

Научная статья

УДК 633.854.78:631.52

DOI: 10.25230/2412-608X-2024-3-199-84-94

Ризосфера подсолнечника (обзор)

Вячеслав Викторович Волгин
Василий Леонидович Махонин

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК
350038, Россия, г. Краснодар, ул. им. Филатова, д. 17
Тел.: (861) 254-27-91
agrohim@vniimk.ru

Аннотация. В статье дан анализ литературных источников по следующим вопросам: понятие ризосферы и её границы; состав и роль корневых экссудатов, грибов и бактерий; особенности биологической активности почвы; специфика ее некоторых химических и физических свойств в ризосфере. Показано, что почва ризосферы существенно отличается от основной почвы по большинству показателей, характеризующих как состав твердой фазы и раствора, так и функционирование отдельных компонентов почвенной системы. Почва ризосферы содержит большое количество разнообразных микроорганизмов. Их присутствие приводит к существенным изменениям в циклах химических реакций, к интенсификации круговорота углерода, усвоения азота и фосфора и разложения органического вещества. В ризосфере подсолнечника с повышением численности микрофлоры возрастала урожайность растений. Наиболее эффективной и стабильной структурой микрофлоры в ризосфере подсолнечника обладают гибриды, наименее – линии, что определяется генетическими особенностями агропопуляции и выделениями корневых экзометабитов, которые определяют развитие и активность трофических групп микроорганизмов.

Ключевые слова: ризосфера, корневые экзометаболиты, почвенная микрофлора, почва, микроорганизмы, подсолнечник

Для цитирования: Волгин В.В., Махонин В.Л. Ризосфера подсолнечника (обзор) // Масличные культуры. 2024. Вып. 3 (199). С. 84–94.

UDC 633.853.483:631.52

Sunflower rhizosphere (review)

Volgin V.V., expert of 1st category, doctor of agriculture
Makhonin V.L., head of the lab., PhD in agriculture

V.S. Pustovoyt All-Russian Research Institute of Oil
Crops

17 Filatova str., Krasnodar 350038, Russia

Tel.: (861) 254-27-91

agrohim@vniimk.ru

Abstract. There is presented an analysis of literary sources on the following issues: the concept of rhizosphere and its boundaries; composition and role of root exudates, fungi and bacteria; peculiarities of biological activity of soil; specificity of its some chemical and physical properties in rhizosphere. It is shown that the rhizosphere soil significantly differs from the bulk soil by the majority of parameters characterizing both the composition of solid phase and solution and functioning of separate components of the soil system. Rhizosphere soil contains a large number and diversity of microorganisms. The presence of these various substances and microorganisms leads to significant changes in the cycles of chemical reactions, to intensification of carbon cycle, nitrogen and phosphorus assimilation and organic matter decomposition. In the rhizosphere of sunflower with the increase in the number of microflora, the yield of plants increased. Hybrids have the most effective and stable structure of microflora in the rhizosphere of sunflower, the least – lines have the least one, which is determined by genetic features of agropopulation and excretion of root exometabiotics, which determine the development and activity of trophic groups of microorganisms.

Key words: rhizosphere, root exometabiotics, soil microflora, soil, microorganisms, sunflower

Основоположник научного почвоведения В.В. Докучаев рассматривал почву как особое тело природы, столь же самобытное, как растение, животное или минерал. Тип почвы складывается в зависимости от материнской породы, климата, растительности, рельефа местности и возраста почвообразовательного процесса [1]. Разрабатывая научные основы почвоведения, В.В. Докучаев отмечал огромную роль живых организмов, и в частности микроорганизмов, в формировании почвы.

Термин «ризосфера» впервые предложил Л. Hiltner [2] ещё в 1904 г. Исследование различных свойств почв и процессов,

происходящих в ризосфере растений, является одной из активно изучаемых проблем почвоведения.

Под ризосферой понимается слой почвы 2–3 мм, прилегающий к корню и характеризующийся повышенным содержанием микроорганизмов, главным образом бактерий, грибов (микоза) и актиномицетов. Благодаря их жизнедеятельности в ризосфере образуется больше биотических веществ (витаминов, ферментов, гормонов и т.д.). Микроорганизмы ризосферы используют корневые выделения растений для питания и защиты от антагонистического действия других микроорганизмов, растение же использует из ризосферы продукты минерализации микроорганизмами органических остатков и мобилизации ими веществ гумуса. Количество и видовой состав различных физиологических групп микроорганизмов ризосферы изменяется в течение вегетации, фазы развития растений, климатических условий и вида растений. О.В. Енкина [3] отмечала, что у многих растений, в частности бобовых, выявлены определённые виды бактерий, развивающиеся интенсивно и способствующие росту растений. Если этими бактериями инокулировать семена, то их урожай повысится.

О разнообразных химических превращениях, происходящих под действием микроорганизмов, писал ряд учёных [4; 5; 6]. Во время жизнедеятельности растений бактерии и микозные грибы выполняют роль соединяющего звена между растением и почвой, обеспечивая круговорот питательных элементов и стабильность агроэкосистем. В.И. Вернадский [7] считал, что микроорганизмы являются одним из составляющих любого ценотического сообщества, вступая в реакцию со всеми его системами и, в том числе, с растением. Взаимодействия корней растений в ризосфере включают корень – корень, корень – насекомое и корень – микроорганизм [8].

А.С. Kennedy и L.Z. de Luna отмечали: «Ризосфера – это динамичный регион,

управляемый сложными взаимодействиями между растением и организмами, которые тесно связаны с корнем. Состав и структура ризосферы влияют на микробную активность и численность популяции, которые, в свою очередь, оказывают влияние на нематод и микропод, населяющих эту среду. Между микроорганизмами ризосферы и растениями осуществляются как полезные, так и вредные взаимоотношения, влияющие на рост и развитие растений» [9].

J.M. Lynth и J.M. Whipps считали, что почву можно условно разделить на два главных микробных ценоза. Один из них удалён от корней растений, и питание поступает от органических остатков, другой – соприкасается с корневой системой, и питание микроорганизмов происходит в основном за счёт экссудатов корней [10]. В последнее время ризосферу условно разделяют на ряд слоёв (эндоризосфера – внутри корня, экторизосфера – наружная сторона и ризосфера – поверхность корневой системы) [11]. Толщина этих слоёв, как правило, составляет от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Во многом эта величина определяется колонизируемым растением, выделяющим органические экссудаты и опад, и разнообразием почвы [12; 13]. В случае значительных потерь углерода в поверхностных клетках корня микроорганизмы быстро размножаются, что приводит к негативным для растения результатам.

