

СПЕЦИФИКА РИЗОСФЕРНОГО МИКРОБНОГО КОМПЛЕКСА ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР ВЛАЖНЫХ СУБТРОПИКОВ РОССИИ

Рогожина Е.В.

*Федеральный исследовательский центр
«Субтропический научный центр Российской академии наук»,
Сочи, Россия, e-mail: RogojinaEW@yandex.ru*

Рогожина Е.В. orcid.org/0000-0002-8473-4217

Проведена оценка ризосферного и почвенного локусов бурых лесных слабо-ненасыщенных почв (Acrisols) садовых агроценозов персика, фундука и азимины, возделываемых на территории города Сочи, по параметрам биологической активности (численность бактерий, актиномицетов, микромицетов, базальное «дыхание», потенциальная активность азотфиксации). Показано, что в целом ризосферный коэффициент для изученных плодовых культур был не высокий (1,1–3,9) или отрицательный (0,1–0,9). Ризосферная зона фундука по сравнению с персиком и азиминой содержала больше целлюлозоразлагающих микроорганизмов (на 2 порядка), азотобактера (% почвенных комочков обрастания выше в 1,5 и 7 раз, соответственно), актиномицетов и микромицетов (на порядок). Было отмечено ингибирование большинства групп микроорганизмов в ризосфере азимины под влиянием корневого депозита, содержащего фенольные соединения. В ризосфере устойчивого к фитопатогемам сорта персика ‘Славный’ отмечена более высокая численность актиномицетов (в 2,4 раза), целлюлозоразлагающих микроорганизмов (в 4 раза) и свободноживущих азотфиксаторов (в 2,6 раза), более активное «дыхание» (в 1,2 раза) и азотфиксация (в 2 раза) по сравнению с неустойчивым сортом ‘Редхавен’. В ризосфере высокоурожайного сорта фундука ‘Президент’ численность актиномицетов в 2 раза ниже, а содержание целлюлозоразлагающих микроорганизмов, «дыхательная» и азотфиксирующая активность выше (в 2, 1,4 и 2 раза, соответственно), по сравнению с низкоурожайным сортом ‘Черкесский-2’. Отмечена более интенсивное «дыхание» в ризосфере по сравнению с почвой как у молодых, так и у полновозрастных растений сорта ‘Славный’, что предполагает активную экссудацию корнями.

Ключевые слова: персик, фундук, азимины, ризосфера, микробный комплекс, влажные субтропики России.

Введение. Расширение знаний о воздействии сельского хозяйства на окружающую среду привело к развитию исследований, направленных на повышение эффективности использования питательных веществ садовыми культурами, рост их экологической устойчивости и получение

экологически безопасной продукции [28]. Изучение функционального и видового потенциала почвенных микробных комплексов многолетних садовых культур являлось важным условием для решения задач, связанных с поддержанием качественного производства, и в то же время обеспечением «здоровья» почвы [37]. В многолетних агроэкосистемах наиболее активной областью почвы, участвующей в поглощении растениями питательных веществ, является ризосфера. Одновременно, это гипердинамичная область почвы, в которой осуществляется круговорот элементов, в первую очередь углерода, с участием микроорганизмов [25]. Взаимовлияние между корнями, микроорганизмами и почвой в ризосфере обеспечивает особое функциональное состояние гипергенезиса, в котором протекают сложные химические, биологические и физические взаимодействия [27]. На доступность и подвижность, а также на скорость усвоения минеральных питательных веществ в ризосфере влияют различные факторы: климатические условия; тип почвы; генотипы растений; возраст культуры, состояние питания растений; агрономические методы; корневой микробиом и динамическое взаимодействие между всеми этими факторами [33, 34, 38]. За последнее десятилетие был достигнут значительный прогресс в понимании того, как корни, микроорганизмы и почва взаимодействуют друг с другом, улучшая доступность питательных веществ в ризосфере. Корневые экссудаты, которые состоят из ряда различных низко- и высокомолекулярных органических соединений, а также неорганических (например, протонов и HCO_3^-) химических веществ, могут взаимодействовать с минералами, что приводит к выветриванию минералов и, таким образом, к мобилизации микроэлементов с последующим увеличением их доли, доступной растениям [29]. Однако в результате высокой микробной активности на границе почвы и корней корневые экссудаты быстро распадаются, что может ограничивать их влияние на подвижность и усвоение питательных веществ. Состав корневых экссудатов специфичен в зависимости от культуры и даже сорта одной культуры. В результате, экссудаты обладают избирательным действием на микробное сообщество, присутствующее в ризосфере, изменяя количественное соотношение основных функциональных групп и таксономическое разнообразие [7, 8]. Влияние корневых экссудатов разных сортов многолетних культур (в частности, чая (*Camellia sinensis* L.), может определять состав ризосферного микробного комплекса не только на уровне видов, но и семейств [39]. Наши исследования ризосферы различных сортов садовых культур влажных субтропиков России, также показали незначительное влияние состава корневого депозита на физико-химические свойства почвы, но преобразующее

влияние на структуру микробного сообщества [16, 17]. Возделывание садовых культур связано с применением удобрений. Реакция многолетних садовых культур на использование удобрений сложна и зависит от взаимодействия между окружающей средой, микроорганизмами и, нередко, комбинированной генетики растений (например, у персика – подвой и привой). Сдвиг парадигмы в науке от чисто неорганических к органическим удобрениям или в сочетании с химическими удобрениями и микробными инокулянтами начал широко использоваться для улучшения здоровья почвы, которое обеспечивало бы более высокое качество продукции и снижение эмиссии CO₂ в ризосфере [26]. Исследования влияния удобрений на микробные комплексы садовых культур влажных субтропиков позволили разработать методологию информативных биоиндикационных мониторинговых наблюдений, имеющих экологическую направленность [7, 10].

