержании этой смесью (табл. 2).

Содержание калия во всех смесях сеяных трав было меньше, чем в сеgetальной растительности, но существенных различий с ЕЗ не выявлено. В варианте смеси СТ4 содержание N, K и Ca также было достаточно высоким. Близким минеральным составом большинства элементов с ЕЗ отличалась смесь СТ3 и только содержание N и P в ней было несколько больше, чем в смеси трав при ЕЗ.

При разработке новых приемов агротехники важно знать, как они влияют на плодородие почвы, с которым напрямую связаны состояние и продуктивность плодовых растений. В опыте установлено, что приемы биологизации влияли на содержание органического углерода ( $C_{орг}$ ) и подвижных форм основных элементов питания в почве. По ЕЗ содержание  $C_{орг}$  в почве было довольно значительным (рис. 3).

Смеси трав мало влияли на его количество и только в варианте СТ4 наметилась тенденция к увеличению  $C_{орг}$  на 0.09% в среднем за 3 года. Применение БП стимулировало образование  $C_{орг}$  в почве, наиболее значительно и достоверно под действием АФ на фоне трав на 0.25–0.43%, максимально на смеси СТ3. Такое увеличение, вероятно, определялось составом и количеством растительных остатков этой смеси.

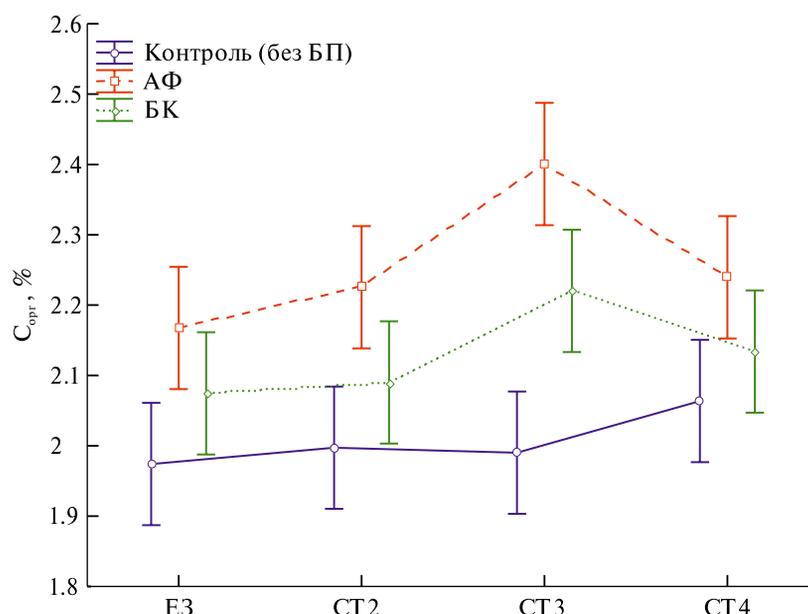
Поступление в почву свежего органического вещества способствовало, прежде всего, изменению содержания активного (подвижного) углерода ( $C_{акт}$ ) в почве, который характеризует наличие мортмассы, состоящей в основном из микробной биомассы, корневых экссудатов, аминокислот, белков, полисахаридов и др. [24–26]. Ранее отмечено, что при поступлении в почву свежих органических остатков с сеянными травами увеличивается как абсолютное содержание активного органического вещества, так и его относительное количество в общем содержании углерода [27–29]. Исследования показали, что содержание активного углерода ( $C_{акт}$ ) в данной почве было достаточно высоким как в контроле, так и в вариантах опыта и связано с количеством  $C_{орг}$  ( $r = 0.63$ ) (табл. 3).

**Таблица 2.** Содержание подвижных форм НРК в почве при биологизации сада яблони, среднее за 3 года опыта (2019–2021 гг.), мг/кг

Вариант	Контроль	АФ	БК	Среднее фактора задержания
<b>N-NO<sub>3</sub></b>				
ЕЗ	21.5	17.1	17.2	18.6
СТ2	12.8	12.3	13.1	12.7
СТ3	16.0	18.6	18.9	17.8
СТ4	19.3	20.6	14.3	18.1
Среднее фактора БП $F_{\phi} \leq F_{05}$ , $HCP_{05}$ частных средних = 2.9	16.7	16.6	15.4	$HCP_{05} = 1.7$
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>				
ЕЗ	61.9	65.7	69.3	65.7
СТ2	63.6	65.0	76.8	68.5
СТ3	68.3	69.0	70.0	69.1
СТ4	51.8	64.4	55.7	57.3
Среднее фактора БП $HCP_{05} = 4.1$ , $HCP_{05}$ частных средних = 5.8	61.4	66.1	68.0	$HCP_{05} = 3.3$
<b>K<sub>2</sub>O</b>				
ЕЗ	390	387	312	363
СТ2	381	399	419	400
СТ3	386	396	470	417
СТ4	353	451	368	391
Среднее фактора БП $HCP_{05} = 15$ , $HCP_{05}$ частных средних = 22	378	408	392	$HCP_{05} = 13$