Многие авторы отмечают значительное количество и интенсивность жизнедеятельности микоризы растений по сравнению с остальной почвой [11]. Это вызвано наличием в ризосфере повышенного уровня органических остатков (корневой опад и корневые экссудаты [10]). Эти органические вещества состоят из сахаров, аминокислот, органических кислот и других метаболитов.

О.М. Селиверстова и Н.В. Верховцева писали, что микробиоценоз почв представлен разнообразными видами бактерий и грибов, ими показана взаимосвязь продуктивности агроценоза и структуры микробного сообщества, особенно в зоне ризосферы, которая отличается по химическому составу и взаимодействует с растением [14].

В исследованиях И.А. Тихоновича, Л.В. Кравченко и А.И. Шапошникова изучен количественный и качественный состав органических кислот и сахаров в ризосфере томата, огурца и пшеницы; показано сохранение их высокого количества при инокуляции растений ризобактериями; обсуждено возможное влияние этого эффекта на формирование наномолекулярных структур ризосферы [15].

Микробные сообщества, населяющие ризосферу, играют ключевую роль в определении здоровья растений и урожайности. Эти микробы обеспечивают организм необходимыми питательными веществами, такими как азот и фосфор, что положительно влияет на рост и развитие растений [16]. Этот симбиоз растений и микроорганизмов и, в том числе, подавление ризосферной микробиоты ряда растительных патогенов, таких как *Fusarium oxysporum*, некоторых видов грибов из родов *Pythium* и *Phytophthora* и других, служат на пользу обеим сторонам такого взаимодействия [17; 18; 19].

А.М. Бородин [20] писал, «в настоящее время бактерии, обладающие совокупностью полезных для растения свойств, принято обозначать как PGPR (от Plant Growth-Promoting Rhizobacteria – ризобактерии, способствующие росту растений)». Этот термин был в своё время введён F.J.W. Клоерпер et al. [21]. Изучению PGPR посвящено много исследований [22; 23; 24], доказано, что они отличаются значительным набором полезных растениям воздействий [25; 26; 27].

Наряду с выше отмеченным, существует форма взаимодействия растений с гломусовыми грибами, которая называется вазиккулярно-арбускулярная микоза (ВАМ) [16]. Именно этот симбиоз с грибами обеспечивает растению уровень минерального питания до 90 %, увеличивая скорость потребления NH_4 , меди, цинка, никеля и др. [28]. Благодаря микоризе растения лучше приспособляются к неблагоприятным условиям произрастания [29]. А грибы положительно влияют на образование комплексов ризосферы, рост клубеньков и защищают от вредных организмов культуры [30]. Они контактируют с полезной микробиотой, растительными патогенами, сапрофитами, образуя тем самым полезный симбиоз [31].

R.P. Ryan et al. [32] и M. Rosenblueth, E. Martinez-Romero [33] отмечали, что, кроме микоризы, к многокомпонентным симбиотическим сообществам в ризосфере можно отнести эндофитные микроорганизмы, основные функции которых заключаются в биоконтроле патогенов и вредителей.

Процесс жизнедеятельности эндофитных микроорганизмов ризосферы практически исследован, однако существует мнение, что в данном случае может иметь место регуляция механизмов различных бактерий, влияющих на развитие растений [34]. Этот механизм осуществляет взаимодействие бактерий между собой благодаря низкомолекулярным индукторам. При этом растения влияют на этот процесс посредством своих сигнальных факторов, воздействуя на бактерии как авторегуляторы плотности популяции. Процесс переноса бактерий происходит через семена и нематодами [35].

О.М. Селиверстова с соавторами отмечали, что имеют место и негативные взаимоотношения корней растений и микроорганизмов, которые обусловлены целым рядом факторов, в том числе выработкой токсинов, наличием болезней, нехваткой

питательных веществ, в основном азотсодержащих, а также подавлением полезных растениям PGPR [36]. Однако следует отметить, что растения обладают особенностями, позволяющими им уменьшать недостаток углерода посредством противомикробных составляющих [37], а также выделением дополнительных веществ в ответ на недостаток тех или иных минералов [38].

Выделение растениями ряда веществ (глюкозиды, гормоны, ферменты, алкалоиды, витамины, лектины и флавоноиды) позволяет микроорганизмам определять своих партнёров за счёт гликополимеров. Состав корневых выделений определяется видом и возрастом растений. При этом растения влияют и на количество микробов и их состав [39; 40]. Следует отметить, что эти вещества влияют на рост и развитие самих растений и микроорганизмов ризосферы [41].

Учитывая то, что в микробиологии появились новые методы исследований, такие как генетика и молекулярная биология, в ризосфере растений изучен большой объем разнообразных микроорганизмов [42]. Выявлено, что здесь, как правило, присутствует такое же или большее разнообразие микробов по сравнению с остальной почвой [43; 44; 45]. Gomes N.S. et al. [44] обнаружили, что наиболее широко представлены микроорганизмы в основном у молодых растений. Было также установлено, что в ризосфере находятся микроорганизмы такие же, как и в свободной почве, и они растение-специфичны [46]. Е.Ю. Воронина [43] сообщала: «Происходящие в микоризосфере изменения структуры сообщества почвенных микроорганизмов, а также существенные различия их видового состава в микоризосфере и прочих сравниваемых местообитаниях позволяют считать эту зону специфичной, отличающейся как от местообитаний, испытывающих влияние только одного из двух симбиотов (растения – ризосферы

или микробионта – гифосферы), так и от свободной почвы».

О.М. Селивёрстовой и Н.В. Верховцевой [14] было выявлено, что на урожайность в большей степени влияет активность микробов, которые вырабатывают питательные вещества, необходимые растению. Главным фактором при этом является не численность микроорганизмов, а их состав, так как это, в свою очередь, влияет на состояние равновесия.