В последние годы, изучение экологии таких плодовых культур как персик, фундук и азимина активно проводилось сотрудниками Субтропического научного центра (г. Сочи) с целью успешного их возделывания в регионе и интродукции новых сортов. В частности, изучено влияние природно-климатических факторов на продуктивность сортов персика [3, 21], их физиологическое состояние и биохимический состав плодов [1, 2], устойчивость к фитопатогенам в условиях субтропического климата [5]. Хорошо изучены требования к природным условиям и сортовые особенности культуры фундука [11, 22] и азимины [20]. Проводилось изучение структурно-функционального состояния микробных комплексов почв перечисленных агроценозов, которое отражает благополучие, «здоровье» агроэкосистемы. Проведена оценка ферментативной [24], «дыхательной» [22], азотфиксирующей [18] активности микробных комплексов, изучена их структура [8, 9, 17] и функциональное биоразнообразие методом мультисубстратного тестирования (МСТ) [24]. Однако вопросы, касающиеся особенностей ризосферы растительно-микробных систем названных культур освещены фрагментарно и требовали обобщения.

В результате *целью работы являлось* обобщение результатов исследования структурно-функциональной специфики микробных комплексов, формирующихся в ризосфере растений плодовых культур (персик, фундук, азимина) и их сортов в условиях влажных субтропиков России.

Объекты и методы исследований. Исследования проводили в течение двух лет на базе опытно-коллекционного участка ФГНУ ВНИИЦиСК (ныне ФИЦ ШЦ РАН), г. Сочи, Хостинский район (43°34'26" с. ш., 39°44'57" в. д.), представленного единым массивом площадью 10 га. Согласно Классификации почв России (2004), почвы фона, на котором возделывались агрокультуры относятся к бурозёмам (Cambisols);

в соответствии с World Reference Base for Soil Resources WRB (2014) [40] агрогенно-изменённые почвы названы агрозёмами структурно-метаморфическими (Anthrosols). Изучался групповой состав комплекса ризосферных микроорганизмов плодовых культур – фундука (*Corylus avellana* L.), персика (*Prunus persica* (L.) Batsch) и азимины (*Asimina triloba* (L.) Dunal). Плантация фундука, на которой проводились исследования была заложена в 1984 году, персиковый сад – в 1994 году; насаждения азимины – в 2000 году. Все растения полновозрастные. Сорта персика различались по устойчивости к фитопатогенам: неустойчивый сорт ‘Редхавен’ и устойчивый сорт ‘Славный’. Сорта фундука имели различную урожайность: низкоурожайный сорт ‘Черкесский-2’ и высокоурожайный сорт ‘Президент’. Смешанные образцы двух локусов – ризосферы и почвы для микробиологических исследований отбирались из верхнего слоя почвы (10–20 см) с соблюдением условий стерильности. Образцы почв для микробиологического анализа доставляли в лабораторию в стерильных полиэтиленовых пакетах, освобождали от мелких камней, корней и растительных остатков и хранили при необходимости в холодильнике при $t = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ и естественной влажности от нескольких суток до недели. Для химического анализа образцы отбирали в полотняные мешочки, смешивая 3–5 индивидуальных проб массой по 100–200 г, и после высушивания до воздушно-сухого состояния (при $22\text{ }^{\circ}\text{C}$), измельчали и просеивали (сито с ячейками 1 мм) [13]. Метеорологические условия периода исследований являлись типичными для влажно-субтропической зоны Черноморского побережья России: среднегодовая температура воздуха $-14,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $16,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, соответственно, среднегодовое количество осадков $-1\ 566\text{ мм}$ и $1\ 553\text{ мм}$, соответственно (<http://www.pogodaiklimat.ru/history/37099.htm>).

Микробиологический анализ. Оценку комплекса почвенных и ризосферных микроорганизмов изучаемых садовых агрофитоценозов проводили по соотношению численности представителей основных таксономических групп сапротрофных микроорганизмов (бактерии на мясо-пептонном агаре, актиномицеты на минеральной среде Гаузе-1 и микромицеты на подкисленной среде Чапека), питательными веществами для которых служат продукты экзоосмоса растений (корневые выделения), а также двух функциональных групп: целлюлозоразлагающих микроорганизмов на среде Гетчинсона с добавлением карбоксиметилцеллюлозы, развивающихся в ризосфере за счёт отмирающих корешков, корневых волосков и тканей корня и свободноживущих азотфиксаторов, способных усваивать азот атмосферы в качестве источника азотного питания [15]. Количественный учёт микроорганизмов осуществляли методом поверхностного посева из 10-кратных разведений на плотные

селективные питательные среды [12]. Для оценки населённости почвы азотобактером использовался метод посева почвенных комочков на плотную агаризованную среду Эшби. Определение общего числа клеток бактерий проводили фотоколориметрическим методом в модификации П.А. Кожевина (1995) с применением флюоресцина диацетата. В колбу на 100 мл помещали 1 г почвы и приливали 50 мл стерильной дистиллированной воды. Затем колбу встряхивали с помощью перемешивающего устройства марки ПЭ-0034 в режиме 1 мин при 212 об./мин. Пробу переносили в центрифужные пробирки и центрифугировали 2 мин при 2 000 об./мин. Надосадочную жидкость аккуратно переносили в пробирки по 9 мл в двух повторностях. В каждую пробирку добавляли по 1 мл (1/10 объёма) красителя (fluorescen diacetate). Для приготовления красителя порошкообразный реактив разводили ацетоном 1 : 1000, хранили в ёмкости из тёмного стекла в морозильнике. Пробирки с исследуемой взвесью инкубировали в термостате в течение 3 часов при температуре 28 °С. Измерение оптической плотности проводили на спектрофотометре марки КФК-3 длина волны 490 нм. В качестве холостого раствора использовали стерильную дистиллированную воду с добавлением красителя. Количество клеток микроорганизмов определяли с помощью калибровочной кривой, отражающей зависимость между величиной оптической плотности и числом клеток, подсчитанных методом прямого микроскопического учёта (краситель карболовый эритрозин) для ряда разведений $10^{-1} \dots 10^{-7}$ [14].

Базальное «дыхание» (БД). Определение базального «дыхания» проводили методом абсорбции с титрометрическим окончанием [13]. Модификация метода подробно описана [10].

Потенциальная активность азотфиксации. Определение потенциальной активности азотфиксации проводили на базе кафедры биологии почв МГУ им. М.В. Ломоносова методом ацетиленредукции в свежих образцах [13].

Химические свойства почв плодовых культур. Параллельно в почвенных образцах определяли физико-химические показатели: pH_{KCl} – потенциометрически (ГОСТ 26483-85); гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91); аммиачный азот – колориметрическим методом с реактивом Несслера; фосфор подвижный – по Олсену (прибор УСФ 01); калий обменный – по Масловой со спектрометрическим окончанием (прибор КВАНТ-АФА); кальций и магний обменные – трилонометрически; влажность – весовым методом.

