

УДК 631.461:634.2(470.620)

UDC 631.461:634.2(470.620)

DOI 10.30679/2219-5335-2021-3-69-198-214

DOI 10.30679/2219-5335-2021-3-69-198-214

**ИЗУЧЕНИЕ
ЧИСЛЕННОСТИ И МОРФОЛОГИИ
ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ
ОСНОВНЫХ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ
ГРУПП МИКРОБНОГО
СООБЩЕСТВА ДВУХ ТИПОВ
АГРОГЕННО ИЗМЕНЕННЫХ
САДОВЫХ ПОЧВ ЮГА РОССИИ**

**STUDY OF THE ABUNDANCE
AND MORPHOLOGY
OF THE MAIN PHYSIOLOGICAL
GROUPS REPRESENTATIVES
OF THE MICROBIAL COMMUNITY
OF TWO TYPES OF AGROGENICALLY
ALTERED GARDEN SOILS
IN THE SOUTH OF RUSSIA**

Малюкова Людмила Степановна
д-р биол. наук, профессор
главный научный сотрудник
лаборатории агрохимии
и почвоведения
e-mail: Malukovals@mail.ru

Malyukova Lyudmila Stepanovna
Dr Sci. Biol., Professor
Chief Research Associate
of Agric-chemistry
and Soil Science Laboratory
e-mail: Malukovals@mail.ru

Рогожина Елена Вячеславовна
канд. биол. наук
научный сотрудник
лаборатории агрохимии
и почвоведения
e-mail: RogojinaEW@yandex.ru

Rogozhina Elena Vyacheslavovna
Cand. Biol. Sci.
Research Associate
of Agric-chemistry
and Soil Science Laboratory
e-mail: RogojinaEW@yandex.ru

*Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
«Федеральный исследовательский
центр Субтропический научный центр
Российской академии наук»,
Сочи, Россия*

*Federal State Budget
Scientific Institution
«Federal Research Centre
the Subtropical Scientific Centre
of the Russian Academy of Sciences»,
Sochi, Russia*

Сергеева Наталья Николаевна
канд. с.-х. наук
старший научный сотрудник
лаборатории агрохимии
и мелиорации
e-mail: sady63@bk.ru

Sergeyeva Natalya Nikolayevna
Cand. Agr. Sci.
Senior Research Associate
of Agric-chemistry
and Melioration Laboratory
e-mail: sady63@bk.ru

Ярошенко Олеся Владимировна
канд. с.-х. наук
научный сотрудник
лаборатории экологии почв
e-mail: olesya-yaroshenko@yandex.ru

Yaroshenko Olesya Vladimirovna
Cand. Agr. Sci.
Research Associate
of Soil Ecology Laboratory
e-mail: olesya-yaroshenko@yandex.ru

*Федеральное государственное
бюджетное научное учреждение
«Северо-Кавказский федеральный
научный центр садоводства,
виноградарства, виноделия»,
Краснодар, Россия*

*Federal State Budget
Scientific Institution
«North Caucasian Federal
Scientific Center of Horticulture,
Viticulture, Wine-making»,
Krasnodar, Russia*

Концептуальная основа интегральной стратегии регулирования параметров плодородия почв под монокультурой сада базируется на данных агрохимического и биологического мониторинга, сравнительном анализе информации и принятии решений, направленных на предотвращение ускорения круговорота биогенных элементов, потерь гумуса, усиления процессов почвоутомления, снижения биоразнообразия и т.п. Представленная статья содержит материалы, характеризующие уровень основных агрохимических показателей двух типов садовых почв, численность основных групп сапротрофного микробного комплекса агрогоризонта, результаты изучения морфологии колоний аммонифицирующих бактерий, специфику доминирования различных родов микромицетов, расчеты вариабельности численности морфо-физиологических групп почвенного микробного комплекса. Экспериментальный материал получен в полевых опытах двух агроклиматических зон Краснодарского края: субтропической и центральной. Объектом исследования служили различные по антропогенной нагрузке образцы агрогенно-измененных бурых лесных почв и агрозема структурно-метаморфического (чернозема выщелоченного): многолетняя и «молодая» залежь, почва под монокультурой сада. По данным результатов анализов почвы 2-х агроклиматических зон с диапазоном значений pH от слабо кислой до нейтральной в целом характеризовались соизмеримыми значениями численности групп микроорганизмов. Выявлено более низкое содержание прокариотных микроорганизмов (бактерий и актиномицетов) в черноземе в сравнении с бурыми лесными почвами. Изучение морфологии колоний аммонифицирующих бактерий показало различие видового состава бактериоценоза изучаемых типов садовых почв. Выявлено доминирование в бурых лесных почвах колоний бактерий более мелких форм, а в черноземе – крупных форм, с морщинистой и складчатой поверхностью.