Благодаря выделяемому корневому экссудату ризосфера играет важную роль в модификации компонента своего микробиома. Взаимодействия растений и микробов сложны и могут способствовать росту и развитию растений [47; 48]. Бактерии являются преобладающими микроорганизмами в ризосфере и индикаторами качества, здоровья и плодородия почвы благодаря их реакции на биотическое и абиотическое давление [49]. Действия бактерий динамичны, поскольку они ускоряют большинство биогеохимических процессов, тем самым повышая доступность питательных веществ в почве [50]. Бактериальные сообщества в ризосфере могут противостоять патогенам и стимулировать толерантность к абиотическим стрессорам, способствуя таким образом росту растений, их здоровью и урожайности [51; 52].

Хотя различные учёные изучали микробиом корней масличных культур, и в том числе подсолнечника (*Helianthus annuus* L.), исследования взаимного влияния микроорганизмов и растений в силу недостаточности полученной информации, постоянных изменений климата, агротехники и препаратов, применяемых в сельском хозяйстве, всё ещё продолжаются. Подсолнечник – основная масличная культура в современном сельском хозяйстве и используется для различных пищевых и промышленных целей [53]. Среди масличных растений на его долю приходится до 70 % посевных площадей, до 80 % валового

сбора семян и до 90 % выработки растительных масел в нашей стране [54]. Из-за растущего значения подсолнечника в сельском хозяйстве многие страны и континенты использовали возможный потенциал его выращивания [53; 55].

Сообщения о бактериях, стимулирующих рост растений подсолнечника для повышения продуктивности культуры [55], ограничены, возможно, из-за немногочисленных исследований растений этой культуры с использованием методов секвенирования нового поколения. Следовательно, крайне важно определить структуры бактериальных сообществ, которые обитают в почвах ризосферы подсолнечника, используя ген 16S r РНК посредством или с помощью секвенирования бактериальной 16S r ДНК и связанные с ним прогностические функции [56]. Учитывая это, Chidinma Nwachuku et al. [57] исследовали потенциал структуры бактериальных сообществ ризосферы подсолнечника и насыпных почв, возделываемых при различных методах ведения сельского хозяйства в двух географических точках Северо-Западной провинции Южной Африки. ДНК было выделено из ризосферы и основных почв, связанных с растениями подсолнечника из севооборота (Лихтенбург) и монокультур (Крайнбург) и секвенировано с использованием 16S ампликона. Для анализа упорядоченного набора данных использовались инструменты биоинформатики. Установлено, что протеобактерии и планктомицеты доминировали в ризосфере, в то время как фирмикуты и актинобактерии преобладали в насыпных почвах. Были выявлены значительные различия в структуре бактерий на уровне типов и семейств и прогнозируемых функциональных категорий между почвами на разных участках. Обнаружено влияние физико-химических параметров на распространение бактерий на разных участках. Выявлено, что монокультура отрицательно влияет на микрофлору почвы

и, как следствие, подсолнечника. В ризосфере подсолнечника независимо от предшественника развивалось почти одинаковое количество микрофлоры, использующей органический и минеральный азот. С повышением численности микрофлоры в ризосфере возрастала урожайность подсолнечника.

В.И. Турусов [58] отмечал: «Длительное возделывание подсолнечника в трёх-четырёхпольных севооборотах, как по озимой пшенице, так и по ячменю, существенно ухудшает условия жизнедеятельности клетчатковых микроорганизмов, участвующих в круговороте как углерода, так и азота, не способствует развитию азотобактера, численность которого находится в тесной зависимости от наличия в пахотном горизонте достаточного количества углеводов. Последний факт указывает на замедление мобилизационных процессов и снижение обеспеченности растений минеральным азотом. Эти изменения существенно отразились на скорости распада до клетчатки. Через 11 лет в трёх-четырёхпольном севообороте она снижалась на 23,9–49,1 % в сравнении с шестипольным чередованием, активность ферментов инвертазы, уреазы и фосфатазы также уменьшалась вследствие недостатка в почве легкоподвижных углеводов, доступных азото- и фосфоросодержащих органических соединений».

Д.А. Никитин с соавторами [59] выявили, что при вспашке увеличивается численность культивируемых аэробных аммонификаторов, денитрификаторов, аэробных целлюлингинов, актиномицетов и микромицетов; при прямом посеве (no-till) – численность анаэробных целлюлитипов и азотфиксаторов, аэробных diaзотрофов и амилалитов. Подсолнечник стимулирует развитие денитрификаторов и анаэробных целлюлитов.

В процессе своей жизнедеятельности растения входят в сложные взаимоотношения с микроорганизмами, населяющими не только почву, но и эндоткани

здоровых растений. Исследования закономерностей этой эволюционно сложившейся биологической системы позволяют разрабатывать и обосновывать безопасные для окружающей среды биологические методы защиты растений [60].

В связи с переходом к биологическому земледелию и интенсивно разрабатываемым методам биологической защиты растений с использованием бактерий рода *Pseudomonas* и *Bacillus* в качестве агентов биологического контроля растений, изучение количественного и качественного состава ризосферной микрофлоры является одной из актуальных проблем современной микробиологии.

По данным И.П. Бороздиной, «количество бактерий, населяющих ризосферу *Helianthus annuus*, составляет 91 %, причём количество бактерий рода *Pseudomonas* – 42,5 %, а *Bacillus* – 23,3 %. Другая бактериальная флора, представленная *Proteobacter* sp., *Mycobacterium* spp., *Clostridium* spp., составляет 25,7 %. Доля актиномицетов – 3,8 %, грибов – 2,4 %, а другой кокковой группы – 2,8 %» [60].

На ризосферную микрофлору влияют вид, возраст растений, их состояние, положение и характер расположения корней, тип почвы и окружение. Количественный и качественный состав ризосферы специфичен для каждого вида растений. Изучая смену бактериальных компонентов в ризосфере в процессе вегетации растений, некоторые исследователи отмечали, что на начальных этапах роста растений доминируют грамотрицательные бактерии, псевдомонады, флавобактерии, которые по мере старения растений заменяются на грамположительные. Такой характер сукцессии связан с заменой бактерий, питающихся продуктами экзосмоса растений на гидролитиков, разлагающих корневой опад и микробную биомассу. В начальный период вегетации и активного роста растений спороносные бактерии рода *Bacillus* находятся в ризосфере в незначительном

количестве, а в конце вегетации их количество увеличивается (за счёт появления растительного опада).