Влияние БП как фактора было несущественным ( $F_{\phi} < F_{05}$ ), создавалась лишь тенденция к увеличению  $C_{акт}$  под их действием на 44–50 мг/кг (6%) от контроля. При задержании существенное влияние на содержание  $C_{акт}$  оказали смеси СТ3 и СТ4,

что превышало контроль на 7–9%. Из частных средних существенное и примерно равное увеличение  $C_{акт}$  вызвали сочетания АФ и БК с СТ4 – на 124 и 129 мг/кг или на 17% по сравнению с контролем при ЕЗ. Доля  $C_{акт}$  в составе  $C_{орг}$  составляла

**Рис. 3.** Влияние приемов биологизации агроценоза на содержание  $C_{орг}$  в почве в саду яблони (среднее за 3 года, 2019–2021 гг.).

**Таблица 3.** Содержание  $C_{\text{акт}}$  в почве при биологизации (слой 0–60 см) сада яблони (среднее за 3 года, 2019–2021 гг.), мг/кг

Вариант	Контроль	АФ	БК	Среднее фактора задержание
ЕЗ	740	760	819	773
СТ2	783	835	792	803
СТ3	797	860	822	826
СТ4	799	864	869	844
Среднее фактора БП $F_{\Phi} < F_{0,05}$ , $HCP_{0,05}$ частных средних* = 77 мг/кг	780	830	826	$HCP_{0,05} = 44$ мг/кг

\* $p \leq 0.05$ . То же в табл. 3–5.

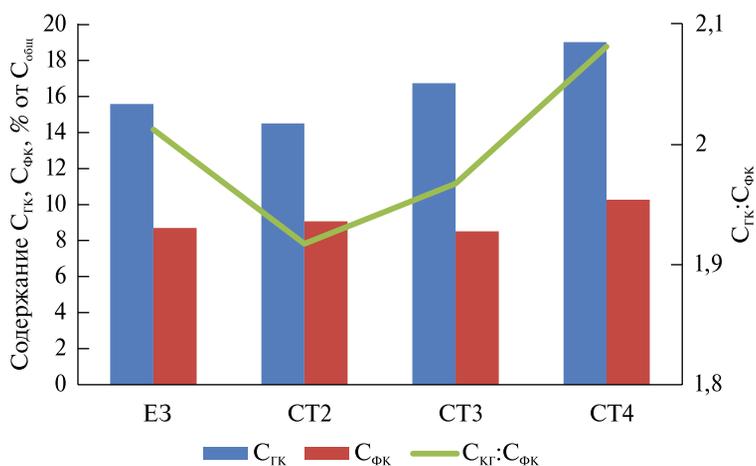
3–4%. Отмечена лишь тенденция к увеличению его доли в варианте СТ4 на 0.2% по отношению к контролю при ЕЗ.

Кроме изменения содержания  $C_{\text{акт}}$  при биологизации, в почве менялся и состав гумуса. Содержание гуминовых кислот снижалось незначительно при задержании почвы в варианте СТ2 по сравнению с ЕЗ, в остальных вариантах увеличивалось, максимально в варианте СТ4. В то же время содержание фульвокислот увеличивалось при задержании в вариантах СТ2 и СТ4 в большей мере при воздействии последнего, что связано с образованием подвижных гумусовых кислот с увеличением поступления свежего органического вещества в почву и его гумификации. Это обусловило снижение соотношения  $C_{\text{ГК}}:C_{\text{ФК}}$  в почве в вариантах СТ2 и СТ3. Тип гумуса менялся с гуматного на фульватно-гуматный, что приводило к увеличению биологически доступного органического вещества для лучшего развития микробиоты [9]. В варианте СТ4, наоборот, этот показатель возрастал, что, вероятно, было связано с составом трав, изменением состава и численности

микроорганизмов, выделяющих гумусоподобные вещества различной природы (рис. 4).