Conceptual basis of integrated management strategies of soil fertility parameters under monoculture gardens is based on data from agrochemical and biological monitoring, information comparative analysis and decision-making to prevent acceleration of the nutrient cycle, loss of humus, enhancement of the soil fatigue processes, biodiversity loss, etc. The article contains materials that characterize the levels of the major agrochemical indicators of two types of garden soil, the abundance of major groups of the saprotrophic microbial complex of the soil agricultural horizon, the results of a study of the colonies ammonification bacteria morphology, the dominance specific of different kinds of micromycetes genera, computations of variability in the abundance of morpho-physiological groups of soil microbial complex. The experimental material was obtained in field experiments of two agro-climatic zones of the Krasnodar region: subtropical and central. The object of the study was samples of agrogenically altered brown forest soils and structural-metamorphic agrozem (leached chernozem), which were different in terms of anthropogenic load: perennial and "young" soil deposit, the soil under the garden monoculture. According to the results of analyses, the soils of two agroclimatic zones with a range of pH values from faintly acidic to neutral were generally characterized by comparable values of the abundance of microorganisms groups. A lower content of prokaryotic microorganisms (bacteria and actinomycetes) in chernozem was found in comparison with brown forest soils. The study of the morphology of ammonifying bacteria colonies showed a difference in the species composition of the bacteriocenosis of the studied types of garden soils. The dominance of bacteria colonies of smaller forms in brown forest soils, and large forms in chernozem, with a wrinkled and folded surface,

Установлено, что в черноземе выщелоченном на участках с различной антропогенной нагрузкой – «молодая» залежь и почва под плодовым садом – обильно развивались представители рода *Mucor*. Кроме того, доминировали грибы рода *Rhizoctonia*, что, вероятно, вызвано почвоутомлением и требует дальнейшего изучения.

Ключевые слова: плодовой ценоз, БУРЫЕ ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ, ВЫЩЕЛОЧЕННЫЙ ЧЕРНОЗЕМ, МИКРОБОЦЕНОЗ

was revealed. It was found that representatives of the genus *Mucor* developed abundantly in the leached chernozem in areas with different anthropogenic loads (in the "young" soil deposit and the soil under the horticultural garden). In addition, fungi of the genus *Rhizoctonia* were dominated and, probably, it was caused due to soil fatigue, and it requires further study.

Key words: FRUIT CENOSIS, BROWN FOREST SOIL, LEACHED CHERNOZEM, MICROBIOCENOSIS

Введение. Эффективность экологического подхода к управлению сельскохозяйственным производством обусловлена, в первую очередь, интегрированной стратегией регулирования параметров плодородия почв, в том числе, агрогенных почв разной стадии трансформации [1, 2].

Монокультура сада предполагает системное, долговременное внесение различных видов и доз удобрений, сопровождающееся механическим перемещением почвенной массы и формированием агрогоризонта, отличного от естественного. В строении и составе этого горизонта наблюдаются определенные закономерные водно-физические, физико-химические, биологические изменения, направленность которых требует агрохимического и агробиологического мониторинга [3-6]. Анализ динамики и характера изменений способствует не только разработке способов оптимизации жизненно необходимого плодовых культурам макро- и микроэлементного состава почв, но и полезных для сохранения баланса почвенного биоразнообразия микроорганизмов.

