

УДК 631.445.25:634.233:631.83/84

ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОРОДИЯ АГРОСЕРОЙ ПОЧВЫ ВИШНЕВОГО САДА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ АЗОТНЫХ И КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ

© 2023 г. Т. А. Роева^{1,*}, Е. В. Леоничева¹, Л. И. Леонтьева¹¹ Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур
302530 Орловская обл., д. Жилина, Россия

*E-mail: roeva@vniispk.ru

Поступила в редакцию 07.02.2023 г.

После доработки 28.02.2023 г.

Принята к публикации 15.04.2023 г.

В полевом опыте в вишневом саду оценили влияние ежегодного внесения мочевины и сульфата калия на важнейшие агрохимические свойства почвы в корнеобитаемой зоне. Почва сада – агросерая среднесуглинистая с исходно благоприятными параметрами: pH_{KCl} 5.8, содержание гумуса – 3.58–4.57%. Удобрения вносили с 2017 г. 1 раз в год ранней весной по схеме: 1 – контроль (без удобрений), 2 – N30K40, 3 – N60K80, 4 – N90K120, 5 – N120K160. Пробы почвы отбирали из слоев почвы 0–20, 20–40 и 40–60 см в 2017 г. (первый год опыта) и в 2022 г. (после 6-летнего внесения удобрений). Ежегодное внесение удобрений в течение 6 лет привело к значительному увеличению (в 1.4–2.2 раза) обеспеченности обменным калием в слое почвы 0–20 см при неизменном содержании гумуса во всей корнеобитаемой зоне. При этом повышение кислотности и потеря кальция происходили в верхних слоях почвы под влиянием удобрений в дозах N60K80 и более. За период 2018–2022 гг. самая высокая суммарная урожайность деревьев вишни сорта Тургеневка отмечена при внесении удобрений N60K80 и N120K160 (35.5 и 36.5 т/га соответственно), но этот прирост был незначительным по сравнению с контролем (29.3 т/га). Таким образом, агросерая среднесуглинистая почва с благоприятными агрохимическими характеристиками может обеспечивать рост и плодоношение вишневых деревьев без применения удобрений в течение 8-ми лет после посадки и при этом уровень плодородия почвы остается стабильным.

Ключевые слова: вишня (*Prunus cerasus* L.), систематическое применение азотных и калийных удобрений, агросерая почва, агрохимические свойства почвы, урожайность.

DOI: 10.31857/S0002188123070098, **EDN:** OFYWDH

ВВЕДЕНИЕ

За последние 30 лет мировое производство вишни резко возросло. Подобные тенденции характерны и для России. В Российской Федерации в 2020 г. объем производства вишни увеличился по сравнению с 1992 г. в 1.7 раза и составил 244 800 т, а занимаемые площади под вишней составили 39800 га [1]. Одним из важных факторов устойчивого функционирования агроэкосистем и высокой продуктивности плодовых насаждений являются свойства и уровень плодородия почвы [2]. Оптимизация свойств почвы невозможна без научно обоснованной системы удобрений. В интенсивных садах плодородие почвы может ухудшаться из-за применения высоких доз минеральных удобрений. Поэтому современная система минерального питания плодовых растений, в том числе и косточковых, направлена на снижение их количества [3]. Необходима разработка новых агротехнологий, повышающих эффективность ис-

пользования почвенных ресурсов и питательных веществ растениями. Знание процессов, происходящих в почве, с учетом специфики произрастания плодовых культур позволит избежать избытка удобрений и сохранить плодородие почвы. Плодовые культуры произрастают на одном участке в течение длительного периода, поэтому систематическое применение удобрений может значительно изменять свойства почвы под садом, что в дальнейшем изменит условия корневого питания. Такие изменения описаны для агроэкосистем с разнообразными полевыми культурами [4–6]. В них показано как благоприятное, так и негативное изменение агрохимических, физико-химических и биологических свойств почв при длительном применении минеральных и органических удобрений. Динамика почвенных характеристик под многолетними насаждениями изучена гораздо слабее и преимущественно для яблоневых садов [2, 7–10].

Влияние удобрений на изменение свойств почв под садами косточковых культур, в том числе под вишней, отражено в единичных зарубежных публикациях [11, 12]. Эти сведения затруднительно экстраполировать на российские условия из-за разнообразия плодородия почв, климата и способов выращивания культуры. Зачастую в вишневых садах рекомендуют применять высокие дозы минеральных удобрений на основе оценки их влияния на качественные показатели плодов в течение 2–3-х последовательных периодов вегетации без учета свойств почв [13–15]. Характеристику почвы в этих исследованиях обычно используют с целью оценки почвенных условий для роста деревьев, что не отражает изменений свойств почв с течением времени. Слабая изученность проблемы обуславливает необходимость длительного изучения современных почвенных процессов под вишневыми садами в связи со спецификой питания культуры в региональных условиях для разработки научно обоснованных программ минерального питания.

Цель работы — оценка влияния систематического внесения мочевины и сульфата калия на изменение агрохимических параметров агросеры почвы вишневого сада в почвенно-климатических условиях Среднерусской возвышенности.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперимент проводили в течение 6-ти лет (2017–2022 гг.) в вишневом саду 2015 г. посадки, расположенном в садовом массиве ВНИИСПК (Орловская обл., 53°00′09.5″ N, 36°04′19.1″ E). Климат умеренно континентальный со среднегодовой температурой 5.5°C. Годовое количество осадков в годы проведения исследования составило 450–703 мм. Сумма положительных температур находилась в пределах 2860–3280°C.