Наряду с изменением количества и состава почвенного органического вещества, происходили изменения в содержании подвижных форм элементов питания в почве под действием приемов биологизации. Данные дисперсионного анализа показали, что содержание  $N-NO_3$  в почве при ЕЗ без применения БП (контроль) было близко к оптимальному для плодовых культур (23–40 мг/кг [30]) (табл. 2). Примененные приемы задержания и различные БП в основном снижали содержание нитратного азота в среднем за 3 года опыта. При задержании достоверное снижение  $N-NO_3$  в почве происходило только в варианте СТ2, что было связано с высоким выносом азота интенсивно растущими травами. Фактор БП не оказывал существенного влияния на содержание этого элемента. Из частных средних наиболее близкими к контролю были варианты СТ4 + БК и СТ4 + АФ.

Высокий вынос азота из почвы плодоносящей яблоней при урожае 20–30 т/га в условиях биологизации вызывает необходимость внесения небольших доз азота (30–50 кг/га)



**Рис. 4.** Содержание углерода гуминовых ( $C_{\text{ГК}}$ ) и фульвокислот ( $C_{\text{ФК}}$ ) и их соотношение в луговой аллювиальной почве при биологизации сада яблони (среднее за 3 года, 2019–2021 гг.).

**Таблица 4.** Показатели продуктивности яблони сорта Голден Делишес при биологизации агроценоза (среднее за 3 года, 2019–2021 гг.)

Вариант	Контроль	АФ	БК	Среднее фактора задержание
Количество плодов на дереве, шт.				
ЕЗ	74	78	97	83
СТ2	87	115	135	112
СТ3	103	124	125	117
СТ4	97	103	121	107
Среднее фактора БП $HCP_{05} = 8$ шт., $HCP_{05}$ частных средних = 11 шт.	90	105	120	$HCP_{05} = 7$ г
Масса плода, г				
ЕЗ	112	125	119	119
СТ2	103	112	115	110
СТ3	115	117	116	116
СТ4	120	110	110	114
Среднее фактора БП $HCP_{05} = 2.8$ г, $HCP_{05}$ частных средних = 4 г	113	116	115	$HCP_{05} = 2$ г

весной, когда растение особо в нем нуждается, а микроорганизмы-азотфиксаторы недостаточно активны из-за низких температур. В дальнейшем, к середине лета, при разложении скошенной биомассы трав содержание нитратного азота в почве повышалось, что установлено в предыдущих исследованиях [31].

Содержание подвижных форм фосфора в почве было высоким как в контроле при ЕЗ, так и в вариантах задержания сеянными травами. При задержании в варианте СТ3 произошло существенное и достоверное увеличение его содержания, в варианте СТ4 существенно снижалось, но оставалось на уровне высокого. Биопрепараты достоверно увеличивали его содержание, особенно значительно БК – на 6.6 мг/кг, или на 50 кг/га по сравнению с контролем, что связано с присутствием в составе БК фосфатмобилизующего бактериального штамма.

Концентрация обменного калия ( $K_2O$ ) в почве при ЕЗ была высокой. При задержании сеянными травами она увеличивалась существенно, максимально в варианте СТ3 – на 54 мг/кг (на 15% от контроля ЕЗ). Использование БП показало, что только АФ достоверно увеличивал содержание обменного калия в почве на 30 мг/кг. Из частных средних наиболее значительно этому способствовали сочетания СТ4 + АФ и СТ3 + БК на 61 и 40 мг/кг соответственно по сравнению с контрольным вариантом при ЕЗ.

Положительное воздействие способов биологизации агроценоза на плодородие почвы сказалось на его продуктивности. Задержание и БП способ-

ствовали увеличению числа плодов на 15–34 шт., максимально и достоверно в варианте СТ3 + БК (табл. 4).

Масса плода под действием задержания снижалась незначительно на 2–9 г, что связано с увеличением числа плодов. Однако под действием БП она увеличивалась достоверно в варианте с АФ на 3.5 г по сравнению с контролем. Возможно, в этом случае повлиял ростстимулирующий эффект, производимый данным штаммом.

Урожай плодов яблони значительно варьировал по годам: был максимальным в 2019 г., минимальным – в 2020 г. и на уровне среднего – в 2021 г. Это было связано с неблагоприятными погодными условиями весной 2020, летом 2021 г. и периодичностью плодоношения. Во все годы задержание способствовало увеличению урожая плодов, максимально в вариантах СТ2 и СТ3 + БП (рис. 5).

В среднем за 3 года опыта при задержании все варианты существенно увеличивали урожай на 4.1–7.3 т/га, максимально – в варианте СТ3, что составило 37% от ЕЗ. При применении БП максимальную прибавку урожая обеспечивал БК – на 6.2 т/га, или на 30% от контроля. Из частных средних наибольший урожай получен в вариантах СТ2 и СТ3 + БК, на 12 т/га (на 70%) больше контроля при ЕЗ.

