

АЗОТНЫЙ РЕЖИМ АГРОСЕРОЙ ПОЧВЫ ВИШНЕВОГО САДА И УРОЖАЙНОСТЬ ДЕРЕВЬЕВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ

© 2024 г. Т. А. Роева^{1,*}, Е. В. Леоничева¹, Л. И. Леонтьева¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур
302530 Орел, Орловская обл., д. Жилина, Россия

*E-mail: roeva@orel.vniispk.ru

Исследовали динамику минеральных форм азота (N-NH₄ и N-NO₃) в корнеобитаемом слое почвы вишневого сада в период 2018–2022 гг. с целью оценки доз азота, необходимых для культуры в первое 10-летие после посадки деревьев. Полевой опыт проводили в саду, расположенном в лесостепной зоне Среднерусской возвышенности (Орловская обл.). Мочевину и сульфат калия вносили в почву ежегодно рано весной в дозах, возрастающих от N30K40 до N120K160. Динамика N-NH₄ в почве удобренных и неудобренных участков была аналогичной: самый низкий уровень показателя наблюдали в июле в период созревания плодов. Содержание N-NO₃ в неудобренной почве незначительно изменялось в течение периода вегетации. Внесение удобрений приводило к более интенсивным изменениям уровня N-NO₃, зависящим от погодных условий. Ежегодное внесение удобрений приводило к ежегодному возрастанию содержания N-NH₄ в 2–12 раз, а содержания N-NO₃ в 18–70 раз в зависимости от внесенной дозы азота. При этом накопление минерального азота в корнеобитаемом слое почвы с годами не выявлено. Применение удобрений не оказывало достоверного влияния на урожайность вишни в годы, когда она была не более 15 т/га. В высокоурожайный период вегетации для получения плодов 20 т/га потребовалось применение удобрений в дозе N60K80.

Ключевые слова: вишня (*Prunus cerasus* L.), азотный режим почвы, азотные и калийные удобрения, аммонийный и нитратный азот, урожайность плодов.

DOI: 10.31857/S0002188124090024, **EDN:** CDAWRD

ВВЕДЕНИЕ

Вишня – широко распространенная косточковая культура в России. В настоящее время РФ является лидером среди европейских стран по объему производства вишни и по площадям, занятым этой культурой, которые в 2022 г. составили 297 200 т и 46 442 га соответственно [1].

Интенсивные технологии производства вишни включают использование клоновых подвоев, уплотнение насаждений, уменьшение размера деревьев, сокращение срока вступления в плодоношение и т.п. [2, 3]. Особое значение при таких технологиях имеет оптимальное обеспечение растений азотом. Это связано с поверхностным залеганием корневой системы деревьев на клоновых подвоях, занимающей небольшой объем почвы.

Современные подходы к применению азотных удобрений в многолетних насаждениях базируются на оценке азотного режима почвы [4–8]. Обеспеченность плодовых деревьев азотом в течение вегетации является одним из важных факторов, определяющих эффективность удобрений, урожайность и качество

плодов [6, 7]. В то же время содержание минеральных соединений азота в почве значительно варьирует в течение весенне-осеннего сезона из-за трансформации азота в результате микробиологических преобразований [5]. При этом применение высоких доз азотных удобрений под плодовые культуры снижает их агрономическую эффективность, нарушает естественный азотный цикл почвы, обуславливает изменение соотношения между активными пулами азота и увеличение количества нитратов, дополнительную минерализацию органического вещества почвы, что может приводить к потерям азота и загрязнению окружающей среды [4, 9]. Поэтому для оптимизации системы удобрения и снижения их негативного влияния на окружающую среду необходимо иметь данные об азотном режиме почвы в течение всего периода вегетации изучаемой культуры.

Влияние азотных удобрений на содержание различных форм азота в почве и их связь с азотным питанием плодовых деревьев остаются недостаточно изученными. Имеющиеся в настоящее время сведения по применению азотных удобрений в садах противоречивы. В работах ряда авторов сообщается

об их низкой эффективности, особенно в первые годы плодоношения [7, 8, 10, 11], другие отмечают положительный эффект исключительно умеренных доз [4–6].

Анализ научных публикаций, отражающих проблемы азотного питания вишни, показывает значительный недостаток многолетних исследований, учитывающий состояние азота в системе почва–растение. Для корректной оценки эффективности удобрений и совершенствования диагностики азотного питания вишни требуется информация о взаимосвязи между содержанием азота в почве и растениях в течение периода вегетации, которой мало. Сведения о применении азотных удобрений в вишневых садах имеются преимущественно в зарубежных источниках [6, 12]. Рекомендации по применению азотных удобрений под вишню, адаптированные к условиям различных агроклиматических зон РФ, разработаны недостаточно. Слабая изученность проблемы обуславливает необходимость изучения региональной специфики питания культуры с целью разработки научно обоснованных программ минерального питания на агросерых почвах европейской части РФ.

Цель работы – изучение влияния азотных и калийных удобрений на сезонную динамику минеральных форм азота в корнеобитаемом слое почвы неорошаемого вишневого сада, урожайность деревьев и накопление нитратов в плодах.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперимент проводили в течение 5-ти лет (2018–2022 гг.) в вишневом саду 2015 г. посадки (666 деревьев/га) на территории ВНИИСПК, расположенного в лесостепной зоне Среднерусской возвышенности (Орловская обл.). Климат региона – умеренно континентальный. Среднегодовая температура в годы проведения исследования составила 7.4°C, годовое количество осадков – 450–703 мм. Сумма положительных температур находилась в пределах 2860–3280°C.

Почва – агросерая среднесуглинистая по классификации почв России (2004) [13], или *haplic Luvisol* по классификации почв WRB (2014) [14], характеризовалась следующими показателями в слое 0–60 см: содержание гумуса – 3.58–4.57%, подвижных P_2O_5 и K_2O – 142–327 и 45–122 мг/кг соответственно, $N_{дг}$ – 78.4–108 мг/кг, pH_{KCl} 5.5–5.7 ед., $H_{общ}$ – 3.2–3.9 мг-экв/100 г, обменные Ca и Mg – 2940–3100 и 528–576 мг/кг соответственно. Содержание почвы в междурядьях сада (с 2015 по 2019 гг.) – черный пар, с 2020 г. – залужение, в рядах деревьев – обработка гербицидами. В саду проводили защитные мероприятия от вредителей и болезней, общепринятые для данной культуры.

Опыт начат в 2017 г. с сортом вишни Тургеневка (*Prunus cerasus* L.) на подвое В-2-180. Варианты

опыта: 1 – контроль (без удобрений), 2 – N_M30K_c40 , 3 – N_M60K_c80 , 4 – N_M90K_c120 , 5 – N_M120K_c160 . Азотные и калийные удобрения вносили ежегодно рано весной (середина апреля) на глубину 10–15 см. Повторность трехкратная, размещение вариантов рендомизированное. Каждая учетная делянка включала 5 деревьев (4 опытных, 1 защитное).