Для проведения исследования была выбрана вишня (*Prunus cerasus* L.) сорта Тургеневка на подвое В-2-180. Схема размещения деревьев — 5 × 3 м. Почва опытного участка — агросера среднесуглинистая по классификации почв России (2004) [16] или loamy haplic Luvisol по классификации почв WRB (2014) [17].

Система содержания почвы в рядах деревьев — обработка гербицидами, в междурядьях с 2015 по 2019 г. — черный пар, а с 2020 г. — залужение. В саду проводили защитные мероприятия от вредителей и болезней, общепринятые для данной культуры.

До начала опыта органические и минеральные удобрения в экспериментальном саду не вносили. Полевой опыт по изучению эффективности ми-

неральных удобрений начат в 2017 г. Варианты опыта: 1 — контроль (без удобрений), 2 — N30K40, 3 — N60K80, 4 — N90K120, 5 — N120K160. Азотные и калийные удобрения в форме гранулированных N_м и K_с вносили ежегодно ранней весной (в середине апреля) перед цветением деревьев на глубину 10–15 см. Опыт проводили в трехкратной повторности с рендомизированным расположением делянок. На каждой учетной делянке расположено 4 дерева.

Почвенные образцы, смешанные из 3-х точечных проб, отбирали в 2017 и 2022 г. (в 1-й и 6-й годы внесения удобрений) в начале октября в подкормочной зоне деревьев на расстоянии 1.0–1.2 м от штамба с глубины 0–20, 20–40 и 40–60 см. В них определяли содержание обменного калия и подвижного фосфора по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207-91), гумуса — по методу Тюрина [18]. Обменные формы кальция и магния экстрагировали 1 М NaCl и определяли комплексонометрическим методом с использованием комплексона-III (EDTA-Na₂) [18]. Гидролитическую кислотность определяли в соответствии с ГОСТ 26212-91, pH_{KCl} — в соответствии с ГОСТ 26212-91. Определение калия в экстрактах из почвы проводили на пламенном фотометре Sherwood 410 (Великобритания), фосфора — на спектрофотометре BIO RAD SmartSpek Plus (США). Учет урожая вели весовым методом с каждой делянки.

Для статистической обработки данных был использован дисперсионный анализ с оценкой значимости различий на основе критерия Фишера и *HCP* при уровне значимости $P = 0.05$ [19].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Кислотность почвы является интегральным показателем целого комплекса свойств почвы, определяющих ее плодородие и продуктивность плодовых культур. Одним из важных агрохимических показателей является величина pH_{KCl}, оптимум для вишни варьирует в пределах 5.3–6.0 [20].

Показано, что в яблоневых садах происходит постепенное увеличение кислотности почвы [10]. Это связывают с подкисляющим действием на почву корневой системы яблони: корни растений в процессе дыхания и при поглощении катионов выделяют в почву углекислоту и водород, которые являются динамическим фактором, воздействующим на коллоидный комплекс почвы. Нами не обнаружено такого эффекта для растений вишни. В удобренной почве показатель pH_{KCl}

Таблица 1. Изменение показателей кислотности почвы при внесении минеральных удобрений

Дозы удобрений (фактор А)	Год (фактор Б)		Средние фактора А	Год (фактор Б)		Средние фактора А	Год (фактор Б)		Средние фактора А
	2017	2022		2017	2022		2017	2022	
	слой 0—20 см			слой 20—40 см			слой 40—60 см		
рН _{KCl}									
Контроль	5.69	5.71	5.70	5.67	5.62	5.64	5.49	5.65	5.57
N30K40	5.60	5.41	5.50	5.61	5.51	5.56	5.46	5.71	5.58
N60K80	5.62	5.28	5.45	5.67	5.54	5.60	5.48	5.44	5.46
N90K120	5.72	5.17	5.44	5.73	5.65	5.69	5.74	5.54	5.64
N120K160	5.28	4.79	5.03	5.57	5.38	5.47	5.47	5.28	5.37
Средние фактора Б	5.58	5.27		5.65	5.54		5.53	5.52	
<i>HCP</i> ₀₅	<i>HCP</i> ₀₅ фактора А = 0.19 <i>HCP</i> ₀₅ фактора Б = 0.12 <i>HCP</i> ₀₅ фактора АБ = 0.26			<i>HCP</i> ₀₅ фактора А = 0.16 <i>HCP</i> ₀₅ фактора Б = 0.10 <i>HCP</i> ₀₅ фактора АБ = 0.22			<i>HCP</i> ₀₅ фактора А = $F_{\Phi} < F_T$ <i>HCP</i> ₀₅ фактора Б = $F_{\Phi} < F_T$ <i>HCP</i> ₀₅ фактора АБ = 0.33		
Гидролитическая кислотность, ммоль/100 г									
Контроль	3.23	2.34	2.79	3.40	2.59	3.00	3.94	2.39	3.17
N30K40	3.85	3.44	3.65	3.82	2.99	3.41	4.92	3.43	4.18
N60K80	3.48	3.85	3.67	3.02	2.98	3.00	3.70	3.19	3.45
N90K120	2.88	4.24	3.56	2.62	2.62	2.62	2.49	2.54	2.52
N120K160	4.16	6.05	5.11	2.99	3.46	3.23	3.02	3.28	3.15
Средние фактора Б	3.52	3.98		3.17	2.93		3.61	2.97	
<i>HCP</i> ₀₅	<i>HCP</i> ₀₅ фактора А = 0.65 <i>HCP</i> ₀₅ фактора Б = 0.41 <i>HCP</i> ₀₅ фактора АБ = 0.92			<i>HCP</i> ₀₅ фактора А = 0.43 <i>HCP</i> ₀₅ фактора Б = 0.27 <i>HCP</i> ₀₅ фактора АБ = 0.61			<i>HCP</i> ₀₅ фактора А = 1.0 <i>HCP</i> ₀₅ фактора Б = 0.64 <i>HCP</i> ₀₅ фактора АБ = 1.4		

был стабильным в течение 6-ти лет исследования (табл. 1).