При применении приемов, влияющих на плодородие почвы и содержание элементов питания в ней, важно проследить уровень минерального питания растения основными элементами. Данные содержания питательных элементов в листьях

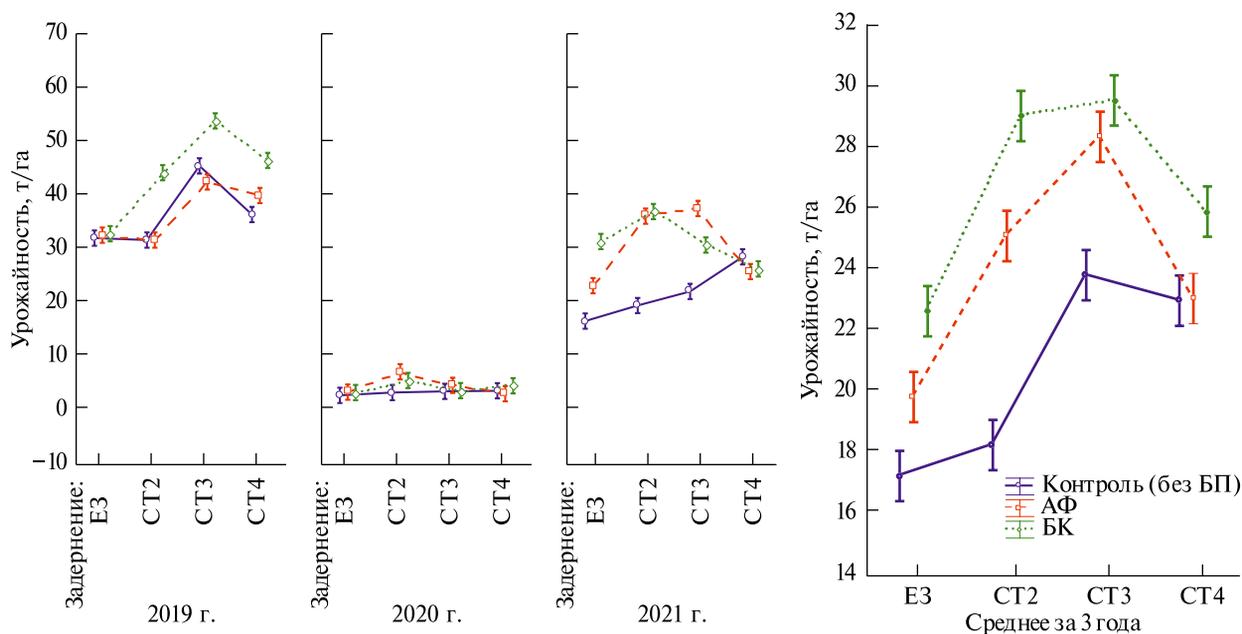


Рис. 5. Урожайность яблони сорта Голден Делишес в условиях биологизации (среднее за 3 года, 2019–2021 гг.), т/га.

показали, что концентрация азота в листьях в контроле при ЕЗ и в других вариантах опыта была на уровне оптимального содержания для яблони (2.1–2.6% [32]) (табл. 5).

Все примененные варианты задержания способствовали увеличению содержания азота в листьях на 0.07–0.18% (разница с контролем значима,  $p \leq 0.05$ ), максимально при задержании в варианте СТ4. Доля влияния фактора составила 21% общей дисперсии. Из БП только АФ достоверно увеличивал этот показатель на 0.07% сухой массы листа. Доля влияния фактора невелика – 4% общей дисперсии. Из частных средних наибольшее и достоверное влияние на содержание азота в листьях оказали сочетания СТ3 и СТ4 + БК – на 0.18 и 0.40% соответственно по сравнению с контролем ЕЗ. Совместное влияние факторов составило 25% от общей дисперсии, что подтверждало существенное положительное влияние исследованных приемов на питание яблони азотом без применения минеральных удобрений и несмотря на снижение количества нитратного азота в почве.

Содержание валового фосфора ( $P_2O_5$ ) в листьях яблони было низким в контроле при ЕЗ (оптимум – 0.4–0.5% [32]) и увеличивалось в вариантах СТ2 и СТ3 существенно под действием фактора задержания на 0.28–0.32% от ЕЗ ( $HCP_{05} = 0.25\%$ ). Доля влияния фактора составила 13% общей дисперсии. БП создавали лишь тенденцию к увеличению содержания этого элемента в листьях. Из частных средних наиболее значительно и достоверно

увеличивали его содержание сочетания СТ3 + АФ и СТ2 + БК по сравнению с контролем ЕЗ.