Почвенные образцы, смешанные из 3-х точечных проб, отбирали в слоях 0–20, 20–40 и 40–60 см в ряду деревьев на расстоянии 1.0–1.2 м от штамба. Отбор проб почвы проводили 5 раз в течение периодов вегетации, с мая по сентябрь 2018–2022 гг. В свежих почвенных образцах определяли содержание аммонийного азота с реактивом Несслера на спектрофотометре BIO RAD SmartSpek Plus (США) [15]. Содержание нитратного азота в почве (ГОСТ 26488-85) и плодах съемной зрелости (ГОСТ 26951-86) определяли в суспензии с 1%-ным раствором алюмокалиевых квасцов на нитратометре ИТ-1201 (Россия). Учет урожая проводили весовым методом с каждой делянки. Для математической обработки данных использовали дисперсионный и корреляционный методы [16].

За время проведения исследования не наблюдали экстремально неблагоприятных погодных условий, но в 2021 г. урожайность вишни была низкой из-за повреждения цветов и плодовых почек весенними заморозками.

Период вегетации (май–сентябрь) 2018 г. был засушливым (ГТК 0.76), 2019 и 2020 гг. характеризовались нормальными условиями увлажнения (ГТК 1.1), в 2021 и 2022 гг. увлажнение было избыточным (ГТК 1.6 и 1.4 соответственно).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Растения потребляют азот из почвы преимущественно в виде минеральных форм – аммонийной и нитратной. Преобладающей формой неорганического азота в изученной почве был $N-NH_4$. В течение периодов вегетации 2018–2022 гг. его концентрация в слое 0–60 см менялась в диапазоне от 1.62 до 36.7 мг/кг на неудобренных делянках (рис. 1).

При этом количество $N-NO_3$ варьировало в пределах 0.19–9.10 мг/кг, что свидетельствовало о невысокой активности процессов нитрификации.

В экспериментах с ^{15}N установлено, что максимальное поглощение азота деревьями вишни происходило в период созревания плодов [17]. Сезонная динамика $N-NH_4$ в почве изученного сада хорошо соотносилась с этими данными. В годы исследования, независимо от внесения удобрений, концентрация $N-NH_4$ в слое почвы 0–60 см была максимальной в мае и снижалась к июлю–августу в 2.5–12 раз. Такое снижение, видимо, было связано с интенсивным потреблением $N-NH_4$ растениями, а также

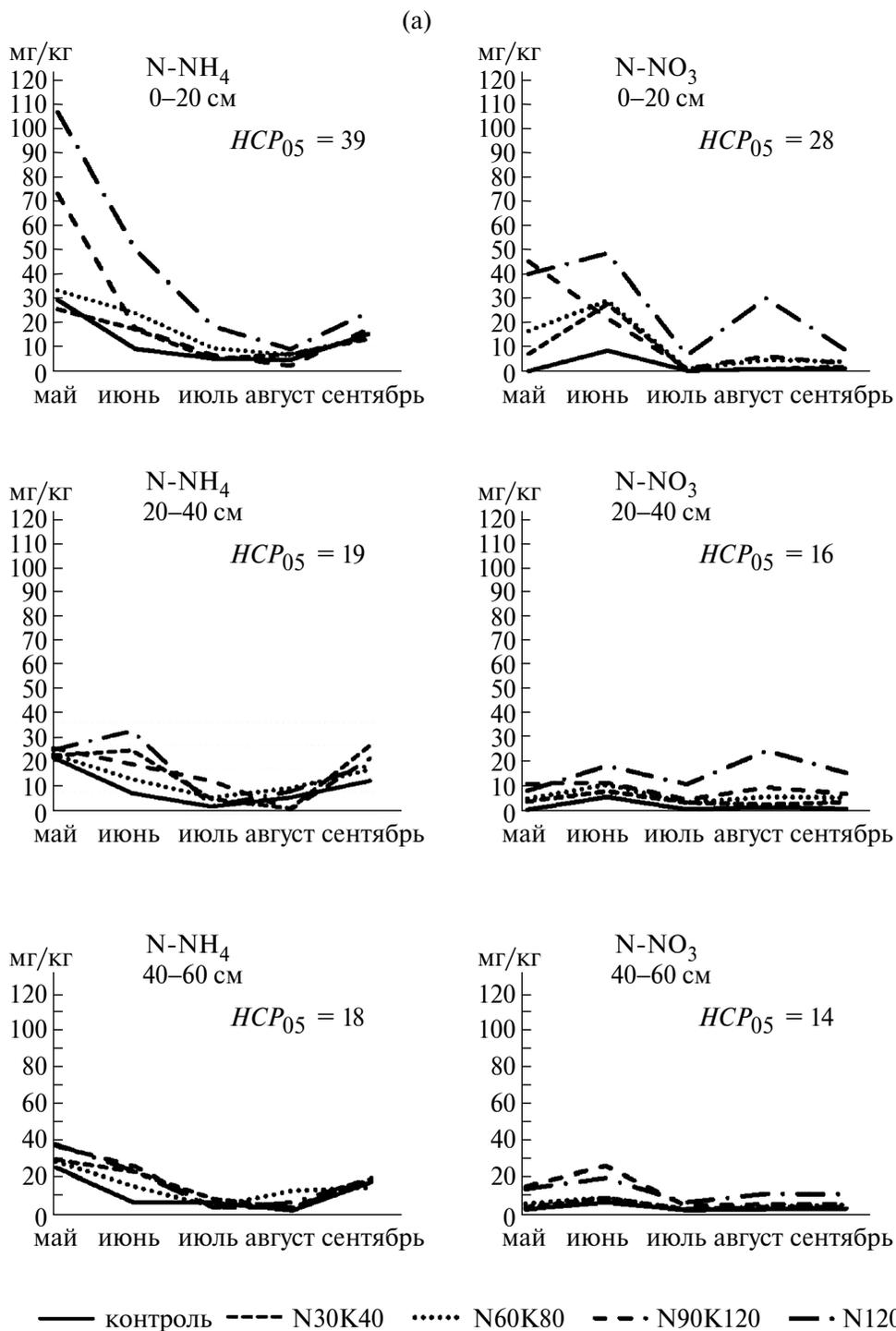


Рис. 1. Содержание аммонийного и нитратного азота в слоях почвы 0–20, 20–40 и 40–60 см под влиянием минеральных удобрений: (а) – 2018 г., (б) – 2019 г., (в) – 2020 г., (г) – 2021 г., (д) – 2022 г.