В длительных полевых опытах установлено, что применение минеральных удобрений в садах способствует увеличению кислотности почвы [7–9]. В нашем исследовании ежегодное внесение азотных и калийных удобрений приводило к снижению pH_{KCl}, и скорость снижения показателя зависела от дозы удобрений. Однократное внесение N120K160 (2017 г.) уже привело к существенному снижению показателя pH_{KCl} по сравнению с контролем. Но для более низких доз этот эффект проявился позже. После 6-ти лет ежегодного внесения удобрений (2022 г.) в вариантах N60K80–N120K160 показатель pH_{KCl} был достоверно ниже уровня 2017 г. Достоверное изменение pH_{KCl} отмечено только в слое 0–20 см.

Показатель гидролитической кислотности более полно отражает кислотность почвы, т.к. включает менее подвижную часть поглощенных

ионов водорода, труднее обменивающихся на катионы почвенного раствора. В 2017 г. в контроле этот показатель увеличивался с глубиной и составил 3.23–3.94 ммоль/100 г. В 2022 г. гидролитическая кислотность в контроле значительно снизилась по сравнению с уровнем 2017 г. во всех изученных слоях почвы и находилась в пределах 2.34–2.59 ммоль/100 г. Аналогичное изменение показателя отмечено и в варианте N30K40 в слое 20–60 см. В садах ВНИИСПК, благодаря близкому залеганию подстилающей породы – доломитового известняка, весь почвенный профиль обогащен карбонатами Са и Mg [21]. Поэтому причиной снижения гидролитической кислотности, по видимому, были катионы кальция, которые периодически подтягиваются из иллювиально-карбонатного горизонта вверх по профилю, вытесняя ионы водорода и алюминия из почвенно-поглощающего комплекса. Такому перемещению кальция могло способствовать увеличение годо-

Таблица 2. Изменение содержания обменных форм кальция и магния в почве при внесении минеральных удобрений

Дозы удобрений (фактор А)	Год (фактор Б)		Средние фактора А	Год (фактор Б)		Средние фактора А	Год (фактор Б)		Средние фактора А
	2017	2022		2017	2022		2017	2022	
	слой 0—20 см			слой 20—40 см			слой 40—60 см		
Обменный Са, ммоль/100 г									
Контроль	19.0	19.8	19.4	19.5	20.3	19.9	17.5	19.2	18.3
N30K40	18.4	18.3	18.4	18.9	19.7	19.3	19.6	19.9	19.8
N60K80	18.9	18.3	18.6	19.7	20.1	19.9	18.4	19.5	19.0
N90K120	18.7	18.3	18.5	19.5	20.1	19.8	18.4	18.1	18.3
N120K160	18.1	17.4	17.7	19.1	18.9	19.0	17.2	18.1	17.7
Средние фактора Б	18.6	18.4		19.4	19.8		18.2	19.0	
HCP_{05}	HCP_{05} фактора А = 0.8 HCP_{05} фактора Б = $F_{\Phi} < F_T$ HCP_{05} фактора АВ = 1.1			HCP_{05} фактора А = 0.5 HCP_{05} фактора Б = 0.3 HCP_{05} фактора АВ = 0.8			HCP_{05} фактора А = $F_{\Phi} < F_T$ HCP_{05} фактора Б = $F_{\Phi} < F_T$ HCP_{05} фактора АВ = $F_{\Phi} < F_T$		
Обменный Mg, ммоль /100 г									
Контроль	2.94	2.74	2.84	3.33	2.55	2.94	3.33	2.45	2.89
N30K40	3.14	3.14	3.14	3.14	2.65	2.92	3.14	2.84	2.99
N60K80	2.94	2.94	2.94	3.04	2.75	2.90	3.24	2.45	2.85
N90K120	3.24	3.33	3.28	3.14	2.55	2.85	3.33	2.75	3.04
N120K160	2.94	2.84	2.89	3.43	3.14	3.29	3.14	2.84	2.99
Средние фактора Б	3.04	3.00		3.22	2.73		3.24	2.67	
HCP_{05}	HCP_{05} фактора А = $F_{\Phi} < F_T$ HCP_{05} фактора Б = $F_{\Phi} < F_T$ HCP_{05} фактора АВ = $F_{\Phi} < F_T$			HCP_{05} фактора А = $F_{\Phi} < F_T$ HCP_{05} фактора Б = 0.30 HCP_{05} фактора АВБ = 0.67			HCP_{05} фактора А = $F_{\Phi} < F_T$ HCP_{05} фактора Б = 0.19 HCP_{05} фактора АВ = 0.43		

вого количества осадков в период проведения исследования (с 450 до 703 мм).