Содержание валового калия ( $K_2O$ ) в листьях яблони в контроле было на уровне оптимального (1.6–1.9% [32]) (табл. 5). Задержание, так и БП, как факторы, способствовали накоплению элемента в листьях на 0.1–0.3%, максимально в вариантах СТ2 и АФ, а также в варианте совместного их действия, что было отмечено ранее для растений винограда [9]. Доля влияния факторов составляла 11–13%, велика была доля года – 51%, что обусловлено значительным варьированием содержания элемента по годам, связанного с существенными различиями в величине урожая.

Важную роль в питании растений играет кальций, и его недостаток может вызвать повреждения плодов при хранении. В листьях яблони в контроле и в вариантах опыта содержание СаО было низким (оптимум для яблони в пересчете на элемент (Са) составляет 1.1–2.0% [32]). Изученные приемы биологизации увеличивали его содержание незначительно, но достоверно в вариантах СТ3 и БК. Максимальное увеличение содержания СаО в листьях относительно контроля при ЕЗ отмечено в вариантах СТ4 и СТ3 + БК. Совместное влияние факторов составляло 33% общей дисперсии признака.

Таким образом, примененные приемы не только повышали плодородие почв и продуктивность яблони, но и улучшали ее минеральное питание основными элементами.

**Таблица 5.** Содержание элементов в листьях яблони сорта Голден Делишес (среднее за 2020–2021 гг.), % сухой массы листа

Вариант	Контроль	АФ	БК	Среднее фактора задернение
N				
ЕЗ	2.59	2.78	2.58	2.65
СТ2	2.66	2.92	2.76	2.78
СТ3	2.73	2.66	2.77	2.72
СТ4	2.81	2.72	2.95	2.83
Среднее фактора БП $HCP_{05} = 0.03$ , $HCP_{05}$ частных средних = 0.03	2.70	2.77	2.68	$HCP_{05} = 0.02$
$P_2O_5$				
ЕЗ	0.25	0.33	0.39	0.32
СТ2	0.46	0.58	0.77	0.60
СТ3	0.69	0.74	0.52	0.65
СТ4	0.21	0.23	0.44	0.29
Среднее фактора БП $F_{\phi} \leq F_{05}$ , $HCP_{05}$ частных средних = 0.46%	0.40	0.47	0.53	$HCP_{05} = 0.25$
$K_2O$				
ЕЗ	1.58	1.72	1.79	1.70
СТ2	1.95	2.09	2.02	2.02
СТ3	1.68	1.92	1.74	1.78
СТ4	1.76	2.05	1.93	1.91
Среднее фактора БП $HCP_{05} = 0.03$ , $HCP_{05}$ частных средних = 0.04	1.74	1.95	1.87	$HCP_{05} = 0.02$
CaO				
ЕЗ	0.92	0.94	1.06	0.97
СТ2	0.93	1.06	0.97	0.98
СТ3	1.04	1.03	1.08	1.05
СТ4	1.08	0.87	1.00	0.99
Среднее фактора БП $HCP_{05} = 0.03$ , $HCP_{05}$ частных средних = 0.04	0.99	0.98	1.03*	$HCP_{05} = 0.03$

Для того, чтобы разработать модель продуктивности яблони в условиях биологизации агроценоза, проведены корреляционный и множественный регрессионный анализы данных. Корреляционный анализ данных показал, что наиболее тесная связь урожая яблони сорта Голден Делишес установлена с количеством ( $r = 0.89$ ) и массой ( $r = 0.68$ ) плодов при  $n = 105$ . Средняя достоверная зависимость имела между урожаем плодов и  $S_{акт}$  ( $r = -0.46$ ), содержанием обменного калия в почве ( $r = -0.68$ ). Множественный регрессионный анализ позволил вычислить уравнение прямой множественной регрессии, которое имеет вид:

$$y = 31.25 + 9.03x_1 - 0.45x_2 - 0.11x_3 + 4.65x_4, (1)$$

где  $y$  – урожай яблони сорта Голден Делишес, т/га;  $x_1$  – содержание  $C_{орг}$ , %;  $x_2$  – содержание  $N-NO_3$  в почве, мг/кг;  $x_3$  – содержание  $K_2O$  в почве, мг/кг;  $x_4$  – сухая масса трав, кг/м<sup>2</sup>. Коэффициент детерминации уравнения  $R^2 = 0.636$ , достоверен при уровне вероятности  $p \leq 0.05$ . Наибольшее влияние на величину урожая оказывало содержание  $K_2O$  ( $\beta = -0.70$ ), довольно высокие величины имели показатели: сухая масса трав ( $\beta = 0.38$ ) и содержание  $N-NO_3$  ( $\beta = 0.30$ ). Пользуясь уравнением (1), можно прогнозировать или моделировать урожайность яблонь сорта Голден Делишес при задернении почвы многолетними травами и применении БП с показателями плодородия и массы трав в пределах величин, полученных в опыте.