Химические свойства почв под садовыми культурами представлены в таблице 1. Почвы под насаждениями персика и фундука характеризовались слабокислой, а под азиминой – нейтральной реакцией среды. По

содержанию гумуса почвы агроценозов относились к среднегумусированным, а по количеству биогенных элементов являлись низкообеспеченными. Применение органоминеральной системы питания при возделывании культур в той или иной мере отразилось на химическом составе почв: внесение навоза под фундук увеличивало содержание гумуса, аммиачного азота, суммы обменных оснований за счёт повышения содержания обменного кальция; использование торфосмеси при закладке сада азимины способствовало смещению исходно более кислой реакции почвенного раствора к нейтральной, увеличению содержания гумуса, аммиачного азота, подвижного фосфора.

Таблица 1. Агрохимические свойства почв
Table 1. Agrochemical properties of soils

Показатели	Персиковый сад*	Фундучные насаждения**	Азимины***
pH _{KCl}	6,60 ±0,14	6,45 ±0,09	7,20 ±0,11
Гумус, %	4,1 ±0,3	5,7 ±0,3	5,4 ±0,3
NH ₄ ⁺ , мг/кг	4,4 ±0,5	5,6 ±0,3	7,1 ±0,7
K ₂ O, мг/кг	190,0 ±17,0	185,0 ±11,0	180,0 ±20,0
P ₂ O ₅ , мг/кг	96,0 ±10,0	105,0 ±9,0	663,0 ±76,0
Ca ²⁺ , мг-экв/100 г	23,7 ±3,1	30,5 ±4,2	20,2 ±2,3
Mg ²⁺ , мг-экв/100 г	2,3 ±0,1	1,2 ±0,1	2,9 ±0,2
Сумма, мг-экв/100 г	26,0 ±2,0	31,7 ±3,6	23,1 ±3,0

Примечание: * – комплексное применение минеральных удобрений и пестицидов;
** – органоминеральная система удобрения (навоз + удобрения);
*** – торфосмесь под посадку.

Статистический анализ данных. Учёт численности микроорганизмов проводили в 5-ти повторностях, химический анализ – в двух, расчет их величин выполнен на вес сухой почвы (105 °С, 8 ч). Статистическую обработку экспериментальных данных и их визуализацию (диаграммы) выполняли с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. В результате исследований установлено, что общая численность бактерий в ризосфере персика, фундука и азимины в позднеосенний период имела соизмеримые значения – от 12 до 13 млрд клеток, также как и численность свободноживущих азотфиксаторов – от 0,3 до 0,4 млн КОЕ/г почвы (рис. 1). Процент почвенных комочков обрастания азотобактером в ризосфере персика, фундука

и азимины соответствовал 70 %, 100 % и 15 %. Возможно, азотобактер как биоиндикатор проявлял чувствительность к двум факторам – внесению органического удобрения (навоз) под фундуком (максимальное % содержание) и специфическому составу корневого депозита у азимины, содержащему фенольные вещества, ингибирующие его развитие [30]. Численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов в ризосфере изучаемых агроценозов имела достоверные различия и принимала значения в диапазоне от 1,6 до 134,3 млн КОЕ/г. Внесение навоза под фундук и торфосмеси под азимины (органо-минеральная система питания), вероятно, способствовали развитию здесь целлюлозолитиков (больше на 2 и 1 порядок, соответственно) по сравнению с персиком, а значит и более интенсивному процессу разложения целлюлозы. Численность мицелиальных микроорганизмов (актиномицетов от 0,3 до 9 млн КОЕ/г почвы и микромицетов от 0,2 до 5 млн КОЕ/г почвы) в ризосфере, вероятно, также зависела от органического углерода, количество которого в этой микроне зоне зависит как от содержания его в почве, так и от экссудации корнями. Актиномицеты и микромицеты имели максимальные значения численности в ризосфере фундука. Зависимость численности актиномицетов и микромицетов от содержания в почве гумуса была установлена ранее и подтверждалась положительной корреляционной связью между этими показателями ($r = 0,55$ и $0,5$, соответственно) [10].

Сравнительный анализ численности групп микроорганизмов в ризосфере и почве позволил рассчитать ризосферный коэффициент, применяемый для оценки биогенности (количества микроорганизмов) двух почвенных локусов. В целом ризосферный коэффициент для изучаемых культур очень низкий, и даже – отрицательный (рис. 2), что характерно для ряда растений, в том числе субтропических [32]. Отсутствие значительных различий биогенности в ризосфере и почве многолетних культур может быть связано с тем, что в отличие от однолетних, большинство плодовых культур формируют в течение длительного периода более стабилизированную и высокоэффективную систему корневого питания. Достигается это в силу продолжительных физиологических стадий роста, дифференцированного характера распределения корней в почвенном профиле, характерных стадий роста с точки зрения потребности в питательных веществах и предпочтению в потреблении некоторых питательных веществ конкретной плодовой культурой [36]. Величина ризосферного коэффициента зависит от возраста культур и состава корневых экссудатов [33]. Можно предположить, что именно состав и количество корневых экссудатов персика и фундука способствовали развитию в ризосфере этих культур актиномицетов и микромицетов (положительный ризосферный коэффициент), а фенольные соединения в составе депозита корней азимины ингибировали развитие большинства групп микроорганизмов (отрицательный ризосферный коэффициент) (рис. 2).