При идентификации в ризосфере подсолнечника выявлен условно патогенный гриб *Fusarium* sp., антагонистом которого является гриб *Penicillium nigricans* – 48,6 % от общего количества грибной микрофлоры [60].

Использование бактерий, стимулирующих рост растений, может оказаться полезным при разработке стратегий, способствующих росту растений как в нормальных условиях, так и при абиотическом стрессе [61]. Применение микробов с целью повышения доступности минеральных веществ для растений является важной практикой, необходимой для ведения устойчивого сельского хозяйства. За последние пару десятилетий использование микробных инокулянтов для ведения устойчивого сельского хозяйства значительно возросло в различных частях мира.

Г.А. Жатовой и В.И. Троценко [62] изложены результаты анализа динамики микрофлоры ризосферы и ризопланы подсолнечника: сорта-популяции, гибрида F₁, линии. Установлено, что численность основных эколотрофических групп микроорганизмов ризосферы и ризопланы зависит от генетических особенностей агропопуляции и выделения растениями корневых экзометаболитов, которые определяют развитие и активность трофических групп микроорганизмов. На протяжении вегетации растений подсолнечника (от фазы звёздочки до фазы созревания) имеет место быть изменение качественного состава микробиоты. В ризосфере гибрида структура микроценоза была наиболее стабильной, у сорта – отличалась динамикой в течение онтогенеза культуры. С генетическими особенностями линии связан депрессивный эффект метаболитов корня по отношению к микрофлоре ризосферы и ризопланы. Эти особенности могут быть использованы при выращивании гибридов

F₁ и в первичном семеноводстве при выращивании самоопылённых гомозиготных линий.

Таким образом, учитывая тот факт, что почва ризосферы существенно отличается от основной почвы по большинству показателей твёрдой и жидкой фаз, а также количеству и составу микробиоты, что, в свою очередь, оказывает влияние на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных культур и, в том числе подсолнечника, существует насущная необходимость продолжать исследования в этом направлении с использованием современных методов биологической науки.

Список литературы

1. Мишустин Е.Н., Емцев В.Т. Почвообразовательный процесс и формирование микробных ассоциаций почвы // Микробиология: учебник для вузов. – М., Колос, 1978. – С. 169–199.
2. Hiltner L. Über neuere Erfahrungen und Probleme auf dem Gebiete der Bodenbakteriologie unter besonderer Berücksichtigung der Grundung und Brache // Arbeiten der Deutschen Landwirtschaftlichen Gesellschaft. – 1904. – No. 98. – S. 59–78.
3. Енкина О.В. Симбиотическая азотфиксация // Соя, биология и технология возделывания. – Краснодар, 2005. – С. 56–64.
4. Виноградский С.М. Микробиология почвы. – М.: Изд-во АН СССР. – 1953. – С. 55–56.
5. Звягинцев Д.Г. Почвы и микроорганизмы. – М.: МГУ, 1987. – 256 с.
6. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. – М.: Изд-во Московского университета, 2005. – 445 с.
7. Вернадский В.И. Биосфера. Избр. соч. – М., Мысль, 1967. – Т. 5. – С. 7–105.
8. Bais H.P., Weir T.L., Perry L.G., Gilroy S., Vivanco J.M. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms // Annual Review of Plant Biology. – 2006. – No. 57. – P. 233–266.
9. Kennedy A.C., de Luna L.Z. Rhizosphere // Encyclopedia of Soils in the Environment. – Academic Press, 2005. – P. 399–406.
10. Lynch J.M., Whipps J.M. Substrate flow in rhizosphere // Plant Soil. – 1990. – No. 129. – P. 1–10.
11. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Симбиозы растений и микроорганизмов: молекулярная генетика агроцистем будущего. – СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2009. – 210 с.
12. Jones D.L., Hodge A., Kuzyakov Ya. Plant and micorrhizal regulation of rhizodeposition // New Phytologist. – 2004. – Vol. 163 – P. 459–480.
13. Barber S.A. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. – 2nd edition. – NY, USA: John Wiley, 1995. – 414 p.
14. Селиверстова О.М., Верховцева Н.В. Продуктивность агроценоза и микробное сообщество почв. Масс-спектрометрический анализ структуры микробиоценоза. – LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 140 с.
15. Тихонович И.А., Кравченко Л.В., Шапошников А.И. Корневые выделения как важный фактор формирования наномолекулярных структур ризосферы // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2011. – № 1. – С. 25–27.
16. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Сельскохозяйственная микробиология как основа экологически устойчивого агропроизводства: фундаментальные и прикладные аспекты // Сельскохозяйственная биология. – 2011. – № 3. – С. 3–9.
17. Whipps J.M. Developments in the biological control of soil-borne plant pathogens // Advances in Botanical Research. – 1997. – No. 26. – P. 129–134.
18. Punja Z.K. Comparative efficacy of bacterial, fungi and yeasts as biological control agents for diseases of vegetable crops // Canadian Journal of Plant Pathology. – 1997. – No. 19. – P. 315–323.
19. Van Loon L.C. Induced resistance in plants and the role of pathogenesis-related proteins // European Journal of Plant Pathology. – 1997. – No. 103 (9). – P. 753–765.
20. Боронин А.М. Ризосферные бактерии рода *Pseudomonas*, способствующие росту и развитию растений // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 10. – С. 25–31.
21. Kloepper J.W., Schroth M.N. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes // Proc. of 4th Intern. Conf. on Plant Pathogenic Bacteria. – Angers, France, 1978. – Vol. 2. – P. 879–882.
22. Bashan Y., Holguin G. Proposal for the division of plant growth-promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol-PGPB (plant growth-promoting bacteria) and PGPB // Soil Biology and Biochemistry. – 1998. – Vol. 30. – No. 819. – P. 1225–1228.
23. Bowen G.D., Rovara A.D. The rhizosphere and its management to improve plant growth // Advances of Agronomy. – 1999. – Vol. 66. – P. 1–102.
24. Cook R.J. Advances in plant health management in the twentieth century // Annu. Rev. Phytopathol. – 2002. – No. 38. – P. 95–116.
25. Bevivino A., Dalmaschi C., Tabacchioni S., Chiarini L. Efficacy *Burkholderia cepacia* MCI 7 in disease suppression and growth promotion of maize // Biology and Fertility of Soils. – 2000. – Vol. 31. – No. 3. – P. 225–231.