## ВЫВОДЫ

1. При задернения почвы злаково-бобовыми смесями многолетних трав в агроценозе сада яблони произошло увеличение количества скошенных растительных остатков в 2–3 раза по сравнению с естественным задернением (ЕЗ) (скашивание сеgetальной растительности) и достигало 1.7–3.0 кг/м<sup>2</sup>. Биологические препараты (БП) мало влияли на биомассу скошенных трав в большинстве вариантов задернения и только смесь СТ3 при применении азотфиксирующего штамма (АФ) существенно увеличивала ее на 22% по отношению к контролю СТ3К. Скошенная биомасса смесей СТ2 и СТ4 имела наиболее значительное содержание азота и кальция за счет присутствия в их составе люцерны, смесь СТ3 отличалась повышенным содержанием азота и фосфора по сравнению с сеgetальной растительностью. Совместное применение задернения и БП привело к увеличению содержания  $C_{орг}$  на 0.10–0.43%, максимально – в варианте СТ3 + бактериальный комплекс (БК) на 22% относительно ЕЗ без БП. При этом увеличивалось содержание  $C_{акт}$  на 20–50 мг/кг под действием фактора задернения (на 7–9% относительно ЕЗ). Совместное применение задернения смесью СТ4 и БП вызвало увеличение содержания  $C_{акт}$  на 125–130 мг/кг (на 17%). Тип гумуса менялся с гуматного на фульватно-гуматный за счет более значительного увеличения фульвокислот в составе гумуса в вариантах СТ2 и СТ3.

2. При биологизации происходило обогащение почвы подвижными формами фосфора и калия. Существенное и достоверное увеличение содержания  $P_2O_5$  на 3.4–6.6 мг/кг (на 5–11%) по сравнению с ЕЗ отмечено в варианте СТ3 + БК, что связано с присутствием в составе БК фосфатмобилизующего бактериального штамма. Концентрация обменного калия ( $K_2O$ ) в почве при ЕЗ была высокой. Под действием задернения она увеличивалась существенно на 28–54 мг/кг (на 8–15% от ЕЗ). Наиболее значительным было влияние сочетания приемов биологизации в вариантах СТ4 + АФ и СТ3 + БК – 61–80 мг/кг (16–20% от контроля при ЕЗ). При этом во всех вариантах происходило снижение содержания  $N-NO_3$  в почве на 0.1–6.1 мг/кг. В меньшей мере это происходило в вариантах СТ4 + АФ и СТ3 + БК – на 0.9–2.6 мг/кг. Это связано с высоким выносом азота травами при их интенсивном росте весной, а также с урожаем яблони и вызывает необходимость внесения небольших доз азота (30–50 кг/га) весной.

3. При биологизации увеличивалось содержание элементов питания в листьях яблони: N – на 0.07–0.40% по сравнению с контролем при ЕЗ, наибольшее и достоверное влияние на содержание азота

в листьях оказало сочетание СТ3 и СТ4 + БК; содержание  $P_2O_5$  увеличилось на 0.28–0.32% в большей степени под влиянием применения СТ3 в сочетании с АФ и СТ2 с БК; содержание валового калия возросло на 0.1–0.5%, максимально в вариантах СТ2 и АФ; содержание CaO увеличилось на 0.1–0.2%.

4. Положительное воздействие способов биологизации агроценоза на плодородие почвы и состояние растений вызвало увеличение продуктивности яблони, которое выражалось в увеличении числа плодов на 15–34 шт., максимально и достоверно в вариантах СТ3 и БК. Урожай яблони значительно варьировал по годам: от 5 до 30 т/га в контроле при ЕЗ. В среднем за 3 года опыта все варианты задернения способствовали существенному увеличению урожая плодов на 4–7 т/га, максимально в варианте СТ3, что составило 20–36% от ЕЗ. При применении БП максимальную прибавку урожая обеспечивал БК – на 6.2 т/га (на 30%) от контроля. Из частных средних наибольший урожай получен при сочетании СТ2 и СТ3 с БК – на 12 т/га (на 70%) больше контроля при ЕЗ.