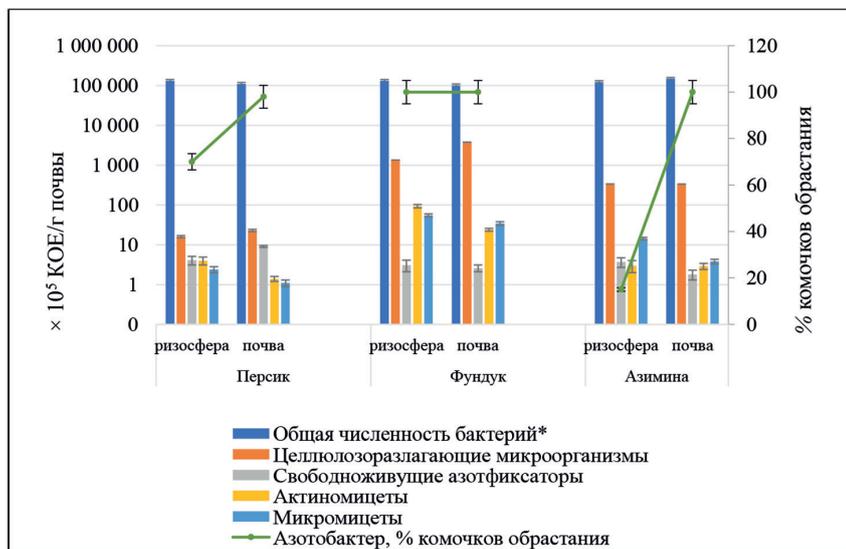


Рис. 1. Численность групп микроорганизмов в ризосфере и почве садовых агрокультур (ноябрь, 2008 г.)

Fig. 1. The number of microorganisms by groups in the rhizosphere and soil of garden crops (November, 2008)

Примечание: * – численность бактерий определена фотоколориметрическим методом с использованием градуировочного графика зависимости оптической плотности D от количества живых и мёртвых клеток в почвенной суспензии, учтённых прямым счётом при микроскопировании

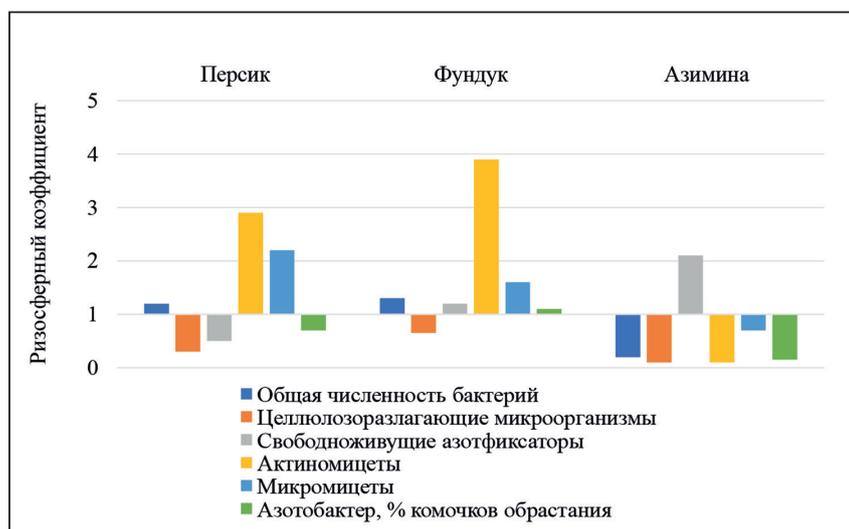


Рис. 2. Ризосферный коэффициент для садовых культур на бурых лесных слабонасыщенных почвах (< 1 – отрицательный) (ноябрь, 2008 г.)

Fig. 2. Rhizosphere coefficient for garden crops on brown forest slightly unsaturated soils (< 1 – negative) (November, 2008)

В ранневесенний период численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов (на 1–2 порядка) и актиномицетов (на порядок) выше в ризосфере персика по сравнению с фундуком (рис. 3), что может быть связано с активной фазой вегетации растения и увеличением количества корневых выделений.

Ризосфера персика сорта ‘Славный’ характеризовалась более высоким содержанием целлюлозоразлагающих микроорганизмов (в 4 раза), свободноживущих азотфиксаторов (в 2,6 раза) и актиномицетов (в 2,4 раза) по сравнению с микробным комплексом сорта ‘Редхавен’, а также наибольшими значениями «дыхательной» (в 1,2 раза) и азотфиксирующей (в 2 раза) активности (рис. 4), которые в целом имели высокие значения [18, 35]. Можно предположить, что благодаря способности актиномицетов продуцировать антибиотики, их более значительное содержание в ризосфере сорта ‘Славный’ обеспечивает устойчивость растений к фитопатогенам в ранневесенний период. Достоверных различий численности сапротрофных бактерий и микромицетов в ризосфере сортов персика не обнаружено.

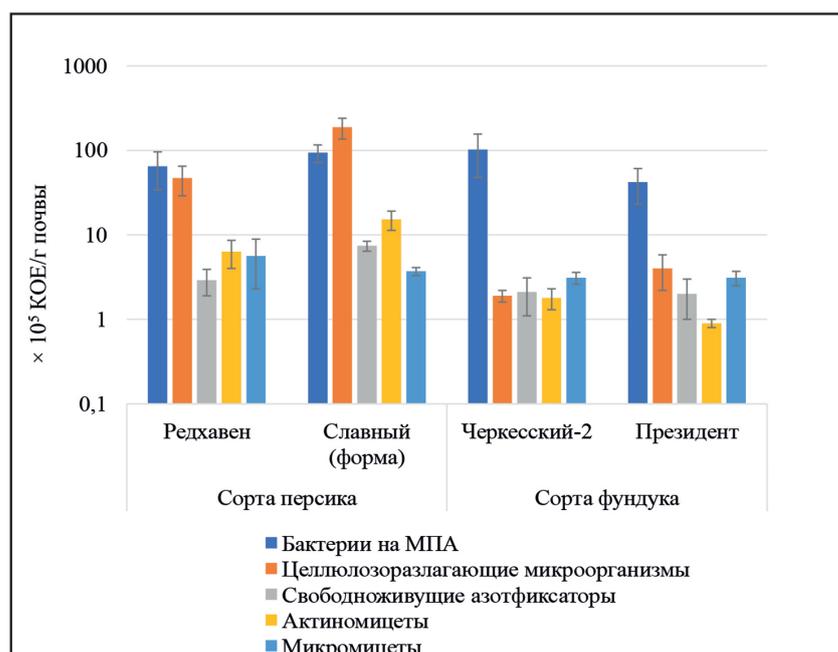


Рис. 3. Групповой состав комплекса ризосферных микроорганизмов сортов персика и фундука в условиях бурых лесных слабонасыщенных почв (апрель 2010 г., глубина 10–20 см)

Fig. 3. Group composition of the rhizospheric microorganisms complex of peach and hazelnut cultivars in conditions of brown forest slightly unsaturated soils (April 2010, depth 10–20 cm)

В ризосфере фундука сорта 'Президент' была определена более высокая численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов (в 2 раза) (рис. 3), активность «дыхания» (в 1,4 раза) и азотфиксации (в 2 раза) по сравнению с сортом 'Черкесский-2' (рис. 4). Вместе с тем численность актиномицетов в 2 раза ниже, что может предполагать более низкий уровень устойчивости сорта 'Президент' к фитопатогенам [17]. Достоверных различий численности сапротрофных бактерий, свободноживущих азотфиксаторов и микромицетов в ризосфере сортов фундука не обнаружено.