В начале опыта (2017 г.) при внесении самой высокой дозы N120K160 гидролитическая кислотность в слое 0–20 см достоверно возросла по сравнению с контролем. Через 6 лет систематического применения удобрений в дозах N90K120 и N120K160 этот показатель в верхнем слое почвы был существенно больше начального (в 1.5 раза). Так же, как и для показателя pH_{KCl} , существенное изменение гидролитической кислотности наблюдали только в слое 0–20 см.

Изменение реакции почвенной среды тесно связано с состоянием обменных катионов кальция и магния в почвенно-поглощающем комплексе. Кальций и магний, с одной стороны, являются жизненно-важными питательными веществами, и с другой стороны, преобладающими основаниями, которые поддерживают нейтральную реакцию почвенной среды.

Уровень доступных растениям форм кальция и магния в почве сада был достаточно высоким (табл. 2). В почве неудобренных делянок содержание обменного кальция в слое 0–20 см за 6 лет не изменилось, а в нижележащих слоях отмечено увеличение его запасов.

При внесении удобрений происходили потери обменного кальция из слоя почвы 0–20 см. Это связано с высокой миграционной способностью кальция [22]. Внесение физиологически кислых мочевины и сульфата калия сопровождается обменными физико-химическими реакциями с почвенно-поглощающим комплексом. В результате в почвенный раствор поступают анионы сильных кислот NO_3^- и SO_4^{2-} , вызывая его подкисление. При этом усиливается подвижность оснований и происходит их вымывание из корнеобитаемого слоя [23]. Потери обменного кальция из верхнего слоя почвы экспериментального сада составили от 4.6 до 35.9 кг/га в зависимости от до-

Таблица 3. Суммарные урожайность и вынос элементов питания с урожаем за период 2018–2022 гг.

Вариант	Суммарная урожайность, т/га	Суммарный вынос элементов питания урожаем, кг/га			
		К	Р	Са	Mg
Контроль	29.3	44.0	28.0	0.43	0.29
N30K40	29.1	49.3	29.3	0.44	0.31
N60K80	35.5	55.9	32.7	0.48	0.35
N90K120	32.6	51.2	29.4	0.46	0.36
N120K160	36.5	56.7	33.3	0.53	0.38
<i>HCP</i> ₀₅	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$

зы удобрений, что значительно превышало вынос кальция урожаем (табл. 3). Это свидетельствовало о слабом влиянии потребления кальция деревьями на кальциевый статус почвы. Потери обменного кальция из серых лесных почв при длительном внесении минеральных удобрений показаны и для яблоневых садов Восточно-Европейской равнины [8, 24].

Установлено, что магний обладает меньшей миграционной способностью, по сравнению с кальцием [22]. Это связано с тем, что магний — катион преимущественно октаэдрического слоя, поэтому он труднее вытесняется из решетки минералов и более прочно удерживается в поглощающем комплексе, чем кальций, который является поглощенным внутрислойным катионом [22].

Показано, что в известкованных почвах потери кальция при внесении удобрений в 2–4 раза превышали потери магния [25]. В садовых почвах юга России при орошении и фертигации происходило обеднение верхних слоев почвы кальцием и насыщение магнием [26]. В преобладающем большинстве почв Тамбовской обл. под интенсивными яблоневыми садами потери кальция в 3.7–13.2 раза превышали потери магния [10].

Главным фактором, влияющим на содержание обменного магния в почве экспериментального вишневого сада, были климатические условия, а минеральные удобрения слабо влияли на этот показатель. В нашем неорошаемом саду при систематическом внесении азотных и калийных удобрений в слое 0–20 см почвы отмечено уменьшение содержания кальция при относительном постоянстве содержания магния (табл. 2). На глубине 20–40 и 40–60 см, во всех вариантах, в том числе и в контроле, в 2022 г. наблюдали существенное снижение содержания обменного магния по сравнению с уровнем 2017 г. Следует отметить, что снижение содержания магния в слое 20–60 см произошло именно в 2022 г., т.к. оценка содержания магния в почве сада ранее этого не выявила [27].

Установлено, что ионы магния, особенно в легких почвах, могут в значительном количестве вымываться с инфильтрацией атмосферных осадков [28]. При этом до 50% потерь магния происходит осенью и весной [29]. Период вегетации 2022 г. был самым влажным и отличался экстремально высоким количеством осадков, выпавших в апреле (145 мм) и сентябре (96 мм). Поэтому снижение содержания обменного магния в нижележащих слоях почвы в 2022 г., возможно, было связано с вымыванием магния за пределы корнеобитаемого слоя.

В опытном хозяйстве был достигнут высокий уровень подвижного фосфора в почвах, поэтому в садах ВНИИСПК фосфорные удобрения не применяют. Содержание подвижных фосфатов в почве экспериментального сада было экстремально высоким (табл. 4). Во время проведения эксперимента уровень подвижных фосфатов в почве не снижался и оставался стабильно высоким во всех вариантах, вынос фосфора урожаем был небольшим и менялся в пределах 28–33 кг/га (табл. 3). Это могло быть связано с фосфатной буферной способностью данной почвы и невысокой потребностью вишни в фосфоре. Содержание его доступных форм в почве в количестве 40 мг/кг является достаточным для этой культуры [30].