5. На основании полученных данных и проведения корреляционного и множественного регрессионного анализов разработана модель продуктивности сорта Голден Делишес на луговой аллювиальной почве при биологизации агроценоза. Используя данную модель, можно прогнозировать или моделировать продуктивность сорта при задернении почвы многолетними травами и применении БП. По комплексу показателей состояния почвы и растения яблони наиболее эффективным приемом биологизации является сочетание задернения почвы злаково-бобовой смесью СТ3 с бактериализацией корневой системы азотфиксирующим штаммом (АФ).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Придорогин М.В. Концепция статусов “садовых систем”, их ранжира и проблемы плодоводства // Вестн. МичГАУ. 2010. № 2. С. 50–59.
2. Николаева С.А., Еремина Л.М. Окислительно-восстановительное состояние периодически переувлажняемых черноземных почв // Почвоведение. 2005. № 3. С. 328–336.
3. Клименко О.Е., Клименко Н.И., Орел Т.И., Новицкий М.Л. Деградиционные процессы в почвах под садами Крыма и возможные пути их преодоления // Современное состояние черноземов: матлы II Международ. научн. конф., 24–28 сентября 2018 г. В 2-х томах / Отв. ред. О.С. Безуглова. Ростов/нД., Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2018. Т. 1. С. 143–149.

4. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Теория и практика. В 3-х томах. М.: Изд-во Агрорус, 2008. Т. 1. 816 с.
5. Миркин Б.М., Суондуков Я.Т., Хазиахметов Р.М. Управление в агроэкосистеме // Экология. 2002. С. 103–107.
6. Дорошенко Т.Н., Рязанова Л.Г., Чумаков С.С. Влияние способов содержания почвы на особенности роста и плодоношения яблони в органическом саду [Электр. ресурс] // Плод-во и виногр-во Юга России. 2015. № 33(03). Режим доступа: <http://journal.kubansad.ru/pdf/15/03/05.pdf>.<http://journal>
7. Драгавцева И.А., Савин И.Ю., Ахматова З.П., Цороев Л.К., Костоев Р.У., Першина А.А. Оценка ресурсного потенциала земель Республики Ингушетия для плодовых культур. Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2013. 113 с.
8. Попова В.П., Чернявская Н.В. Сохранение плодородия почв плодовых насаждений на биоценотической основе [Электр. ресурс] // Плодоводство и виноградарство Юга России: темат. сетевой электр. научн. журн. СКЗНИИСиВ. Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2012. № 11. Режим доступа: <http://journal.kubansad.ru/aut/arhive>
9. Vystavna Y., Schmidt S.I., Klimenko O.E., Plugatar Y.V., Klimenko N.I., Klimenko N.N. Species-dependent effect of cover cropping on trace elements and nutrients in vineyard soil and Vitis // J. Sci. Food Agricult. 2020. V. 100. № 2. P. 885–890. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10006>
10. Биопрепараты в сельском хозяйстве. (Методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве) / Отв. ред. И.А. Тихонович, Ю.В. Круглов. М., 2005. 154 с.
11. Кузин А.И., Трунов Ю.В., Соловьев А.В. Оптимизация азотного питания яблони (*Malus domestica* Borkh.) при фертигации и внесении бактериальных удобрений // Сел.-хоз. биол. 2018. Т. 53. С. 1013–1024. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.5.1013>
12. Клименко О.Е., Клименко Н.И., Дунаевская Е.В., Новицкая А.П., Новицкий М.Л. Влияние биологизации садового агроценоза на плодородие почвы, состояние и продуктивность персика // Агрехим. вестн. 2020. № 4. С. 67–76. <https://doi.org/10.24411/1029-2551-2020-10058>
13. Клименко Н.Н., Клименко О.Е. Влияние микробных препаратов и задернения междурядий винограда на агрохимические свойства почвы и минеральное питание винограда сорта Мускат белый // Молодой ученый. 2015. № 12. С. 164–168.
14. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Симбиозы растений и микроорганизмов: молекулярная генетика агро-систем будущего. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2009. 210 с.
15. Воробейков Г.А., Павлова Т.К., Кондрат С.В., Лебедев В.Н., Юргина В.С., Муратова Р.Р., Макаров П.Н., Дубенская Г.И., Хмелевская И.А. Исследование эффективности штаммов ассоциативных ризобактерий в посевах различных видов растений // Изв. РГПУ им. А.И. Герцена. 2001. № 141. С. 114–123.
16. Клименко О.Е., Якушева Н.Н., Клименко Н.И., Попов А.И., Степовенко В. Биопрепараты как способ биологизации агроценоза питомника груши // Принципы экологии. 2023. Т. 12. № 1. С. 48–61.
17. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
18. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. Орел, 1999. 608 с.
19. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем: монография / Отв. ред. К.Ш. Казеев. Ростов/нД.: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
20. Плугатарь Ю.В., Клименко О.Е., Клименко Н.И., Сотник А.И., Орёл Т.И., Новицкий М.Л. Состав, свойства и рациональное использование почв садовых агроценозов долины р. Салгир (на примере отделения Никитского ботанического сада “Крымская опытная станция садоводства”) // Сб. научн. тр. Гос. Никит. Бот. сада. 2019. № 148. С. 5–21.
21. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса: Учеб. пособ. М.: Изд-во МГУ, 1981. 272 с.
22. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. 325 с.
23. Соловьев Г.А. О методах определения азота, фосфора, калия, натрия, кальция, магния, железа и алюминия из одной навески после мокрого озоления // Проблемы почвоведения, агрохимии и мелиорации почв. Воронеж, 1973. С. 134–139.
24. Гамкало З.Г., Бедерничек Т.Ю. Лабильное органическое вещество почвы как индикатор ее экологического качества в разных условиях землепользования // Экосист., их оптимизация и охрана. 2014. Вып. 10. С. 193–200.
25. Kuzyakov Y., Blagodatskaya E. Microbial hotspots and hot moments in soil: Concept & review // Soil Biol. Biochem. 2015. V. 83. P. 184–199.
26. Семенов В.М., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В., Семенова Н.А., Ходжаева А.К. Биокинетическая индикация минерализуемого пула органического вещества почвы // Почвоведение. 2007. № 11. С. 1352–1361.
27. Русакова И.В. Сравнительная оценка влияния традиционной и биологизированной систем зем-