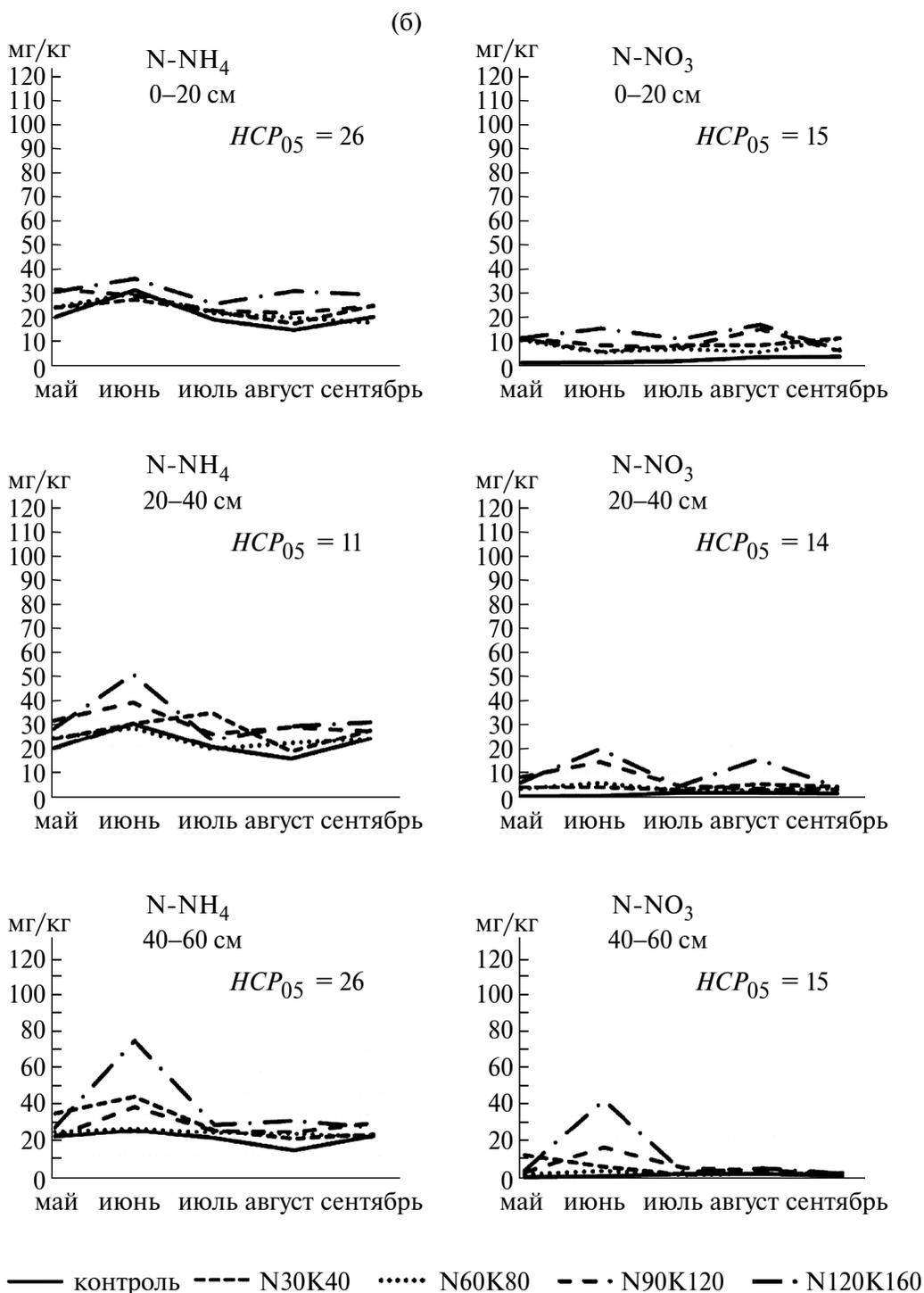


Рис. 1. Продолжение.