После 6-ти лет применения удобрений запасы подвижного фосфора в слое 0–20 см достоверно увеличились (в 1.11–1.23 раза). Этот эффект, возможно, связан с подкислением почвы и частичным переходом фосфора из недоступных фракций в доступные. Показано, что в серой лесной почве трансформация фонда минерального фосфора происходит в основном за счет содержания наиболее доступной для растений фракции однозамещенных фосфатов кальция Са-Р₁ [31]. Устойчивость различных минеральных соединений фосфора в значительной степени зависит от почвенных условий, в том числе и величины кислот-

Таблица 4. Изменение содержания подвижного фосфора и обменного калия в почве при внесении минеральных удобрений

Дозы удобрений (фактор А)	Год (фактор Б)		Средние фактора А	Год (фактор Б)		Средние фактора А	Год (фактор Б)		Средние фактора А
	2017	2022		2017	2022		2017	2022	
	слой 0—20 см			слой 20—40 см			слой 40—60 см		
Подвижный Р ₂ О ₅ , мг/кг									
Контроль	327	309	318	299	317	308	142	181	162
N30K40	333	380	357	323	338	330	178	210	194
N60K80	336	379	358	306	318	312	181	198	189
N90K120	340	376	358	313	331	322	175	198	186
N120K160	336	415	376	310	347	328	146	210	178
Средние фактора Б	334	372		310	330		164	199	
HCP ₀₅	HCP ₀₅ фактора А = 18 HCP ₀₅ фактора Б = 12 HCP ₀₅ фактора АБ = 26			HCP ₀₅ фактора А = F _ф < F _т HCP ₀₅ фактора Б = 19 HCP ₀₅ фактора АБ = F _ф < F _т			HCP ₀₅ фактора А = F _ф < F _т HCP ₀₅ фактора Б = 29 HCP ₀₅ фактора АБ = F _ф < F _т		
Обменный К ₂ О, мг/кг									
Контроль	122	178	150	77.7	72.9	75.3	44.6	53.6	49.1
N30K40	148	263	205	91.0	100	95.7	65.8	57.5	61.7
N60K80	145	243	194	82.6	109	95.8	56.2	57.0	56.6
N90K120	197	270	233	107.1	102	105	63.3	57.2	60.3
N120K160	126	282	204	81.4	113	96.9	65.8	61.3	63.6
Средние фактора Б	148	247		88.0	99.3		59.1	57.3	
HCP ₀₅	HCP ₀₅ фактора А = 35 HCP ₀₅ фактора Б = 22 HCP ₀₅ фактора АБ = 50			HCP ₀₅ фактора А = 22 HCP ₀₅ фактора Б = F _ф < F _т HCP ₀₅ фактора АБ = 31			HCP ₀₅ фактора А = F _ф < F _т HCP ₀₅ фактора Б = F _ф < F _т HCP ₀₅ фактора АБ = F _ф < F _т		

ности почвенного раствора. Фосфаты кальция наиболее устойчивы в условиях щелочной или близкой к нейтральной реакции среды, а при подкислении растворимость этих соединений увеличивается [32]. Нами установлен высокий отрицательный коэффициент корреляции между содержанием подвижного фосфора в слое почвы 0–20 см и показателем рН_{КCl} ($r = -0.71$, $P > 0.01$). Полученные результаты согласуются с исследованиями других авторов [5]. В нижележащих слоях почвы количество подвижного фосфора под влиянием удобрений в течение времени исследования существенно не изменилось.

Вишневые деревья потребляют из почвы значительные количества калия, который по уровню поглощения находится на 2-м месте после азота [33]. Запасы обменных соединений являются основным источником для стабилизации количества калия в почвенном растворе при потреблении элемента растениями [34]. При выращивании пло-

вых культур без применения удобрений может происходить значительное снижение содержания обменного калия и продуктивности растений уже через 8 лет [35].

Калийный баланс сельскохозяйственных почв определяется запасами калия в почве, поступлением его с удобрениями, выносом элемента урожаем и вымыванием во влажные годы. На неудобренных делянках суммарный вынос калия урожаем в первые годы плодоношения деревьев (2018–2022 гг.) составил 44.0 кг/га (табл. 3). При таком выносе различия в содержании обменного калия в неудобренной почве были статистически незначимыми в годы проведения опыта. Это могло происходить из-за способности данной почвы поддерживать оптимальный уровень обменного калия посредством его перехода из необменных форм [34].

Показано, что длительное систематическое внесение калийных удобрений в садах приводило

Таблица 5. Изменение содержания гумуса в почве при внесении минеральных удобрений, %

Дозы удобрений (фактор А)	Год (фактор Б)		Средние фактора А	Год (фактор Б)		Средние фактора А	Год (фактор Б)		Средние фактора А
	2017	2022		2017	2022		2017	2022	
	слой 0—20 см			слой 20—40 см			слой 40—60 см		
Контроль	4.57	4.53	4.55	4.51	4.32	4.42	3.58	3.68	3.63
N30K40	4.43	4.55	4.49	4.33	4.17	4.25	4.10	4.15	4.12
N60K80	4.59	4.76	4.68	4.56	4.54	4.55	4.41	4.27	4.34
N90K120	4.29	4.42	4.36	3.98	4.20	4.09	2.83	3.60	3.22
N120K160	4.54	4.45	4.50	4.40	4.36	4.38	3.64	3.18	3.41
Средние фактора Б	4.48	4.54		4.36	4.32		3.71	3.78	
HCP_{05}	HCP_{05} фактора А = $F_{\phi} < F_{\tau}$			HCP_{05} фактора А = $F_{\phi} < F_{\tau}$			HCP_{05} фактора А = $F_{\phi} < F_{\tau}$		
	HCP_{05} фактора Б = $F_{\phi} < F_{\tau}$			HCP_{05} фактора Б = $F_{\phi} < F_{\tau}$			HCP_{05} фактора Б = $F_{\phi} < F_{\tau}$		
	HCP_{05} фактора АБ = $F_{\phi} < F_{\tau}$			HCP_{05} фактора АБ = $F_{\phi} < F_{\tau}$			HCP_{05} фактора АБ = $F_{\phi} < F_{\tau}$		