26. Parke J.L., Gurian-Cherman D. Diversity of *Burkholderia cepacia* complex and implications for risk assessment of biological control strains // Annual Review of Phytopathol. – 2001. – No. 39. – P. 225–258.
27. Xie H., Pasternak J.J., Glick B.R. Isolation and characterization of mutants of the plant growth-promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2 that overproduce indoleacetic acid // Current Microbiology. – 1996. – Vol. 32. – P. 67–71.
28. Smith S.E., Read D.J. Micorrhizal Symbiosis. – 3rd edition. – London: Academic Press, 2008. – 800 p.
29. Крипка А.В., Сорочинский В.В., Гродзинский Д.М. Молекулярные и клеточные аспекты развития арбускулярных микоризных симбиозов и их значение в жизнедеятельности растений // Цитология и генетика. – 2002. – № 4. – С. 125–137.
30. Проворов Н.А., Борисов А.Ю., Тихонович И.А. Сравнительная генетика и эволюционная морфология симбиозов растений с микробами – азотфиксаторами и эндомикоризными грибами // Журнал общей биологии. – 2002. – № 63. – С. 451–472.
31. Timonen S., Marschner P. Mycorrhizosphere concept // In: Microbial activity in the rhizosphere / Eds. K.G. Mukerji, C. Manoharachary, J. Singh. – Springer, 2006. – P. 155–172.
32. Ryan R.P., Germaine K., Franks A., Ryan D.J., Dowling D.N. Bacterial endophytes: recent developments and applications // FEMS Microbiol. Lett. – 2008. – Vol. 278 (1). – P. 1–9.
33. Rosenblueth M., Martinez-Romero E. Bacterial endophytes and their interactions with hosts // Molecular Plant Microbe Interactions. – 2006. – Vol. 19 (8). – P. 827–837.
34. Sanchez-Contreras M., Bauer W.D., Gao M. [et al.]. Quorum-sensing regulation in rhizobia and its role in symbiotic interactions with legumes // Philosophical Transaction of the Royal Society. Bio. Sci. – 2007. – Vol. 362 (1483). – P. 1149–1163.
35. Ricley I.T., Reardon T.B. Isolation and characterization of *Clavibacter tritici* associated with *Anguina tritici* in wheat from Western Australia // Plant Pathology. – 1995. – Vol. 44 (5). – P. 805–810.
36. Селиверстова О.М., Верховцева Н.В., Степанов А.Л., Корчагин А.А. Изменение микробного сообщества серой лесной почвы под посевом злаковых культур при применении органических и минеральных удобрений // Агрохимия. – 2008. – № 8. – С. 46–54.
37. Schenk S., Lambein F., Werner D. Broad antifungal activity of β -isoxazolinonyl-alanine, a non-protein amino acid from roots of pea (*Pisum sativum* L.) seedlings // Biology and Fertility of Soils. – 1991. – Vol. 11. – P. 203–209.
38. Ma J.F., Ueno H., Ueno D., Rombola A.D. [et al.]. Characterization of phytosiderophore secretion under Fe deficiency stress in *Festuca rubra* // Plant and Soil. – 2003. – Vol. 256 (1). – P. 131–137.
39. De Leij F.A.A.M., Whipps L.M., Lynch J.M. The use of colony development for the characterization of bacterial communities in soil and on roots // Microbial Ecology. – 1994. – Vol. 27. – P. 81–97.
40. Grayston S.J., Wang S., Campbell C.D., Edwards A. Selective influence of plant species on microbial diversity in rhizosphere // Soil Biology and Biochemistry. – 1998. – No. 30. – P. 369–378.
41. Sanon A., Andrianjaka Z.N., Prin Y., Bally R. Rhizosphere microbiota interferes with plant-plant interactions // Plant and Soil. – 2009. – Vol. 325. – No. 1–2. – P. 259–278.
42. Казарцев И.А. Молекулярные методы исследования грибных сообществ // Проблемы микологии и фитопатологии в XXI веке: мат-лы междунар. науч. конф., посвящённой 150-летию со дня рождения члена-корреспондента АН СССР, профессора А.А. Ячевского. – СПб.: ООО «Копи-Р Групп», 2013. – С. 75–78.
43. Воронина Е.Ю. Влияние микоризосферы на видовой состав и структуру сообщества почвенных микромицетов по сравнению с ризосферным и гипосферным эффектами // Микология и фитопатология. – 2011. – Т. 45. – № 1. – С. 26–33.
44. Gomes N.S., Heurer H., Schonfeld J., Costa R., Mendosa-Hagler L., Smalla K. Bacterial diversity of the rhizosphere of maize (*Zea mays*) growth in tropical soil studied by temperature gradient gel electrophoresis // Plant and Soil. – 2001. – Vol. 232. – No. 1–2. – P. 167–180.
45. Peiffer J.A., Spor A., Koren O. [et al.]. Diversity and heritability of the maize rhizosphere microbiome under field conditions // PNAS. – 2013. – Vol. 110. – No. 16. – P. 6548–6553.
46. Kuske C.R., Ticknor L.O., Miller M.E. [et al.]. Comparison of soil bacterial communities in rhizosphere of three plant species and interspaces in an Arid Grassland // Applied and Environmental Microbiology. – 2002. – Vol. 68 (4). – P. 1854–1863.
47. Igiehon N.O., Babalola O.O. Below-ground-above-ground plant-microbial interactions: focusing on soybean, rhizobacteria and mycorrhizal fungi // Open Microbiology J. – 2018. – No. 12. – P. 261–279.
48. Barlans C., Berbegal M., Georgina E., Laidani M., Sibriain J.F., Sagues A., Gramaje D. The fungal and bacterial rhizosphere microbiome associated with grapevine rootstock genotypes in mature and young vineyards // Frontiers in Microbiology. – 2019. – No. 10. – Art. No. 1142.
49. Igiehon N.O., Babalola O.O., Aremu B.R. Genomic insights into plant growth promoting rhizobia capable of enhancing soybean germination under drought stress // BMC microbiology. – Vol. 19. – P. 1–22.
50. Nwachukwu B.C., Ayangbenro A.S., Balabola O.O. Elucidating the rhizosphere associated bacteria for environmental sustainability Разъяснение бакте-

рий, ассоциированных с ризосферой, для обеспечения экологической устойчивости // Agriculture. – 2021. – Vol. 11 (1). – Art. No. 75.