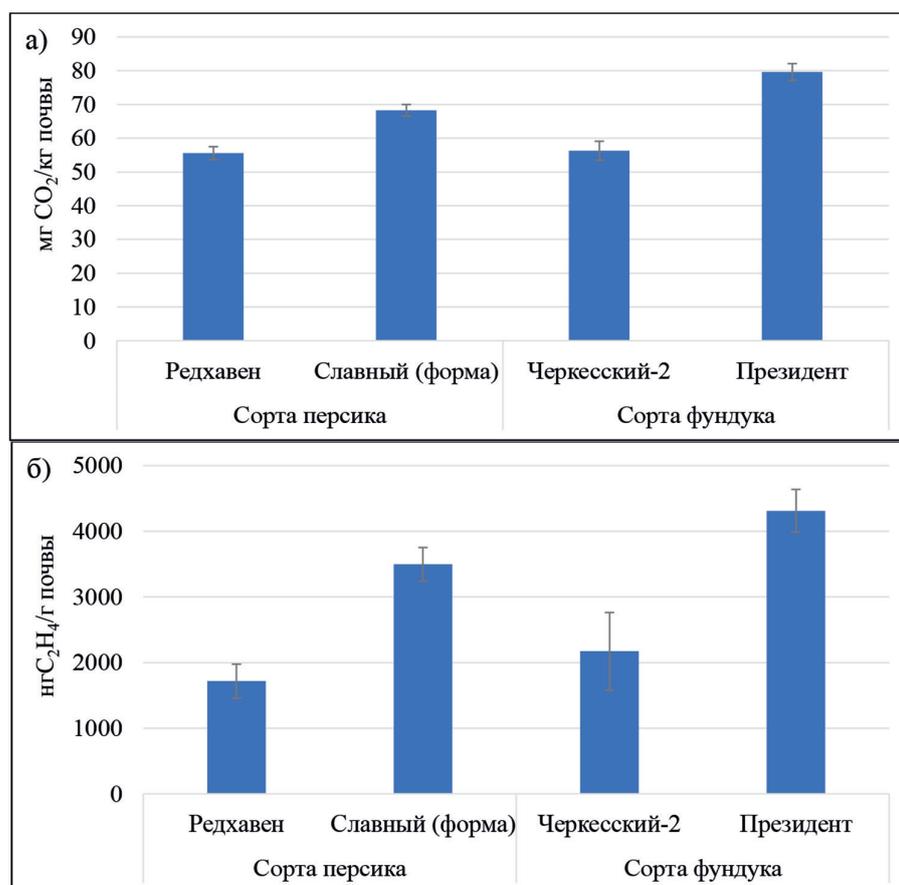


Рис. 4. Функциональная активность ризосферного комплекса микроорганизмов (глубина 10–20 см) контрастных по устойчивости к фитопатогенам сортов персика и фундука: **а** – базальное «дыхание»; **б** – потенциальная активность азотфиксации (апрель 2010 г.)

Fig. 4. Functional activity of the rhizospheric microorganisms complex (depth 10–20 cm) of peach and hazelnut cultivars contrasting in resistance to phytopathogens: **a** – basal "respiration"; **b** – potential nitrogen fixation activity (April 2010)

«Дыхательная» активность микробного комплекса персика различалась у сортов в зависимости от возраста растений. Как ризосферный, так и почвенный микробный комплекс сорта ‘Редхавен’ характеризовался более интенсивным «дыханием» в молодом саду, по сравнению с садом полно-возрастных деревьев (выше в 1,9 и 1,7 раза, соответственно) (рис. 5), что может быть связано с накопительным эффектом многолетнего применения агрохимикатов [19]. Однако для сорта ‘Славный’ был получен противоположный результат, «дыхание» ризосферы и почвы имело более высокие значения в «зрелом» саду (в 1,2 и 1,9 раза, соответственно).

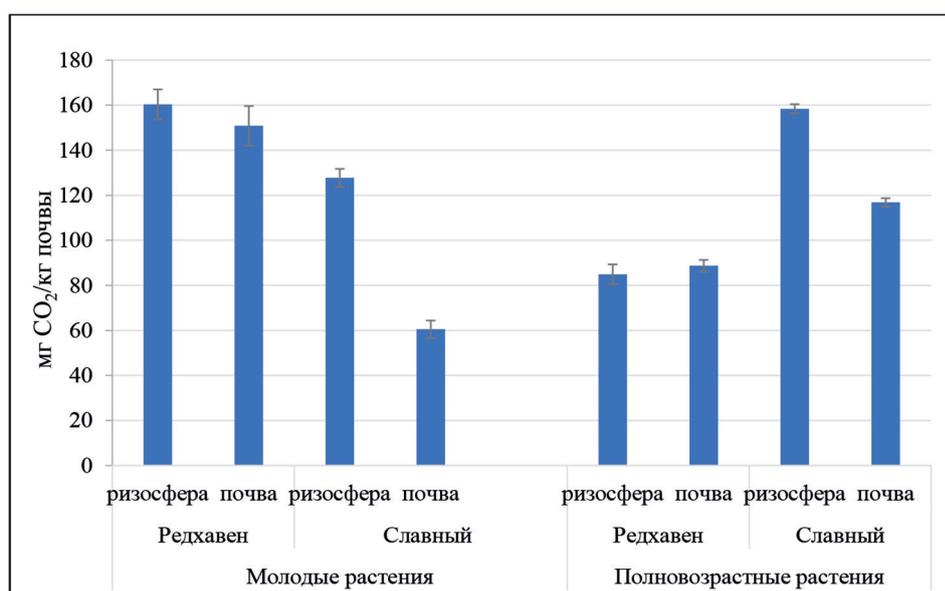


Рис. 5. Базальное «дыхание» в ризосфере разновозрастных персиковых деревьев контрастных по устойчивости к фитопатогенам сортов (апрель, 2010 г.)