к увеличению запасов обменного калия в почве [7, 11, 36]. В экспериментальном вишневом саду, за 6 лет проведения опыта с удобрениями в почву было внесено калия от 240 до 960 кг/га, тогда как суммарный вынос калия урожаем за этот период составил 49.3–56.7 кг/га (табл. 3). Благодаря систематическому внесению удобрений запасы обменного калия в слое 0–20 см почвы существенно увеличились (в 1.4–2.2 раза) и к 2022 г. достигли высокого уровня, который по градации для плодовых культур превышал 200 мг/кг [37]. Четырехкратное увеличение дозы калийных удобрений (от 40 до 160 кг/га) не способствовало пропорциональному увеличению запасов обменного калия. В 2022 г. содержание обменного калия в почве удобренных делянок достоверно не различалось. Вероятно, уровень обменного калия 264 ± 21 мг/кг соответствовал максимальной емкости почвы по отношению к этому элементу. В таком случае при внесении дополнительных количеств калия с удобрениями элемент почти не удерживался в форме обменных катионов, а мигрировал в нижележащие слои почвы в виде более подвижных соединений. Тенденция к обогащению калием более глубоких слоев почвы видна в табл. 5 и была ранее показана в работе [38].

Важнейшим интегральным показателем уровня плодородия почв является содержание в них гумуса. Его количественный и качественный состав определяет биологические, агрохимические и агрофизические свойства почвы. При многолетней эксплуатации садов без использования удобрений содержание гумуса может по-разному изменяться в разных регионах и зависит от начальных его запасов в почве и климатических условий [39]. Например, в условиях Юга России

при выращивании яблони без удобрений, содержание гумуса не изменялось в течение первых 6-ти лет после посадки деревьев, тогда как через 12 лет величины этого показателя были значительно меньше исходного уровня [40]. В почвах лесостепи Украины, напротив, отмечены снижение содержания гумуса в молодых садах и его рост с увеличением возраста деревьев и количества растительного опада [8].

Содержание гумуса в слое 0–60 см почвы экспериментального сада находилось в пределах 3.58–4.57% (табл. 5). Под воздействием монокультуры вишневого сада без внесения удобрений не происходило изменения содержания гумуса в первые годы плодоношения деревьев. Систематическое внесение азотных и калийных удобрений не оказывало достоверного влияния на этот показатель. Различия в содержании гумуса были результатом пространственного варьирования плодородия почвы.

В научной литературе имеются сведения о положительном влиянии минеральных удобрений на урожайность вишни [41, 42]. В Польше, в течение 8-летнего эксперимента, проведенного в интенсивных, ежегодно обрезаемых вишневых садах с высокой плотностью посадки деревьев (1250 и 1920 шт./га) установлено достоверное увеличение суммарной урожайности вишни при внесении азотных удобрений в дозах 60 и 120 кг/га [42].

В нашем вишневом саду с меньшей плотностью посадки (666 деревьев/га), где обрезку не проводили и вынос элементов питания был небольшим и только с плодами, внесение азотных и калийных удобрений не оказало значимого влияния на суммарную урожайность деревьев вишни в