51. Li Y., Wang C., Wang T., Liu Y., Jia S., Gao Y., Liu S. Effects of different fertilizer treatments on rhizosphere soil microbiom composition and functions // Land. – 2020. – No. 9 (9). – Art. No. 329.

52. Meena V.S., Maurya B.R., Verma J.P. Does a rhizospheric microorganism enhance K⁺ availability in agricultural soils // Microbiol. Res. – 2014. – Vol. 169 (5–6). – P. 337–347.

53. Majeed A., Abbasi M.K., Hameed S., Imran A., Naggash T., Hanif M.K. Isolation and characterization of sunflower, associated bacterian strain with broad spectrum plant growth promoting traits // Intern. J. Biosci. – 2018. – Vol. 13. – No. 2. – P. 110–123.

54. Тихонов О.И., Бочкарёв Н.И., Дьяков А.Б. Биология, селекция и возделывание подсолнечника. – М.: Агропромиздат, 1991. – 281 с.

55. Pandey R., Chavan P., Walokar N., Tripathi V., Khetmalas M. *Pseudomonas stutzeri* RPI: a versatile plant growth promoting endorhizospheric bacteria inhabiting sunflower (*Helianthus annuus*) // J. Biotechnol. – 2013. – Vol. 8 (7). – P. 48–55.

56. Lu Y., Zhang E., Hong M., Yin X., Cai H., Yuan L., Yuan F., Li L., Zhao K., Lan X. Analysis of endophytic and rhizosphere bacterial diversity and function in the endangered plant *Paeonia ludlowii* // Arch. Microbiol. – 2020. – Vol. 202 (7). – P. 1717–1728.

57. Nwachukwu B.C., Ayangbenro A.S., Balabola O.O. Structural diversity of bacterial communities in two divergent sunflower rhizosphere soils // Annals of Microbiology. – 2023. – Vol. 73. – Art. No. 9.

58. Турусов В.И. Совершенствование технологии возделывания подсолнечника в Центрально-Чернозёмной полосе: автореф. дис. ... д-ра с.-х. н. – Курск, 2006. – 46 с.

59. Никитин Д.А., Иванова Е.Ф., Железова А.Д., Семёнов М.В., Гаджиумаров Р.Ф., Тхакахова А.К., Ксенофонова Т.И., Кутовая О.В. Оценка влияния технологии No-till и вспашки на микробиом южных агроценозов // Почвоведение. – 2020. – № 12. – С. 1508–1520.

60. Бороздина И.Б. Квантитативные показатели представителей рода *Pseudomonas* и *Bacillus* ризосферы семейства бобовые (*Fabacea*) и семейства сложноцветные (*Compositae*) // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 11 (7). – С. 39–43.

61. Yadav A.N., Verma P., Singh B., Chauhan V.S., Suman A., Saxena A.K. Plant growth promoting bacteria: biodiversity and multifunctional attributes for sustainable agriculture // Adv. Biotechnol. Microbiol. – 2017. – Vol. 5 (5). – P. 1–16.

62. Жатова Г.А., Троценко В.И. Динамика биосферной микробиоты подсолнечника // Украинский экологический журнал. – 2017. – № 7 (1). – С. 22–29.

References

1. Mishustin E.N., Emtsev V.T. Pochvoobrazovatel'nyy protsess i formirovanie mikrobykh asotsiatsiy pochvy // Mikrobiologiya: uchebnik dlya vuzov. – M., Kolos, 1978. – S. 169–199.

2. Hiltner L. Über neuere Erfahrungen und Probleme auf dem Gebiete der Bodenbakteriologie unter besonderer Berücksichtigung der Grundung und Brache // Arbeiten der Deutschen Landwirtschaftlichen Gesellschaft. – 1904. – No. 98. – S. 59–78.

3. Enkina O.V. Simbioticheskaya azotifikatsiya // Soya, biologiya i tekhnologiya vozdel'vaniya. – Krasnodar, 2005. – S. 56–64.

4. Vinogradskiy S.M. Mikrobiologiya pochvy. – M.: Izd-vo AN SSSR. – 1953.

5. Zvyagintsev D.G. Pochvy i mikroorganizmy. – M.: MGU, 1987. – 256 s.

6. Zvyagintsev D.G., Bab'ev'eva I.P., Zenova G.M. Biologiya pochv. – M.: Izd-vo Moskovskogo universiteta, 2005. – 445 s.

7. Vernadskiy V.I. Biosfera. Izbr. soch. – M., Mysl', 1967. – T. 5. – S. 7–105.

8. Bais H.P., Weir T.L., Perry L.G., Girloy S., Vivanco J.M. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms // Annual Review of Plant Biology. – 2006. – No. 57. – P. 233–266.

9. Kennedy A.C., de Luna L.Z. Rhizosphere // Encyclopedia of Soils in the Environment. – Academic Press, 2005. – P. 399–406.

10. Lynch J.M., Whipps J.M. Substrate flow in rhizosphere // Plant Soil. – 1990. – No. 129. – R. 1–10.

11. Tikhonovich I.A., Provorov N.A. Simbiozy rasteniy i mikroorganizmov: molekulyarnaya genetika agrostistem budushchego. – SPb.: Izd-vo SPb. un-ta, 2009. – 210 s.

12. Jones D.L., Hodge A., Kuzyakov Ya. Plant and micorrhizal regulation of rhizodeposition // New Phytologist. – 2004. – Vol. 163 – P. 459–480.

13. Barber S.A. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. – 2nd edition. – NY, USA: John Willey, 1995. – 414 p.

14. Seliverstova O.M., Verkhovtseva N.V. Produktivnost' agrotsenoza i mikrobnое soobshchestvo pochv. Mass-spektroskopicheskiy analiz struktury mikrobotsenoza. – LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 140 s.

15. Tikhonovich I.A., Kravchenko L.V., Shaposhnikov A.I. Kornevye vydeleniya kak vazhnyy faktor formirovaniya nanomolekulyarnykh struktur rizosfery // Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk. – 2011. – № 1. – S. 25–27.