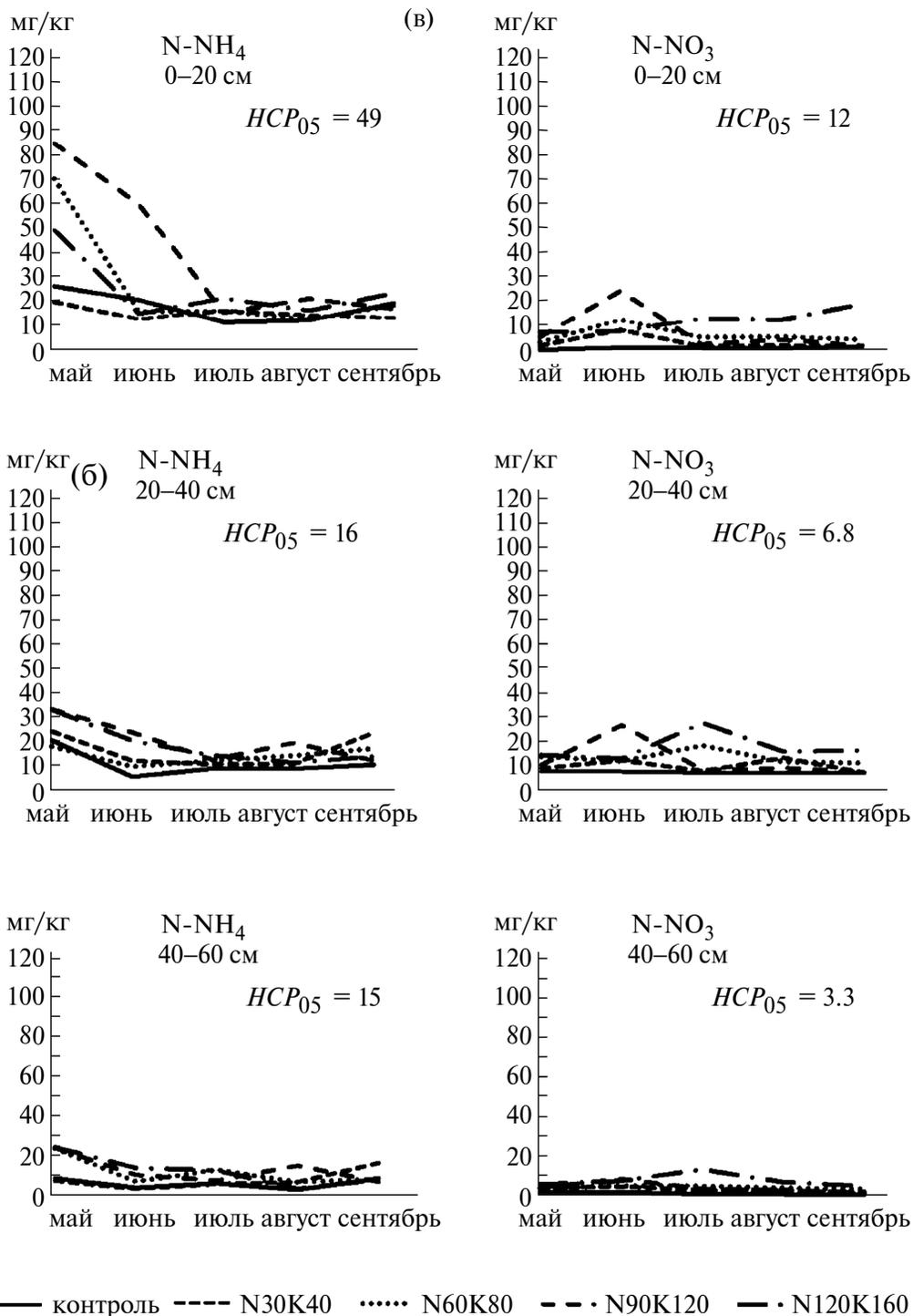


Рис. 1. Продолжение.

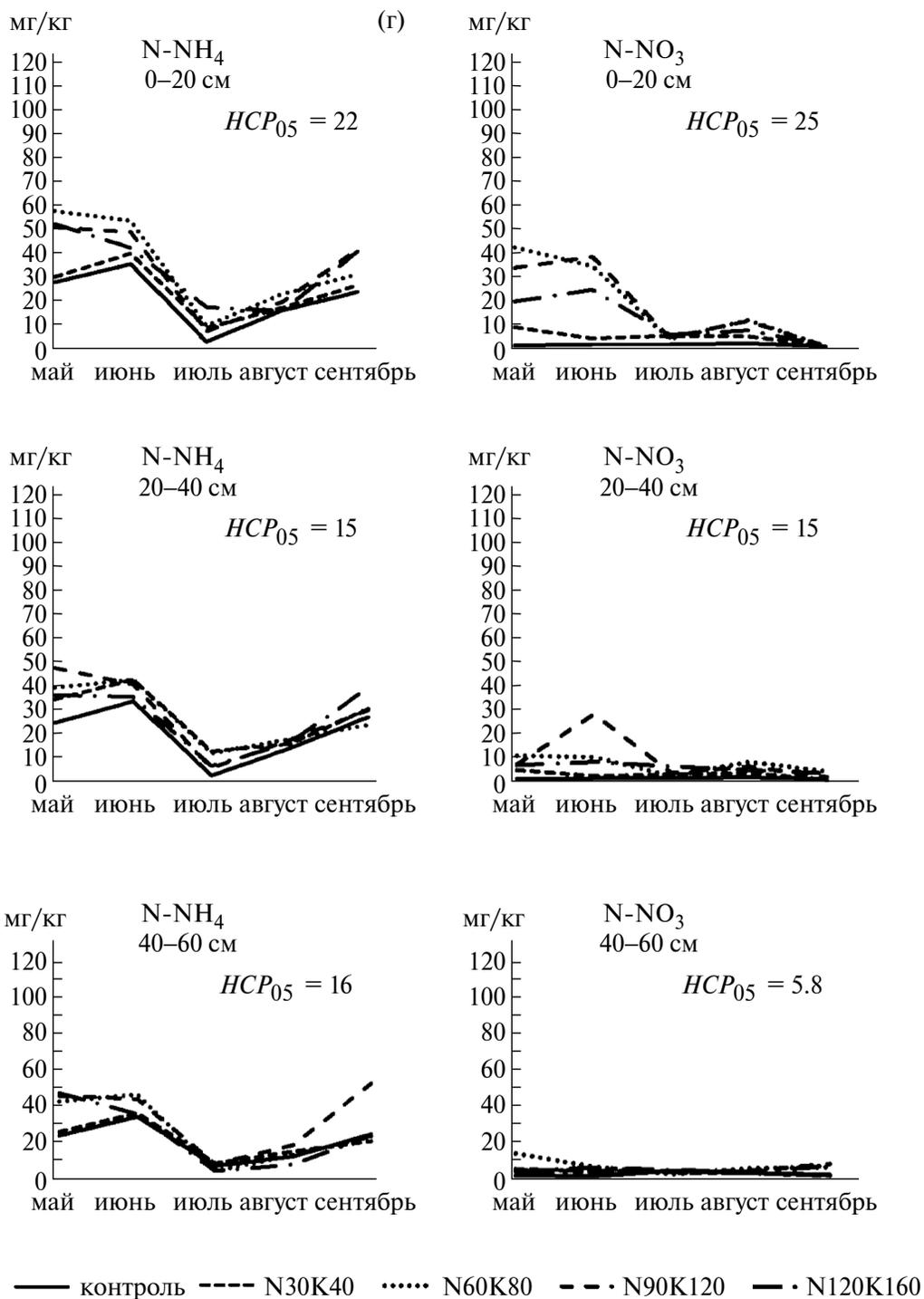


Рис. 1. Продолжение.