Fig. 5. Basal "respiration" in the rhizosphere of different-aged peach cultivars contrasting in resistance to phytopathogens (April, 2010)

Сравнение интенсивности «дыхания» в разных локусах (ризосфере и почве) показало, что у сорта ‘Славный’ «дыхательная» активность в ризосфере как молодых, так и полнозрелых растений выше, чем в почве в 2 и 1,4 раза, соответственно, что демонстрирует более активную экссудацию корнями, т. к. микробное дыхание в ризосферной почве зависит от интенсивности выделения корневого депозита [31]. У сорта ‘Редхавен’ «дыхательная» активность ризосферы и почвы молодых и полнозрелых деревьев не имела достоверных различий, что позволяет предположить низкую средообразующую функцию у растений.

Выводы. Специфика ризосферного микробного комплекса персика, фундука и азимины обусловлена особенностями агротехнических приёмов возделывания, составом корневого депозита, стадией вегетации и свойствами сорта. Органоминеральная система питания (навоз под культурой персика и торфосмесь при закладке сада азимины) способствовала росту численности целлюлозоразлагающих микроорганизмов, актиномицетов и микромицетов. В фазе активной вегетации (ранняя весна) в ризосфере персика отмечено высокое содержание целлюлозолитиков и актиномицетов. Развитие в ризосфере сортов фундука и персика целлюлозоразлагающих микроорганизмов сопровождалось активизацией процессов «дыхания» и азотфиксации. Содержание актиномицетов, предположительно, влияло на устойчивость сортов персика и фундука к фитопатогенам. Фенольные соединения в составе корневых выделений азимины ингибировали развитие микроорганизмов (сапротрофных бактерий, целлюлозолитиков, азотобактера, актиномицетов, микромицетов) в ризосфере.

*Публикация подготовлена в рамках реализации
Государственного задания ФИЦ СХЦ РАН FGRW-2021-0010,
№ госрегистрации 122032400081-5*

Список литературы/References

1. Абиляфазова Ю.С. Изменения физиологического состояния растений персика под влиянием засухи, Новые технологии. 2021; 5 : 99-105. [Abilfazova Y.S. Changes in the physiological state of peach plants under the influence of drought, *Novye Tekhnologii*. 2021; 5 : 99-105. (In Rus)]. DOI: 10.47370/2072-0920-2021-17-5-99-105.
2. Абиляфазова Ю.С. Оценка качества плодов разных сортов персика в условиях Сочи, Субтропическое и декоративное садоводство. 2018; 67 : 137-141. [Abilfazova Y.S. Evaluation of fruit quality of different peach varieties in Sochi conditions, *Subtropical and Ornamental Horticulture*. 2018; 67 : 137-141. (In Rus)]. DOI: 10.31360/2225-3068-2018-67-137-141.
3. Беседина Т.Д. Прогнозирование размещения персика на основе анализа агроэкологических ресурсов влажных субтропиков России и адаптивного потенциала его сортов, Субтропическое и декоративное садоводство. 2018; 66 : 126-135. [Besedina T.D. Prediction of peach placement based on the analysis of agroecological resources of humid subtropics of Russia and adaptive potential of its varieties, *Subtropical and Ornamental Horticulture*. 2018; 66 : 126-135. (In Rus)]. DOI: 2225-3068-2018-66-126-135.
4. Зверев А.О., Першина Е.В., Шапкин В.М. и др. Молекулярный анализ микробных сообществ ризосфер злаков, выращенных на контрастных почвах, *Микробиология*. 2020; 89(2) : 235-246. [Zverev A.O., Pershina E.V., Shapkin V.M. et al. Molecular analysis of microbial communities of cereal rhizospheres grown on contrasting soils, *Microbiologia*. 2020; 89(2) : 235-246. (In Rus)]. DOI: 10.31857/S0026365620010188.
5. Леонов Н.Н., Смагин Н.Е. Устойчивость сортов персика к грибным заболеваниям в субтропиках России, Научное обеспечение устойчивого развития плодового садоводства и