- леделия на агрохимические, биологические свойства и биологическое качество органического вещества серой лесной почвы Владимирского Ополья // Агрохимия. 2021. № 12. С. 15–22.
28. *Weil R.R., Islam K.R., Stine M.A., Gruver J.B., Samson-Liebig S. E.* Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use // *Amer. J. Alternat. Agricult.* 2003. V. 18. № 1. P. 3–17.
29. *Семенов В.М., Козут Б.М.* Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
30. *Копитко П.Г.* Удобрения плодовых і ягідних культур. Навч. посібник. Киев: Вища школа, 2001. 207 с.
31. *Клименко О.Е.* Использование сидератов в плодоносящем яблоневом саду на черноземах южных // *Тр. Гос. Никит. бот. сада.* 2003. Т. 121. С. 153–167.
32. *Церлинг В.В.* Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справ-к. М.: Агропромиздат, 1990. 235 с.

## Assessment of the Impact of Methods of Biologization of the Agrocenosis of Apple Trees (*Malus domestica* Borkh.) on Soil Fertility and Plant Productivity

O. E. Klimenko<sup>a,#</sup>, A. I. Sotnik<sup>a</sup> and A. I. Popov<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Nikitsky Botanical Garden – National Research Center of the RAS, Nikitsky descent, 52, Yalta, Nikita 298648, Republic of Crimea, Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: olga.gnbs@mail.ru*

The influence of methods of biologization of the agrocenosis of the orchard, including soil blackening with cereal-legume mixtures of perennial grasses in combination with the introduction of biofertilizers of various spectrum of action, on soil fertility and productivity of apple trees (*Malus domestica* Borkh.) has been studied. The study was carried out in a two-factor long-term field experiment on meadow soils of the Salgir River valley (Republic of Crimea). It was revealed that the biologization of the agrocenosis of the apple tree contributed to the enrichment of the soil with organic matter, increased the content of its active components, led to the accumulation of mobile forms of phosphorus and potassium with a slight decrease in the content of nitrate nitrogen in the soil. At the same time, the concentration of nutrients in the leaves of the apple tree, including nitrogen, increased. All this contributed to an increase in the yield of fruits. Quantitative relationships between indicators of soil fertility and productivity of apple trees have been revealed. The obtained dependencies allowed us to build a model of productivity of Golden Delicious apple trees during the biologization of its agrocenosis. The most effective combination of the studied methods of biologization is the use of soil blackening with a cereal-bean mixture 3 (CBM3) with bacterization of the root system of an apple tree with a nitrogen-fixing strain (NFS).

*Keywords:* agrocenosis, apple tree, biologization, soil fertility, mineral nutrition, productivity.