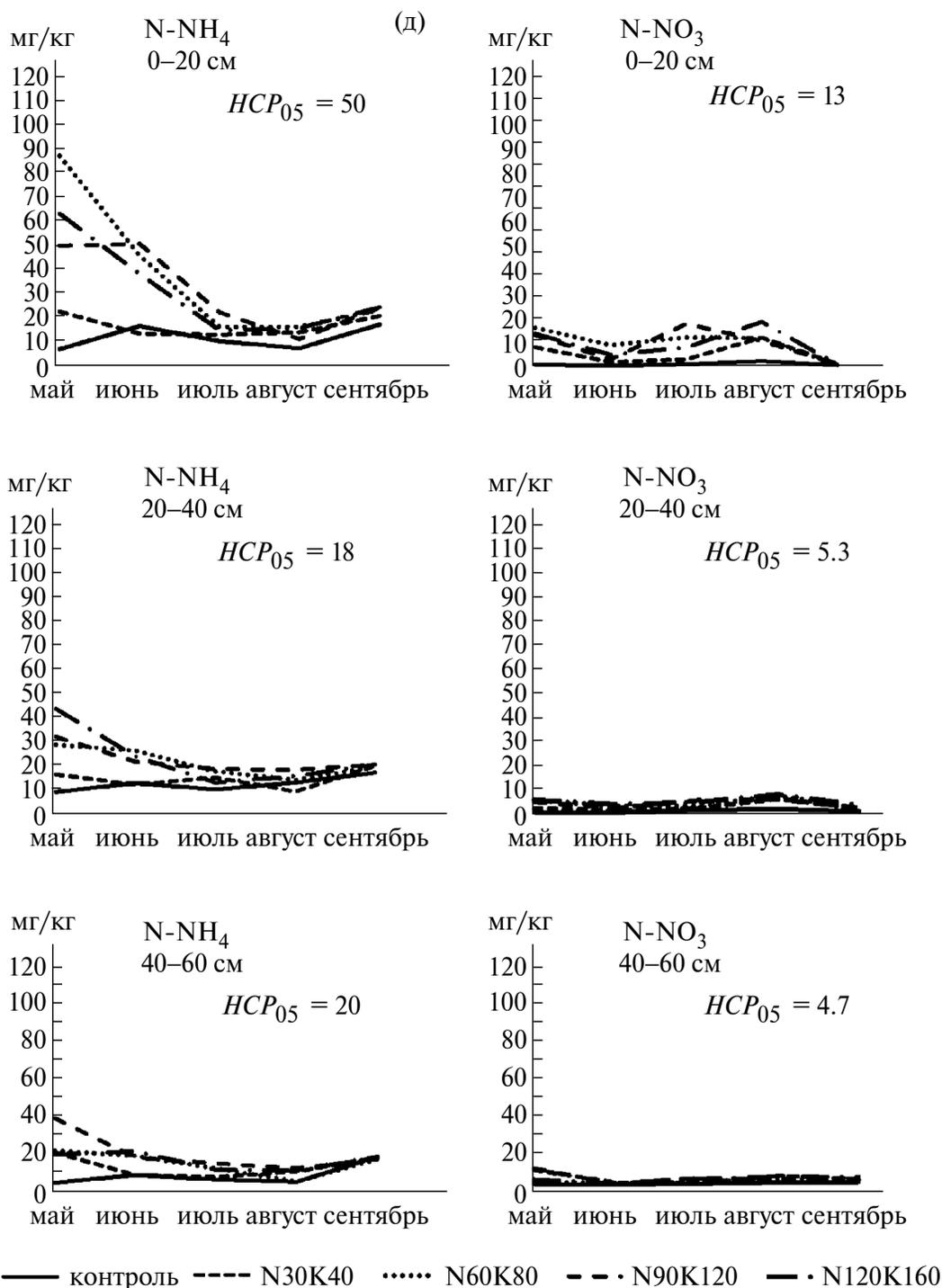


Рис. 1. Окончание.

с иммобилизацией микроорганизмами и глинистыми минералами [18]. В сентябре концентрация $N-NH_4$ в почве возрастала. В условиях Среднерусской возвышенности осенью почва еще достаточно прогрета, и в ней происходит активная деятельность микроорганизмов по минерализации поступивших за сезон органических остатков.

Описанные выше закономерности сезонной динамики $N-NH_4$ сохранялись на протяжении всех лет исследования, за исключением 2019 г. В 2019 г. относительно стабильное содержание аммонийного азота в слое почвы 0–20 см (14.1–30.9 мг/кг) сохранялось в период с мая по сентябрь во всех вариантах опыта (рис. 1б). Вероятно, причиной этого являлись погодные условия периода вегетации. В мае 2019 г. выпали обильные осадки (85 мм), что могло привести к вымыванию минерального азота, внесенного с удобрениями, в более глубокие слои почвы. Поэтому, в отличие от других лет проведения эксперимента, в мае 2019 г. содержание $N-NH_4$ в слое 0–20 см почвы удобрённых делянок не отличалось от контроля. Азот удобрений, перемещённый в более глубокие слои, мог быть иммобилизован почвенными микроорганизмами, поэтому показатели содержания азота на глубинах 20–40 и 40–60 см также достоверно не различались в вариантах опыта. Далее последовал период засухи, продолжавшийся с 27 мая по 26 июня, при этом среднемесячная температура июня была на 3.6°C выше среднеголетних показателей. Это привело к пересыханию верхнего слоя почвы, тогда как в нижележащих слоях, при лучшем прогреве и влажности 17–18%, создались благоприятные условия для дальнейшей микробной трансформации азота удобрений, что привело к возрастанию содержания аммония в нижних слоях почвы удобрённых делянок (рис. 1б). Потребление почвенного азота деревьями в этот период могло быть низким из-за засухи.

Для сезонных изменений содержания $N-NO_3$ была характерна иная специфика (рис. 1). В отличие от аммонийного азота, сезонная динамика $N-NO_3$ различалась на неудобренных и удобрённых делянках. Во всех изученных слоях неудобренной почвы распределение $N-NO_3$ в течение периодов вегетации 2018–2022 гг. было равномерным, без резких сезонных изменений. Внесение удобрений приводило к сезонным изменениям $N-NO_3$ в почве. При этом основным фактором, определяющим характер сезонной динамики $N-NO_3$, являлись гидротермические условия периодов вегетации. На удобрённых делянках в слое 0–20 см почвы весной и в начале лета отмечали рост содержания нитратного азота. Это можно объяснить тем, что достаточный запас влаги и повышение температуры в мае–июне способствовали активации процессов нитрификации мочевины. В июле содержание нитратов снижалось в результате потребления растениями и микроорганизмами, а также, возможно, происходило их вымывание, поскольку в июле 2018,

2020 и 2022 гг. были периоды интенсивных ливней. В августе отмечали повторный пик нитрификации и накопление $N-NO_3$ в почве. В сентябре количество нитратов в почве, как правило, снижалось, что могло быть связано с их трансформацией в другие формы почвенного азота, поскольку содержание аммонийного азота в этот период повышалось. Выявленные нами особенности сезонной динамики минеральных форм азота в почве вишневого сада согласовались с данными других исследований, проведенных в вишневых садах Восточной Европы [6].

Показано, что при внесении азотных удобрений содержание аммонийных и нитратных форм азота в почве под садами значительно возрастает [6, 7]. В изученном саду внесение азотных удобрений приводило к повышению содержания $N-NH_4$ в почве, по сравнению с контролем (в 2–13 раз), преимущественно в слое 0–20 см. Статистически значимые различия между вариантами по содержанию $N-NH_4$ отмечены только в мае–июне, а в последующие месяцы эти различия сглаживались.

В годы исследования увеличение содержания $N-NH_4$ в слое 0–20 см до высокого уровня (50–107 мг/кг) отмечали в вариантах N60K80, N90K120 и N120K160. Необходимо отметить, что только в засушливых мае и июне 2018 г. максимальное содержание $N-NH_4$ было в варианте с максимальной дозой удобрений N120K160 (рис. 1а), причем количество $N-NH_4$ было достоверно больше, чем в вариантах с более низкими дозами. В остальные годы величины показателя в вариантах N60K80, N90K120 и N120K160 статистически не различались между собой (рис. 1б–д). Такой эффект, вероятно, был связан со значительным увеличением в почве концентрации катиона калия, который может активно конкурировать с катионом аммония за обменные позиции [19], поскольку мочевины и сульфат калия вносили в наш эксперимент одновременно. Таким образом, в вариантах с высокими дозами удобрений фиксация катиона $N-NH_4$ почвой могла ослабевать, что облегчает его миграцию в нижние слои почвы.