16. Tikhonovich I.A., Provorov N.A. Sel'skokhozyaystvennaya mikrobiologiya kak osnova ekologicheskoy

ustoychivogo agroproduktstva: fundamental'nye i prikladnye aspekty // Sel'skokhozyaystvennaya biologiya. – 2011. – № 3. – S. 3–9.

17. Whipps J.M. Developments in the biological control of soil-borne plant pathogens // Advances in Botanical Research. – 1997. – No. 26. – P. 129–134.

18. Punja Z.K. Comparative efficacy of bacterial, fungi and yeasts as biological control agents for diseases of vegetable crops // Canadian Journal of Plant Pathology. – 1997. – No. 19. – P. 315–323.

19. Van Loon L.C. Induced resistance in plants and the role of pathogenesis-related proteins // European Journal of Plant Pathology. – 1997. – No. 103 (9). – P. 753–765.

20. Boronin A.M. Rizosfernye bakterii roda *Pseudomonas*, sposobstvuyushchie rostu i razvitiyu rasteniy // Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal. – 1998. – № 10. – S. 25–31.

21. Kloepper J.W., Schroth M.N. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes // Proc. of 4th Intern. Conf. on Plant Pathogenic Bacteria. – Angers, France, 1978. – Vol. 2. – P. 879–882.

22. Bashan Y., Holguin G. Proposal for the division of plant growth-promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol-PGPB (plant growth-promoting bacteria) and PGPB // Soil Biology and Biochemistry. – 1998. – Vol. 30. – No. 819. – P. 1225–1228.

23. Bowen G.D., Rovara A.D. The rhizosphere and its management to improve plant growth // Advances of Agronomy. – 1999. – Vol. 66. – P. 1–102.

24. Cook R.J. Advances in plant health management in the twentieth century // Annu. Rev. Phytopathol. – 2002. – No. 38. – P. 95–116.

25. Bevivino A., Dalmastri C., Tabacchioni S., Chiarini L. Efficacy *Burkholderia cepacia* MCI 7 in disease suppression and growth promotion of maize // Biology and Fertility of Soils. – 2000. – Vol. 31. – No. 3. – P. 225–231.

26. Parke J.L., Gurian-Chernman D. Diversity of *Burkholderia cepacia* complex and implications for risk assessment of biological control strains // Annual Review of Phytopathol. – 2001. – No. 39. – P. 225–258.

27. Xie H., Pasternak J.J., Glick B.R. Isolation and characterization of mutants of the plant growth-promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2 that overproduce indoleacetic acid // Current Microbiology. – 1996. – Vol. 32. – P. 67–71.

28. Smith S.E., Read D.J. Mycorrhizal Symbiosis. – 3rd edition. – London: Academic Press, 2008. – 800 p.

29. Kripka A.V., Sorochinskiy V.V., Grodzinskiy D.M. Molekulyarnye i kletochnye aspekty razvitiya arbuskul'yarnykh mikoriznykh simbiozov i ikh znachenie v zhiznedeyatel'nosti rasteniy // Tsitologiya i genetika. – 2002. – № 4. – S. 125–137.

30. Provorov N.A., Borisov A.Yu., Tikhonovich I.A. Sravnitel'naya genetika i evolyutsionnaya morfologiya simbiozov rasteniy s mikrobami – azotfiksatorami i endomikoriznymi gribami // Zhurnal obshchey biologii. – 2002. – № 63. – S. 451–472.

31. Timonen S., Marschner P. Mycorrhizosphere concept // In: Microbial activity in the rhizosphere / Eds. K.G.

Mukerji, C. Manoharachary, J. Singh. – Springer, 2006. – P. 155–172.

32. Ryan R.P., Germaine K., Franks A., Ryan D.J., Dowling D.N. Bacterial endophytes: recent developments and applications // FEMS Microbiol. Lett. – 2008. – Vol. 278 (1). – P. 1–9.

33. Rosenblueth M., Martinez-Romero E. Bacterial endophytes and their interactions with hosts // Molecular Plant Microbe Interactions. – 2006. – Vol. 19 (8). – P. 827–837.

34. Sanchez-Contreras M., Bauer W.D., Gao M. [et al.]. Quorum-sensing regulation in rhizobia and its role in symbiotic interactions with legumes // Philosophical Transaction of the Royal Society. Bio. Sci. – 2007. – Vol. 362 (1483). – P. 1149–1163.

35. Ricley I.T., Reardon T.B. Isolation and characterization of *Clavibacter tritici* associated with *Anguina tritici* in wheat from Western Australia // Plant Pathology. – 1995. – Vol. 44 (5). – P. 805–810.

36. Seliverstova O.M., Verkhovtseva N.V., Stepanov A.L., Korchagin A.A. Izmenenie mikrobnogo soobshchestva seroy lesnoy pochvy pod posevom zlakovykh kul'tur pri primeneni organicheskikh i mineral'nykh udobreniy // Agrokhimiya. – 2008. – № 8. – S. 46–54.

37. Schenk S., Lambein F., Werner D. Broad antifungal activity of β -isoxazolinonyl-alanine, a non-protein amino acid from roots of pea (*Pisum sativum* L.) seedlings // Biology and Fertility of Soils. – 1991. – Vol. 11. – P. 203–209.

38. Ma J.F., Ueno H., Ueno D., Rombola A.D. [et al.]. Characterization of phytosiderophore secretion under Fe deficiency stress in *Festuca rubra* // Plant and Soil. – 2003. – Vol. 256 (1). – P. 131–137.

39. De Leij F.A.A.M., Whipps L.M., Lynch J.M. The use of colony development for the characterization of bacterial communities in soil and on roots // Microbial Ecology. – 1994. – Vol. 27. – P. 81–97.

40. Grayston S.J., Wang S., Campbell C.D., Edwards A. Selective influence of plant species on microbial diversity in rhizosphere // Soil Biology and Biochemistry. – 1998. – No. 30. – P. 369–378.

41. Sanon A., Andrianjaka Z.N., Prin Y., Bally R. Rhizosphere microbiota interferes with plant-plant interactions // Plant and Soil. – 2009. – Vol. 325. – No. 1–2. – P. 259–278.