- декоративного садоводства. 2019; 238-243). [Leonov N.N., Smagin N.E. Resistance of peach varieties to fungal diseases in the subtropics of Russia, In Scientific support of sustainable development of fruit and ornamental horticulture. 2019; 238-243). (In Rus)].
6. Лысак Л.В., Лапыгина Е.В. Разнообразие бактериальных сообществ городских почв, Почвоведение. 2018; 9 : 1108-1114. [Lysak L.V., Lapygina E.V. Diversity of bacterial communities of urban soils, Soil Science. 2018; 9 : 1108-1114. (In Rus)]. DOI: 10.1134/S0032180X18090071.
7. Малюкова Л.С., Козлова Н.В., Рогожина Е.В. и др. Возделывание субтропических культур на Черноморском побережье России: эколого-агрохимические аспекты, Сельскохозяйственная биология. 2014; 49(3) : 24-31. [Malyukova L.S., Kozlova N.V., Rogozhina E.V. et al. Cultivation of subtropical crops on the Black Sea coast of Russia: ecological and agrochemical aspects, Agricultural Biology. 2014; 49(3) :24-31. (In Rus)].
8. Малюкова Л.С., Рогожина Е.В., Сергеева Н.Н., Ярошенко О.В. Изучение численности и морфологии представителей основных физиологических групп микробного сообщества двух типов агрогенно-изменённых садовых почв Юга России, Плодоводство и виноградарство Юга России. 2021; 69(3) : 198-214. [Malyukova L.S., Rogozhina E.V., Sergeeva N.N., Yaroshenko O.V. Study of the number and morphology of representatives of the main physiological groups of the microbial community of two types of agro-altered garden soils in the South of Russia, Fruit growing and viticulture of the South of Russia. 2021; 69(3) : 198-214. (In Rus)]. DOI: 10.30679/2219-5335-2021-3-69-198-214.
9. Малюкова Л.С., Рогожина Е.В., Сергеева Н.Н., Ярошенко О.В. Сравнительная характеристика микробценозов двух зональных типов почв под культурой персика в южном регионе, Плодоводство и виноградарство Юга России. 2020; 64(4) : 267-281. [Malyukova L.S., Rogozhina E.V., Sergeeva N.N., Yaroshenko O.V. Comparative characteristics of microbocenoses of two zonal soil types under peach culture in the southern region, Fruit growing and viticulture of the South of Russia. 2020; 64(4) : 267-281. (In Rus)]. DOI: 10.30679/2219-5335-2020-4-64-267-281.
10. Малюкова Л.С., Рогожина Е.В., Струкова Д.В. Диагностика биофункционального состояния агрогенно-изменённых почв под многолетними насаждениями в зоне влажных субтропиков России: монография. Сочи: ФИЦ СНЦ РАН, 2022, 86 с. [Malyukova L.S., Rogozhina E.V., Strukova D.V. Diagnostics of biofunctional state of agro-altered soils under perennial plantations in the humid subtropics of Russia: monograph. Sochi: FIC SNC RAS, 2022, 86 p. (In Rus)]. ISBN: 978-5-904533-45-8.
11. Махно В.Г. Использование рода *Corylus* в декоративном и промышленном садоводстве. Субтропическое и декоративное садоводство. 2014; 50 : 232-235. [Makhno V.G. Use of the genus *Corylus* in ornamental and industrial horticulture. Subtropical and ornamental horticulture. 2014; 50 : 232-235. (In Rus)].
12. Методы почвенной микробиологии и биохимии, под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991, 303 с. [Methods of soil microbiology and biochemistry, edited by D.G. Zvyagintsev. Moscow: Izd-vo MSU, 1991, 303 p. (In Rus)].
13. Практикум по агрохимии, под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001, 687 с. [Practicum on agrochemistry, ed. by V.G. Mineev. Moscow State University, 2001, 687 p. (In Rus)].
14. Практикум по биологии почв, под ред. Г.М. Зенова. М.: Изд-во МГУ, 2002, 120 с. [Practicum on Soil Biology, ed. by G.M. Zenova. Moscow: Izd-vo MSU, 2002, 120 p. (In Rus)].
15. Практикум по микробиологии, под ред. А.И. Нетрусова. М.: Академия, 2005, 608 с. [Practicum on microbiology, ed. by A.I. Netrusov. Moscow: Academy, 2005, 608 p. (In Rus)].
16. Рогожина Е.В. Особенности ризосферного микробного сообщества различных сортов чая в условиях субтропической зоны России, Субтропическое и декоративное садо-

- водство. 2010; 43(1) : 63-69. [Rogozhina E.V. Features of rhizosphere microbocenosis of different varieties of hazelnut under the conditions of subtropical zone of Russia, Subtropical and ornamental horticulture. 2010; 43(1) : 63-69. (In Rus)].
17. Рогожина Е.В. Особенности ризосферного микробоценоза различных сортов фундука в условиях субтропической зоны России, Субтропическое и декоративное садоводство. 2011; 44(6) : 195-201. [Rogozhina E.V. Features of rhizosphere microbocenosis of different varieties of hazelnut under the conditions of subtropical zone of Russia, Subtropical and ornamental horticulture. 2011; 44(6) : 195-201. (In Rus)].
18. Рогожина Е.В., Костина Н.В., Малюкова Л.С. Оценка потенциальной азотфиксирующей активности почв агрофитоценозов субтропической зоны России, Вестник Московского университета. Серия 17 : Почвоведение. 2011; 1 : 35-38. [Rogozhina E.V., Kostina N.V., Malyukova L.S. Estimation of potential nitrogen-fixing activity of soils of agrophytocenoses of the subtropical zone of Russia. Bulletin of Moscow University. Series 17 : Soil Science. 2011; 1 : 35-38. (In Rus)].
19. Рогожина Е.В., Малюкова Л.С. Групповой состав и функциональная активность комплекса ризосферных микроорганизмов культуры чая в условиях субтропической зоны России, Субтропическое и декоративное садоводство. 2009; 42-2 : 111-118. [Rogozhina E.V., Malyukova L.S. Group composition and functional activity of the complex of rhizosphere microorganisms of tea culture in the conditions of the subtropical zone of Russia, Subtropical and ornamental horticulture. 2009; 42-2 : 111-118. (In Rus)].
20. Рындин А.В., Кулян Р.В., Слепченко Н.А. и др. Результаты интродукции субтропических, южных плодовых и цветочно-декоративных культур в ФИЦ СИЦ РАН в 2020 г., Субтропическое и декоративное садоводство. 2021; 77 : 25-44. [Ryndin A.V., Kulyan R.V., Slepchenko N.A. et al. Results of introductions of subtropical, southern fruit and flower and ornamental crops in FIC SSC RAS in 2020, Subtropical and ornamental horticulture. 2021; 77 : 25-44. (In Rus)]. DOI: 10.31360/2225-3068-2021-77-25-43.
21. Рындин А.В., Смагин Н.Е., Абиляфазова Ю.С. Перспективные сорта персика для влажных субтропиков России (Сочи), Субтропическое и декоративное садоводство. 2011; 44 : 119-123. [Ryndin A.V., Smagin N.E., Abilfazova Y.S. Perspective varieties of peach for humid subtropics of Russia (Sochi), Subtropical and ornamental horticulture. 2011; 44 : 119-123. (In Rus)].
22. Рындин А.В., Тутберидзе Ц.В., Беседина Т.Д. Современные сорта фундука селекции Всероссийского научно-исследовательского института цветоводства и субтропических культур, Плодоводство и виноградарство Юга России. 2019; 60 : 71-83. [Ryndin A.V., Tutberidze C.V., Besedina T.D. Modern hazelnut varieties of selection of the All-Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops, Fruit growing and viticulture of the South of Russia. 2019; 60 : 71-83. (In Rus)]. DOI: 10.30679/2219-5335-2019-6-60-71-83.
23. Стома Г.В., Манучарова Н.А., Белокопытова Н.А. Биологическая активность микробных сообществ в почвах некоторых городов России, Почвоведение. 2020; 6 : 703-715 [Stoma G.V., Manucharova N.A., Belokopytova N.A. Biological activity of microbial communities in soils of some Russian cities, Soil Science. 2020; 6 : 703-715. (In Rus)]. DOI: 10.31857/S0032180X2006012X.
24. Струкова Д.В., Малюкова Л.С. Агроэкологическое состояние бурых лесных почв при возделывании персика в Краснодарском крае, Агрохимический вестник. 2017; 4 : 55-58. [Strukova D.V., Malyukova L.S. Agroecological state of brown forest soils under peach cultivation in Krasnodar Krai, Agrochemical Bulletin. 2017; 4 : 55-58. (In Rus)].
25. Berg G., Smalla K. Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere, FEMS Microbiol. Ecol. 2009; 68 :