Известно, что $N-NH_4$ поглощается коллоидами почвы и относительно слабо мигрирует по профилю, но при систематическом применении азотных удобрений все же происходит его вымывание [20]. В нашем опыте ежегодно отмечали периодическое увеличение содержания $N-NH_4$ в слоях 20–40 и 40–60 см почвы в основном при внесении доз удобрений N90K120 и N120K160. В некоторые годы (2021 г.) существенное увеличение содержания $N-NH_4$ в нижних слоях почвы отмечено и при внесении меньшей дозы N60K80. В варианте с самой малой дозой N30K40 не наблюдали миграции аммонийного азота вниз по профилю почвы.

Показано, что при внесении мочевины, являющейся источником азота в амидной форме,

происходит значительное увеличение доли N-NO₃ в почвенном растворе и возрастает риск вымывания нитратов на глубину [9, 21]. Нитраты, в отличие от аммония, отличаются высокой подвижностью и могут легко мигрировать из верхних горизонтов почв в более глубокие слои. Их миграция по профилю почвы во многом зависит от характера водного режима почвы и ее гранулометрического состава. Изученная почва характеризуется периодически промывным типом водного режима, для которого свойственна сильная миграция N-NO₃ в профиле почвы с нисходящими и восходящими потоками влаги при интенсивном применении азотных удобрений [22].

В неорошаемом экспериментальном саду концентрация N-NO₃ в слое 0–20 см почвы существенно возрастала (в 18–70 раз) по сравнению с контролем при внесении мочевины в дозах N90 и N120 (рис. 1). Увеличение концентрации нитратного азота при внесении доз >N60 создавало предпосылки для миграции N-NO₃ вглубь почвенного профиля. В среднем за изученный период содержание N-NO₃ в нижнем слое 20–60 см почвы превышало контроль (1.4 ± 0.5 мг/кг) в 2.4–8.6 раза в зависимости от величины доз удобрений и условий года. Можно предположить, что нитраты могут мигрировать глубже изученного нами слоя 0–60 см, т.к. имеются данные о накоплении N-NO₃ на глубине 1 м и более в почве интенсивно удобряемых садов [4, 5, 23]. Об этом может свидетельствовать высокая влажность почвы в слое 0–60 см, которая в периоды обильных осадков превышала 20%.

Оценка сезонной динамики минерального азота показала, что он не накапливался в корнеобитаемом слое почвы при внесении удобрений. Величины этого показателя определялись гидротермическими условиями, потребностью деревьев и количеством внесенных удобрений в каждом отдельно взятом периоде вегетации.

Определяющим фактором оценки эффективности удобрений является урожайность. Потенциальная урожайность деревьев вишни сорта Тургеневка в условиях нашего опыта достигала 20 т/га [24]. Деревья вступили в период плодоношения в 2018 г. В 2018–2021 гг. была получена урожайность на уровне 1.21–6.15 т/га, которая существенно не зависела от доз внесенных удобрений (табл. 1). В 2022 г. урожайность достигла максимума и в среднем в опыте составила 17.3 ± 2.3 т/га.

Важными факторами, повлиявшими на урожайность вишни в 2022 г., были метеорологические характеристики воздуха и почвы и уровень содержания минерального азота в предшествующем периоде вегетации. Гидротермические условия 2021 г. (повышенные температура и влажность) способствовали оптимизации процессов трансформации азота удобрений и органического вещества в агросерой почве, что привело к высокой обеспеченности минеральным азотом слоя 0–60 см почвы как на удобренных, так и неудобренных делянках (рис. 1г).

Благоприятный азотный режим почвы в 2021 г., а также низкая урожайность (из-за заморозков в период цветения) способствовали созданию у деревьев запаса питательных веществ и закладке большого количества цветковых почек. В результате в 2022 г. деревья вишни сорта Тургеневка практически смогли реализовать свой продуктивный потенциал.

Положительное влияние условий азотного питания деревьев на их урожайность в последующем периоде вегетации подтверждали результаты корреляционного анализа между урожайностью в 2022 г. и содержанием в почве форм N-NO₃, N-NH₄ и N-NH₄ + N-NO₃ в предшествующий 2021 г. Были выявлены статистически значимые положительные корреляции между этими величинами ($r = 0.67–0.91$, $p < 0.05$). При этом величина будущего урожая более тесно была связана с содержанием в почве N-NO₃

Таблица 1. Урожайность деревьев вишни сорта Тургеневка, т/га (2018–2022 гг.)

Вариант	Годы					Средние фактора А
	2018	2019	2020	2021	2022	
Контроль без удобрений	2.92	5.49	3.97	1.93	15.0	5.86
N30K40	1.57	5.64	5.17	1.75	14.9	5.81
N60K80	2.59	5.77	6.15	1.21	20.0	7.15
N90K120	3.41	4.67	5.44	1.71	18.0	6.64
N120K160	3.56	5.55	6.73	1.97	18.6	7.29
Средние фактора Б	2.81	5.42	5.49	1.71	17.3	
<i>HCP</i> ₀₅	<i>HCP</i> ₀₅ фактора А = 1.9, <i>HCP</i> ₀₅ фактора Б = 1.9, <i>HCP</i> ₀₅ фактора А×Б = 4.2					

и суммарным количеством $N-NH_4 + N-NO_3$. Таким образом, поддержание оптимального азотного режима почвы на протяжении периода вегетации 2021 г. способствовало увеличению урожайности в следующем году.

В 2022 г. урожайность достоверно превысила контроль (на 33.7%) при внесении дозы N60K80. Более высокие дозы не способствовали дополнительному увеличению урожайности. Это указывало на то, что дозы N90K120 и N120K160 были намного больше, чем требуется деревьям даже в год с наиболее благоприятными условиями для реализации продуктивного потенциала. Полученные нами результаты согласуются с данными многолетнего эксперимента, проведенного в Западной Польше, в котором было установлено, что оптимальная доза азотных удобрений для вишневых садов составляет 60 кг/га, а повышение дозы азота до 120 кг/га нецелесообразно [25]. Аналогичные результаты получены и для семечковых культур, выращиваемых на черноземах юга Украины [5].

В экспериментальном саду слабое влияние удобрений на урожайность в 2018–2021 гг., видимо, было связано с естественным уровнем содержания минерального азота, достаточным для удовлетворения потребностей деревьев вишни. Почва сада характеризовалась высоким содержанием гумуса (4.5%), что свидетельствовало о благоприятных условиях для жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, регулирующих биологический круговорот азота в экосистеме сада.