42. Kazartsev I.A. Molekulyarnye metody issledovaniya gribnykh soobshchestv // Problemy mikologii i fitopatologii v XXI veke: mat-ly mezhdunar. nauch. konf., posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya chlena-korrespondenta AN SSSR, professora A.A. Yachevskogo. – SPb.: OOO «Kopi-R Grupp», 2013. – S. 75–78.

43. Voronina E.Yu. Vliyaniye mikorizosfery na vidovoy sostav i strukturu soobshchestva pochvennykh mikromitsetov po sravneniyu s rizosfernym i gifosfernym effektami // Mikologiya i fitopatologiya. – 2011. – T. 45. – № 1. – S. 26–33.

44. Gomes N.S., Heurer H., Schonfeld J., Costa R., Mendosa-Hagler L., Smalla K. Bacterial diversity of the rhizosphere of maize (*Zea mays*) growth in tropical soil studied by temperature gradient gel electrophoresis //

Plant and Soil. – 2001. – Vol. 232. – No. 1–2. – P. 167–180.

45. Peiffer J.A., Spor A., Koren O. [et al.]. Diversity and heritability of the maize rhizosphere microbiome under field conditions // PNAS. – 2013. – Vol. 110. – No. 16. – P. 6548–6553.

46. Kuske C.R., Ticknor L.O., Miller M.E. [et al.]. Comparison of soil bacterial communities in rhizosphere of three plant species and interspaces in an Arid Grassland // Applied and Environmental Microbiology. – 2002. – Vol. 68 (4). – P. 1854–1863.

47. Igiehon N.O., Babalola O.O. Below-ground-above-ground plant-microbial interactions: focusing on soybean, rhizobacteria and mycorrhizal fungi // Open Microbiology J. – 2018. – No. 12. – P. 261–279.

48. Barlans C., Berbegal M., Georgina E., Laidani M., Sibriain J.F., Sagues A., Gramaje D. The fungal and bacterial rhizosphere microbiome associated with grapevine rootstock genotypes in mature and young vineyards // Frontiers in Microbiology. – 2019. – No. 10. – Art. No. 1142.

49. Igiehon N.O., Babalola O.O., Aremu B.R. Genomic insights into plant growth promoting rhizobia capable of enhancing soybean germination under drought stress // BMC microbiology. – Vol. 19. – P. 1–22.

50. Nwachukwu B.C., Ayangbenro A.S., Balabola O.O. Elucidating the rhizosphere associated bacteria for environmental sustainability // Agriculture. – 2021. – Vol. 11 (1). – Art. No. 75.

51. Li Y., Wang C., Wang T., Liu Y., Jia S., Gao Y., Liu S. Effects of different fertilizer treatments on rhizosphere soil microbiom composition and functions // Land. – 2020. – No. 9 (9). – Art. No. 329.

52. Meena V.S., Maurya B.R., Verma J.P. Does a rhizospheric microorganism enhance K⁺ availability in agricultural soils // Microbiol. Res. – 2014. – Vol. 169 (5–6). – P. 337–347.

53. Majeed A., Abbasi M.K., Hameed S., Imran A., Naggash T., Hanif M.K. Isolation and characterization of sunflower, associated bacterial strain with broad spectrum plant growth promoting traits // Intern. J. Biosci. – 2018. – Vol. 13. – No. 2. – P. 110–123.

54. Tikhonov O.I., Bochkarev N.I., D'yakov A.B. Biologiya, selektsiya i vozdeystviye podsolnechnika. – M.: Agropromizdat, 1991. – 281 s.

55. Pandey R., Chavan P., Walokar N., Tripathi V., Khetmalas M. Pseudomonas stutzeri RPI: a versatile plant growth promoting endorhizospheric bacteria inhabiting sunflower (*Helianthus annuus*) // J. Biotechnol. – 2013. – Vol. 8 (7). – P. 48–55.

56. Lu Y., Zhang E., Hong M., Yin X., Cai H., Yuan L., Yuan F., Li L., Zhao K., Lan X. Analysis of endophytic and rhizosphere bacterial diversity and function in the endangered plant *Paeonia ludlowii* // Arch. Microbiol. – 2020. – Vol. 202 (7). – P. 1717–1728.

57. Nwachukwu B.C., Ayangbenro A.S., Balabola O.O. Structural diversity of bacterial communities in two divergent sunflower rhizosphere soils // Annals of Microbiology. – 2023. – Vol. 73. – Art. No. 9.

58. Turusov V.I. Sovershenstvovanie tekhnologii vozdeystviya podsolnechnika v Tsentral'no-Chernozemnoy polose: avtoref. dis. ... d-ra s.-kh. n. – Kursk, 2006. – 46 s.

59. Nikitin D.A., Ivanova E.F., Zhelezova A.D., Semenov M.V., Gadzhumarov R.F., Tkhakakhova A.K., Ksenofonova T.I., Kutovaya O.V. Otsenka vliyaniya tekhnologii No-till i vspashki na mikrobiom yuzhnykh agrosenozov // Pochvovedenie. – 2020. – № 12. – S. 1508–1520.

60. Borozdina I.B. Kvantitativnye pokazateli predstaviteley roda Pseudomonas i Bacillus rizosfery semeystva bobovye (Fabacea) i semeystva slozhnotsvetnye (Sompositae) // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2010. – № 11 (7). – S. 39–43.

61. Yadav A.N., Verma P., Singh B., Chauhan V.S., Suman A., Saxena A.K. Plant growth promoting bacteria: biodiversity and multifunctional attributes for sustainable agriculture // Adv. Biotechnol. Microbiol. – 2017. – Vol. 5 (5). – P. 1–16.

62. Zhatova G.A., Trotsenko V.I. Dinamika biosfernoy mikrobioty podsolnechnika // Ukrainskiy ekologicheskiy zhurnal. – 2017. – № 7 (1). – S. 22–29.

Сведения об авторах

В.В. Волгин, эксперт I кат., д-р с.-х. наук

В.Л. Махонин, зав. лаб., канд. с.-х. наук

Получено/Received

27.08.2024

Получено после рецензии/Manuscript peer-reviewed

09.09.2024

Получено после доработки/Manuscript revised

16.09.2024

Принято/Accepted

07.10.2024

Manuscript on-line

30.11.2024