- 1-13. DOI: 10.1111/j.1574-6941.2009.00654.x.
26. Cheraghi M., Motesharezadeh B., Alikhani H.A., Mousavi S.M. Optimal management of plant nutrition in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) by using biologic, organic and inorganic fertilizers, Journal of Plant Nutrition. 2022; 1-20. DOI: 10.1080/15538362.2021.1895034.
27. Hinsinger P., Gobran G.R., Gregory P.J. Wenzel W.W. Rhizosphere geometry and heterogeneity arising from root-mediated physical and chemical processes, New Phytol. 2005; 168 : 293-303. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2005.01512.x.
28. Kalcsits L., Lotze E., Tagliavini M. et al. Recent achievements and new research opportunities for optimizing macronutrient availability, acquisition, and distribution for perennial fruit crops, Agronomy. 2020; 10(11) : 1738. DOI: 10.3390/agronomy10111738.
29. Mimmo T., Pii Y., Valentinuzzi F., et al. Nutrient availability in the rhizosphere: a review, Acta Hort. 2018; 1217 : 13-28. DOI: 10.17660/ActaHortic.2018.1217.2.
30. Nam J.S., Jang H.L., Rhee Y.H. Nutritional compositions in roots, twigs, leaves, fruit pulp, and seeds from pawpaw (*Asimina triloba* [L.] Dunal) grown in Korea, Journal of Applied Botany & Food Quality. 2018; 91 : 47-55. DOI: 10.5073/JABFQ.2018.091.007.
31. Nannipieri P., Ascher J., Ceccherini M. T., et al. Microbial diversity and microbial activity in the rhizosphere, Ciencia del suelo. 2007; 25(1) : 89-97. ISSN: 1850-2067.
32. Pandey A., Palni L. M.S. The rhizosphere effect in trees of the Indian Central Himalaya with special reference to altitude, Applied Ecology and Environmental Research. 2007; 5(1) : 93-102.
33. Pavliuchenko N.A., Klymenko S., Dobroskok V., Krupa S. Allelopathic and Biochemical Characteristics of the Root Environment of *Asimina triloba* (L.) Dunal, Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality. 2018; 2.
34. Pii Y., Borruso L., Brusetti L., et al. The interaction between iron nutrition, plant species and soil type shape the rhizosphere microbiome, Plant Physiology and Biochemistry. 2016; 99 : 39-48. DOI: 10.1016/j.plaphy.2015.12.002.
35. Rogozhina E.V. The potential activity of nitrogen fixation and carbon dioxide emission of soil under peach orchard in humid subtropics of Russia, Problems of scientific thought. Publisher: Limited Liability Company Calliston = Limited Liability Company Calliston (Dnepropetrovsk). 2016; 12(9) : 037-042.
36. Scholberg J., Morgan K.T. Nutrient Use Efficiency in Citrus. In: Srivastava, A. (eds) Advances in Citrus Nutrition. Springer, Dordrecht, 2012; 205-229. DOI: 10.1007/978-94-007-4171-3-15.
37. Srivastava A.K., Singh S., Marathe R.A. Organic citrus: Soil fertility and plant nutrition, J. Sust. Agri. 2002; 19(3) : 5-29. DOI: 10.1300/J064v19n03_03.
38. Terzano R., Cesco S., Mimmo T. Dynamics, thermodynamics and kinetics of exudates: Crucial issues in understanding rhizosphere processes, Plant Soil. 2015; 386 : 399-406. DOI: 10.1007/s11104-014-2308-1.
39. Wei S., Liu B., Ni K., et al. Rhizosphere Microbial Community Shows a Greater Response Than Soil Properties to Tea (*Camellia sinensis* L.) Cultivars, Agronomy. 2023; 13 : 221. DOI: 10.3390/agronomy13010221.
40. Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, World Soil Resources, FAO: Rome. 2015; 106 : 181.

**SPECIFICS OF THE RHIZOSPHERIC
MICROBIAL COMPLEX OF FRUIT CROPS
IN THE HUMID SUBTROPICS OF RUSSIA**

Rogozhina Ye.V.

*Federal Research Centre
the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences,
Sochi, Russia, e-mail: RogojinaEW@yandex.ru*

The paper assessed the rhizosphere and soil loci in brown forest slightly unsaturated soils (Acrisols) of garden agrocenoses of peach, hazelnut and azimina cultivated in the territory of Sochi according to the parameters of biological activity (the number of bacteria, actinomycetes, micromycetes, basal "respiration", and potential nitrogen fixation activity). It was shown that, in general, the rhizosphere coefficient for the studied fruit crops was not high (1.1–3.9) or negative (0.1–0.9). The rhizosphere zone of hazelnuts, compared with peach and papaw, contained more cellulose-decomposing microorganisms (by 2 orders of magnitude), nitrogen bacter (% of soil fouling lumps 1.5 and 7 times higher, respectively), actinomycetes and micromycetes (by an order of magnitude). The inhibition of most groups of microorganisms in papaw rhizosphere was noted under the influence of a root deposit containing phenolic compounds. In the rhizosphere of the phytopathogen-resistant peach cultivar 'Slavny', a higher number of actinomycetes (2.4 times), cellulose-decomposing microorganisms (4 times) and free-living nitrogen fixators (2.6 times), more active "respiration" (1.2 times) and nitrogen fixation (2 times) were recorded compared with the unstable cultivar 'Redhaven'. In the rhizosphere of the high-yielding hazelnut cultivar 'President', the number of actinomycetes is 2 times lower, and the content of cellulose-decomposing microorganisms, "respiratory" and nitrogen-fixing activity is higher (2, 1.4 and 2 times, respectively), compared with the low-yielding cultivar 'Cherkessky-2'. There was a more intense "breathing" in the rhizosphere compared to the soil in both young and full-aged plants of the cultivar 'Slavny', which implies active roots exudation.

Key words: peach, hazelnut, pawpaw, rhizosphere, microbial complex, humid subtropics of Russia.