первые 5 лет плодоношения (табл. 3). В вариантах с дозами удобрений N60K80 и более суммарная урожайность деревьев была на 11–25% больше контроля, но эти величины не были статистически достоверными. По-видимому, молодые деревья вишни удовлетворяли свои потребности в элементах питания за счет естественного плодородия почвы с высоким содержанием органического вещества. Биологические особенности минерального питания многолетних плодовых деревьев, такие как способность запасать и повторно использовать питательные вещества для начального роста весной, поглощение элементов питания в течение длительного периода вегетации, дифференцированный характер распределения корней позволяют им наиболее эффективно расходовать питательные вещества по сравнению с однолетними культурами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показано, что ежегодное применение удобрений в дозах N30K40–N90K120 способствовало увеличению запасов обменного калия в верхнем слое 0–20 см почвы и не влияло на содержание органического вещества в корнеобитаемом слое почвы сада. При этом под действием удобрений в дозах свыше N60K80 происходило увеличение кислотности почвы и потери обменного кальция в слое 0–20 см почвы. Применение удобрений не оказало достоверного влияния на суммарную урожайность вишни в первые годы плодоношения. Таким образом, агросерая среднесуглинистая почва, имеющая благоприятные агрохимические показатели, может обеспечивать рост и плодоношение вишневых деревьев без дополнительного применения удобрений в течение 8-ми лет после посадки сада.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. FAOSTAT Crops. <http://faostat.fao.org/beta/en/#data/QC>
2. Zhao J., Liu Z., Zhai B., Jin H., Xu X., Zhu Y. Long-term changes in soil chemical properties with cropland-to-orchard conversion on the Loess Plateau, China: Regulatory factors and relations with apple yield // *Agricult. Syst.* 2023. V. 204. P. 103562. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2022.103562>
3. Milošević T., Milošević N. (2020) Soil fertility: Plant nutrition vis-à-vis fruit yield and quality of stone fruits (Chapter 41) / Eds. A.K. Srivastava, Chengxiao Hu, // *Fruit Crops. Diagnosis and Management of Nutrient Constraints*. Elsevier, 2020. P. 583–606. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818732-6.00041-1>
4. Бурдуковский М.Л., Голов В.И., Ковшик И.Г. Изменение агрохимических свойств основных пахотных почв юга Дальнего Востока при длительном сельскохозяйственном использовании // *Почвоведение*. 2016. № 10. С. 1244–1250. <https://doi.org/10.7868/S0032180X16100051>
5. Васбиева М.Т. Изменение фракционного состава минеральных фосфатов, содержания подвижного фосфора и степени подвижности фосфатов по профилю дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений // *Агрохимия*. 2021. № 7. С. 3–12. <https://doi.org/10.31857/S0002188121070115>
6. Завьялова Н.Е., Васбиева М., Шишков Д.Г., Казакова И.В. Влияние минеральных удобрений на трансформацию калийного фонда дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы // *Агрохимия*. 2022. № 1. С. 3–9. <https://doi.org/10.31857/S0002188122010136>
7. Ge S., Zhu Z., Jiang Y. Long-term impact of fertilization on soil pH and fertility in an apple production system // *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 2018. V. 18. № 1. P. 282–293. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162018005001002>
8. Kopytko P., Karpenko V., Yakovenko R., Mostoviyak I. Soil fertility and productivity of apple orchard under a long-term use of different fertilizer systems // *Agron. Res.* 2017. V. 15. № 2. P. 444–455.
9. Сергеева Н.Н., Ярошенко О.В. Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на агрохимические свойства серой лесостепной почвы предгорной зоны Краснодарского края // *Плод-во и ягод-во России*. 2020. Т. 58. С. 350–355. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2019-58-350-355>
10. Захаров В.Л. Изменение свойств и снижение бонитета почв разных типов в яблоневых садах Тамбовской области // *Вестн. КрасГАУ*. 2010. № 10. С. 30–36.
11. Milošević T., Milošević N. The effect of organic fertilizer, composite NPK and clinoptilolite on changes in the chemical composition of degraded Vertisol in Western Serbia // *Carpath. J. Earth Environ. Sci.* 2010. V. 5. № 1. P. 25–32.
12. Rutkowski K., Łysiak G.P., Zydlik Z. Effect of nitrogen fertilization in the sour cherry orchard on soil enzymatic activities, microbial population, and fruit quality // *Agriculture*. 2022. V. 12. № 12. P. 2069. <https://doi.org/10.3390/agriculture12122069>
13. Uçgun K. Effects of nitrogen and potassium fertilization on nutrient content and quality attributes of sweet cherry fruits // *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2019. V. 47. № 1. P. 114–118. <https://doi.org/10.15835/nbha47111225>
14. Yener H., Altuntaş Ö. Effects of potassium fertilization on leaf nutrient content and quality attributes of sweet cherry fruits (*Prunus avium* L.) // *J. Plant Nutr.* 2021. V. 44. № 7. P. 946–957. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1862203>
15. Ateş Ö., Alveroğlu V., Turhan E. Yalçın, G. Taşpınar K., Kızılaslan F. Effects of potassium fertilization on sweet cherry fruit (*Prunus avium* L.) Quality and mineral content // *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 2022. V. 53. № 14. P. 1777–1782. <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2063322>

16. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
17. IUSS Working Group WRB. World reference base for soil resources International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No.106. Rome: FAO, 2014. 181 p.
18. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Амеляничик О.А., Большеева Т.Н., Гомонова Н.Ф., Дурынина Е.П., Егоров В.С., Егорова Е.В., Едемская Н.Л., Карпова Е.А., Прижуклова В.Г. Практикум по агрохимии. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
19. Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н. Методика агрохимических исследований и статистическая оценка их результатов: уч. пособ. 2-е изд. Майкоп: ОАО "Полиграф-ЮГ", 2015. 664 с.
20. Овчаренко М.М., Некрасов Р.В., Аканова Н.И., Прудников П.В., Осипов А.И. Приемы повышения плодородия почв (известкование, фосфоритование, гипсование). Науч.-метод. рекоменд. М.: Росинформагротех, 2021. 116 с.
21. Кузнецов М.Н., Леоничева Е.В., Роева Т.А., Мотыльва С.М., Малякко Г.П., Сычев С.М. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почве садовых агроценозов юга Нечерноземья // Совр. сад-во—Contemporary horticulture. 2012. № 1. С. 24–33.
22. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М. Потери Са, Mg, K, Na, Fe и F из орошаемой лугово-сероземной почвы в результате миграции. Эмпирические модели процесса элювирования (по данным лабораторного опыта) // Агрохимия. 2020. № 1. С. 58–69. <https://doi.org/10.31857/S0002188120010056>
23. Ягодин Б.А. Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия. М.: Колос, 2002. 584 с.
24. Leonicheva E., Stolyarov M., Roeva T., Leonteva L. Calcium in the "soil-plant" system of apple orchard when using nitrogen and potash fertilizers // E3S Web of Conferences. V. 254. P. 05010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125405010>
25. Салаев И.В., Литвинович А.В. Интенсивность миграции кальция и магния из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, мелиорируемой крупными фракциями отсева щебеночного производства // Агрофизика. 2018. № 2. С. 22. <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2018.02.04>
26. Фоменко Т.Г., Попова В.П., Черников Е.А. Влияние химической мелиорации на физико-химические свойства черноземных почв орошаемых плодовых питомников // Рос. сел.-хоз. наука. 2018. № 2. С. 44–49.
27. Roeva T., Leonicheva E., Leonteva L. Changes of the agrochemical soil characteristics in the stone fruit orchard with the permanent application of nitrogen and potash fertilizers // BIO Web of Conferences. EDP Sciences. 2022. V. 47. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224709003>
28. Аканова Н.И., Шильников И.А., Ефремова С.Ю., Аваков М.С. Значение химической мелиорации в земледелии и потери кальция и магния из почвы // Пробл. агрохим. и экол. 2017. № 1. С. 28–35.
29. Grzebisz W. Magnesium—food and human health // J. Elementol. 2011. V. 16. №. 2. P. 299–323.
30. Ystaas J., Froeynes O. Sweet cherry nutrition: effects of phosphorus and other major elements on vigour, productivity, fruit size and fruit quality of 'Kristin' sweet cherries grown on a virgin, acid soil // Norw. J. Agric. Sci. 1995. V. 9. P. 105–114.
31. Якименко В.Н. Влияние длительного применения калийных удобрений на агрохимические свойства почвы // Агрохимия. 2012. №. 12. С. 41–46.
32. Сычев В.Г., Кирпичников Н.А. Приемы оптимизации фосфатного режима почв в агротехнологиях. М.: ВНИИА, 2009. 176 с.
33. Baghdadi M., Sadowski A. Estimation of nutrient requirements of sour cherry // Acta Hort. 1998. № 468. P. 515–522. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.468.64>
34. Якименко В.Н. Действие и последствие калийных удобрений в полевом опыте на серой лесной почве // Агрохимия. 2015. № 3. С. 3–12.
35. Gomand A., Vercammen J., Siongers V., Bylemans D. Multiyear field trials to balance the nutrition of nitrogen and potassium for 'Conference' pear // Acta Hort. 2018. V. 1217. P. 239–246. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1217.30>
36. Gao Y., Tong Y., Lu Y., Ma H. Effect of long-term application of nitrogen, phosphorus and potassium on apple yield and soil nutrient accumulation and distribution in orchard soil of Loess Plateau // J. Fruit Sci. 2012. V. 29. № 3. P. 322–327.
37. Кондаков А.К. Удобрение плодовых деревьев, ягодников, питомников и цветочных культур. Мичуринск: ООО "БИС", 2007. 328 с.
38. Roeva T., Leonicheva E., Leonteva L., Stolyarov M. Potassium dynamics in orchard soil and potassium status of sour cherry trees affected by soil nutritional conditions // J. Central Europ. Agric. 2022. V. 23. № 1. P. 103–113.
39. Сергеева Н.Н., Савин И.Ю., Трунов Ю.В., Драгавцева И.А., Моренец А.С. Многолетняя динамика агрохимических свойств черноземов под яблоневыми садами // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. № 93. С. 21–39.
40. Sergeeva N., Yaroshenko O. The application of biomodified fertilizers as a way to increase the effective fertility of orchard soils // BIO Web Conferences. EDP Sci. 2021. V. 34. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213405001>
41. Szűcs E. Nutrient demand of stone fruits // Inter. J. Horticult. Sci. 2003. V 9. № 2. P. 19–23. <https://doi.org/10.31421/IJHS/9/2/385>
42. Rutkowski K., Łysiak G.P. Weather conditions, orchard age and nitrogen fertilization influences yield and quality of 'Łutówka' Sour cherry fruit // Agriculture. 2022. V. 12. №. 12. <https://doi.org/10.3390/agriculture12122008>

Agrochemical Conditions of Loamy Haplic Luvisol at Sour Cherry Orchard after 6-Year Treatments by Nitrogen and Potassium Fertilizers

T. A. Roeva^{a, #}, E. V. Leonicheva^a, and L. I. Leontieva^a

^a Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding
302530 Orel region, d. Zhilina, Russia

[#] E-mail: roeva@vniispk.ru

In a field experiment in a cherry orchard, the effect of annual application of urea and potassium sulfate on the most important agrochemical properties of the soil in the root zone was evaluated. The soil of the garden is medium-loamy agro-gray with initially favorable parameters: pH_{KCl} 5.8, humus content – 3.58–4.57%. Fertilizers have been applied since 2017 1 time a year in early spring according to the scheme: 1 – control (without fertilizers), 2 – N30K40, 3 – N60K80, 4 – N90K120, 5 – N120K160. Soil samples were taken from soil layers 0–20, 20–40 and 40–60 cm in 2017 (the first year of experience) and in 2022 (after 6 years of fertilization). The annual application of fertilizers for 6 years led to a significant increase (by 1.4–2.2 times) in the availability of exchangeable potassium in the soil layer of 0–20 cm with a constant humus content in the entire root zone. At the same time, an increase in acidity and loss of calcium occurred in the upper layers of the soil under the influence of fertilizers in doses of N60K80 or more. For the period 2018–2022, the highest total yield of Turgenevka cherry trees was noted when applying fertilizers N60K80 and N120K160 (35.5 and 36.5 t/ha, respectively), but this increase was insignificant compared to the control (29.3 t/ha). Thus, an agro-gray medium loamy soil with favorable agrochemical characteristics can ensure the growth and fruiting of cherry trees without the use of fertilizers for 8 years after planting and at the same time the level of soil fertility remains stable.

Keywords: cherry (*Prunus cerasus* L.), permanent application of nitrogen and potash fertilizers, Haplic Luvisol, agrochemical properties of soil, yield.