Установлено, что ежегодная потребность 8–10-летних деревьев вишни в азоте составляет 61.9 кг [26]. По данным [27], для формирования урожая 1 т/га 13-летним деревьям вишни ежегодно требуется 6 кг N/га. Проведенные расчеты показали, что даже в неудо-бренной почве нашего сада запасы минерального азота в слое 0–20 см варьировали в течение периодов вегетации в пределах 30–100 кг/га. Такое количество азота превышало потребности 4–7-летних деревьев вишни. Естественного уровня содержания

минерального азота $N-NH_4 + N-NO_3$ в количестве 18 ± 5 мг/кг верхнем слое 0–20 см почвы было достаточно для получения урожайности вишни до 15 т/га. Возрастание урожайности деревьев до 20 т/га потребовало дополнительного азотного и калийного питания. Можно сделать вывод, что для реализации потенциала высокопродуктивных сортов вишни недостаточно только мобилизации природных запасов азота даже в богатых гумусом почвах.

Одним из экологических аспектов применения азотных удобрений является качество плодов, а именно накопление в них нитратов. У плодовых деревьев наибольшая часть нитратов редуцируется в корнях, что связано с высокой активностью в них нитратредуктазы [28, 29]. Однако при обильном азотном питании часть $N-NO_3$ транспортируется через ксилему с транспирационным потоком к листьям и плодам. Количество $N-NO_3$ в растительных тканях зависит от особенностей метаболических процессов, почвенно-климатических факторов, внесения удобрений, степени зрелости плодов [4, 30].

Установлено, что накопление нитратов во фруктах более низкое по сравнению с овощными культурами [30]. В действующих в настоящее время нормативных документах РФ ПДК нитратов в свежих плодах вишни не установлено. Фруктовые консервы для детского питания должны содержать нитратов ≤ 50 мг/кг [31].

В нашем эксперименте содержание $N-NO_3$ в плодах вишни было невысоким (11.5–25.5 мг/кг) (табл. 2), что согласуется с результатами других исследователей [32].

В среднем за 4 года исследования удобрения не оказали достоверного влияния на содержание нитратов в плодах. Важным фактором накопления нитратов в плодах были метеоусловия периодов вегетации. Максимальная концентрация $N-NO_3$ в плодах зафиксирована в 2021 г., когда гидротермические условия были наиболее благоприятными для процессов нитрификации и усвоения нитратов растениями.

Таблица 2. Содержание нитратов в плодах вишни сорта Тургеневка, мг/кг

Вариант	Годы				Средние фактора А
	2019	2020	2021	2022	
Контроль без удобрений	16.3	19.4	22.3	21.6	19.9
N30K40	11.5	19.9	25.3	23.1	20.0
N60K80	14.6	19.2	25.4	21.0	20.0
N90K120	16.9	19.1	25.5	19.0	20.1
N120K160	17.4	18.4	25.5	17.3	19.6
Средние фактора Б	15.3	19.2	24.8	20.4	
HCP_{05}	HCP_{05} фактора А = 2.1, HCP_{05} фактора Б = 1.9, HCP_{05} фактора А×Б = 4.2				

Хотя имеются сведения о высоких положительных корреляциях между содержанием N-NO₃ в плодах и почве [4, 5], в нашем опыте такой взаимосвязи установлено не было. Таким образом, при ежегодном применении мочевины в дозах N30–N120 на агросерых почвах не возникло потенциальной угрозы накопления нитратов в плодах вишни.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, наиболее важными факторами, определявшими особенности сезонной динамики содержания минеральных соединений азота в агросерой почве вишневого сада, были метеорологические условия, потребление растениями минеральных форм азота и дозы удобрений.

Содержание N-NH₄ в корнеобитаемом слое почвы было максимальным в мае и снижалось к июлю–августу в 2.5–12 раз. При этом сезонная динамика N-NH₄ была сходной на удобренных и неудобренных делянках. При выращивании вишни без минеральных удобрений распределение N-NO₃ в почве сада было равномерным в течение периодов вегетации. Внесение удобрений приводило к сезонным изменениям содержания N-NO₃, характер которых в большей степени зависел от гидротермических условий.

Ежегодное применение мочевины в дозах N60–120 приводило к повышению содержания доступных форм азота в слое 0–20 см почвы: содержание N-NH₄ увеличивалось в 2–12 раз, N-NO₃ – в 18–70 раз. При этом накопления минерального азота в корнеобитаемом слое почвы не происходило. Величина содержания N-NH₄ + N-NO₃ определялась гидротермическими условиями, потребностью деревьев и количеством внесенных удобрений в каждом отдельно взятом периоде вегетации. Перемещение N-NO₃ в более глубокие слои почвы происходило, когда дозы удобрений превышали N60K80.

Увеличение количества доступного азота в сочетании с калийным питанием не оказывало достоверного влияния на урожайность деревьев вишни, когда она составляла не более 15 т/га. Для получения такого количества плодов было достаточно естественных запасов минерального азота N-NH₄ + N-NO₃ на уровне 18 ± 5 мг/кг. Возрастание урожайности деревьев до 20 т/га потребовало дополнительного азотного и калийного питания в количестве N60K80, что приводило к увеличению урожайности на 33.7%. Более высокие дозы N90K120 и N120K160 были избыточными и не приводили к дополнительному увеличению урожайности. Накопления нитратов в плодах под действием удобрений не установлено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. FAOSTAT Crops. <http://faostat.fao.org/beta/en/#data/QC>
2. Унадышева Г.Ю. Инновационные элементы технологии возделывания вишни // Достиж. науки и техн. АПК. 2016. № 30(9). С. 70–72.
3. Koumanov K.S., Staneva I.N., Kornov G.D., Germanova D.R. Intensive sweet cherry production on dwarfing rootstocks revisited // Sci. Horticulturae. 2018. V. 229. P. 193–200.
4. Носко Б.С., Малюк Т.В. Агрехимические и агроэкологические особенности применения азотных удобрений на черноземе южном в интенсивных садах груши // Агрехимия. 2010. № 9. С. 50–59.
5. Maliuk T., Pcholkina N., Kozlova L., Yeremenko O. Nitrogen in soil profile and fruits in the intensive apple cultivation technology // Modern development paths of agricultural production: Trends and innovations. Cham: Springer International Publishing, 2019. P. 737–751.
6. Rutkowski K., Łysiak G.P. Effect of nitrogen fertilization on tree growth and nutrient content in soil and cherry leaves (*Prunus cerasus* L.) // Agriculture. 2023. V. 13(3). P. 578.
7. Kowalczyk W., Wrona D., Przybyłko S. Effect of nitrogen fertilization of apple orchard on soil mineral nitrogen content, yielding of the apple trees and nutritional status of leaves and fruits // Agriculture. 2022. V. 12(12). P. 2169.
8. Leonicheva E., Roeva T., Leonteva L., Stolyarov M. Nitrogen regime of Haplic Luvisol in orchards at fertilization // BIO Web of Conferences. EDP Sciences, 2021. № 36.
9. Chen S., Zhang S., Hu T., Li H., Sun J., Sun G., Liu J. Responses of soil reactive nitrogen pools and enzyme activities to water and nitrogen levels and their relationship with apple yield and quality under drip fertilization // Sci. Horticulturae. 2024. V. 324. P. 112632.
10. Ernani P.R., Rogeri D.A., Proença M.M., Dias J. Addition of nitrogen had no effect on yield and quality of apples in a high density orchard carrying a dwarf rootstock // Revista Brasileira de Fruticultura. 2008. № 30(4). P. 1113–1118.
11. Rubio Ames Z., Brecht J. K., Olmstead M.A. Nitrogen fertilization rates in a subtropical peach orchard: effects on tree vigor and fruit quality // J. Sci. Food Agriculture. 2020. № 100(2). P. 527–539.
12. Sanchez J.E., Edson C.E., Bird G.W., Whalon M.E., Willson T.S., Harwood R.R., Kizilkaya K., Nugent J.E., Klein W., Middleton A., Loudon T.L., Mutch D.R., Scrimger J. Orchard floor and nitrogen management influences soil and water quality and tart cherry yields // J. Amer. Soc. Hort. Sci. 2003. № 128(2). P. 277–284.
13. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

14. 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.
15. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Амелянчик О.А., Большеева Т.Н., Гомонова Н.Ф., Дурьнина Е.П., Егоров В.С., Егорова Е.В., Едемская Н.Л., Карпова Е.А., Прижужокова В.Г. Практикум по агрохимии. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
16. Шейджен А.Х., Бондарева Т.Н. Методика агрохимических исследований и статистическая оценка их результатов: учеб. пособ. 2-е изд. Майкоп: ОАО "Полиграф-ЮГ", 2015. 664 с.
17. Rivera R., Vañados P., Ayala M. Distribution of ¹⁵N applied to the soil in the 'Bing'/'Gisela 6' sweet cherry (*Prunus avium* L.) combination // *Sci. Horticulturae*. 2016. V. 210. P. 242–249.
18. Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Азот в агроэкосистеме на черноземных почвах (к 125-летию экспедиции В.В. Докучаева в Каменную Степь). М.: РАН, 2018. 180 с.
19. Scherer H.W., Feils E., Beuters P. Ammonium fixation and release by clay minerals as influenced by potassium // *Plant Soil Environ*. 2014. № 60. P. 325–331.
20. Минеев В.Г. Агрохимия. М.: Наука, 2006. 720 с.
21. Zhou H., Niu X., Yan H., Zhao N., Zhang F., Wu L., Yin D., Kjellgren R. Interactive effects of water and fertilizer on yield, soil water and nitrate dynamics of young apple tree in semiarid region of northwest China // *Agronomy*. 2019. № 9(7). P. 360.
22. Никитишен В.И., Личко В.И. Баланс азота в агроэкосистемах на серых лесных почвах // *Почвоведение*. 2008. № 4. С. 481–493.
23. Ren M., Li C., Gao X., Niu H., Cai Y., Wen H., Yang M., Siddique K.H.M., Zhao X. High nutrients surplus led to deep soil nitrate accumulation and acidification after cropland conversion to apple orchards on the Loess Plateau, China // *Agricult. Ecosyst. Environ*. 2023. V. 351. P. 108482.
24. Джигадо Е.Н., Гуляева А.А. Улучшение сортимента косточковых культур в средней полосе России // *Совр. сад-во (Contempor. Horticult.)* 2013. № 4(8). С. 11–28.
25. 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). P. 2008.
26. Baghdadi M., Sadowski A. Estimation of nutrient requirements of sour cherry // *ActaHortic*. 1998. № 468. P. 515–522.
27. Roversi A., Monteforte A. Preliminary results on the mineral uptake of six sweet cherry varieties // *ActaHortic*. 2006. № 721. P. 123–128.
28. Gojon A., Bussi C., Grignon C., Salsac L. Distribution of NO₃-reduction between roots and shoots of peachtree seedlings as affected by NO₃-uptake rate // *Physiol. Plantarum*. 1991. № 82(4). P. 505–512.
29. Lee H.J., Titus J.S. Nitrogen accumulation and nitrate reductase activity in MM. 106 apple trees as affected by nitrate supply // *J. Horticult. Sci*. 1992. № 67(2). P. 273–281.
30. Colla G., Kim H.J., Kyriacou M.C., Roupael Y. Nitrate in fruits and vegetables // *Sci. Horticulturae*. 2018. V. 237. P. 221–238.
31. Технический регламент Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции" (ТР ТС 021/2011).
32. Dogan A., Kazankaya A., Balta M.F. Nitrate and nitrite levels of some fruit species grown in Van, Turkey // *Asian J. Chem*. 2008. № 20(2). P. 1191–1198.

Nitrogen Regime of the Agro-Grey Soil of a Cherry Orchard and the Yield of Trees when Applying Fertilizers

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

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

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

The dynamics of mineral nitrogen compounds (N-NH₄ and N-NO₃) in root zone of sour cherry orchard was investigated during 2018–2022 in order to estimate the nitrogen doses essential for this fruit crop in the first decade after planting. The field experiment was carried out at an orchard located in the forest-steppe zone of the Central Russian upland (Orel region). Urea and potassium sulfate were applied to the soil once a year in early spring with doses arising from N30K40 to N120K160 kg/ha. The dynamics of N-NH₄ in the soil of fertilized and unfertilized plots were similar, the lowest level of the indicator was in July during fruit ripening. The content of N-NO₃ in unfertilized soil fluctuated slightly through the vegetation period. The fertilizer treatments led to more intensive seasonal fluctuations of N-NO₃ in dependence of weather conditions. Annual fertilization led to annual increase of N-NH₄ content by 2–12 and N-NO₃ by 18–70 times, depending on the dose of nitrogen. But the accumulation of mineral nitrogen in root zone over the years was not revealed. The fertilizers did not affect sour cherry yield when it was lower than 15 t/ha. Still in the high-yielding season the fertilizers application in dose of N60K80 was necessary to reach the yield 20 t/ha.

Keywords: sour cherry (*Prunus cerasus* L.), soil nitrogen regime, nitrogen and potash fertilizers, ammonium and nitrate nitrogen, yield.