Об актуальности данного подхода свидетельствуют многочисленные научные публикации отечественных и зарубежных авторов, проводивших исследования в данном направлении на различных культурах и типах почв. Характеризуя взаимосвязи в системе «удобрения↔почвенная микробиота↔растение», авторы статей и аналитических обзоров указывают на по-

ложительную роль симбиотического взаимодействия компонентов системы на вегетативную продуктивность сельскохозяйственных культур, обусловленную влиянием микробиоты на эндогенные механизмы растений [7-12], улучшение усвоения питательных веществ из почвы и удобрений [13], а также на негативное влияние долгосрочного применения минеральных удобрений, растущего уровня интенсификации производства, приводящего к нарушению численности микоризных сообществ и др. [14, 15] и необходимости системного биологического контроля [16, 17].

В этой связи целью настоящих исследований стало сопряженное изучение особенностей микробного сообщества и агрохимических показателей двух зональных типов почв под монокультурой сада на фоне системного применения минеральных удобрений.

Проведенный перед началом экспериментальных исследований обзор литературных источников, позволил выдвинуть рабочую гипотезу об изменении состава доминантного микробного сообщества почв и агрохимических показателей, характерных для естественных фитоценозов, в агрогоризонте. Исследования носят плановый мониторинговый характер и направлены в перспективе на разработку биологизированной системы приемов оптимизации режима питания плодовых культур.

Объекты и методы исследований. В первом опыте исследования проводили в субтропической зоне России (г. Сочи, Краснодарский край). Изучали агрогенно-измененные бурые лесные почвы подтип слабонасыщенные, согласно классификации 1977 [18] или буроземы по классификации 2004 г., на 2-х примыкающих участках: многолетней залежи и персикового сада опытно-коллекционного участка ФГБУН ФИЦ СНЦ РАН, г. Сочи, Хостинский район, 43°34' N, 39°45' E. Насаждения персика (*Prunus persica* L., син. *Persica vulgaris* Mill.) 2005 года посадки, эксплуатируются по агроправилам в соответствии с рекомендациями [19]: дозы минеральных удобрений

вносятся в зависимости от возраста насаждений, обработка пестицидами осуществляется ежегодно с февраля по июнь (бордоская жидкость, делан, скор, каратэ, фундазол). Почвы залежи на протяжении нескольких десятков лет не подвергались прямому агрогенному влиянию и представляют собой заросли травянистой растительности и кустарников.

Во втором опыте микробный комплекс выщелоченного чернозема (агрозема структурно-метаморфического, по классификации 2004 г.) исследовали на площади 1 га, занятой культурой персика сорта Спринт Голд 2009 года посадки (г. Краснодар). Полевой опыт заложен в 2019 г. На участке были внесены минеральные удобрения (нитроаммофоска марки N16P16K16, физиологически кислое) в дозе N60P60K60, согласно почвенно-лиственной диагностике. Удобрение вносили локально в борозды (по окружности приствольного круга, по периферии кроны) вручную на глубину 15 см с перемешиванием удобрения с почвой. Контрольный вариант – почва «молодой» залежи, не подвергавшаяся обработке в течение 4 лет и покрытая травянистой растительностью (злаковые травы).

В зимний период (декабрь 2020 г.) на участках параллельно были проведены отборы почвенных проб в 3-х кратной повторности (слой 10-20 см) для определения численности трех таксономических групп сапротрофного микробного комплекса почв (аммонифицирующих бактерий, актиномицетов – род *Streptomyces* и сахаролитических микромицетов). Слой 10-20 см горизонта A₁ был выбран как наиболее подверженный агрогенному воздействию (удобрения, пестициды) и содержащий в меньшей степени (по сравнению с горизонтом A₀) растительные остатки. Расстояние между точками отбора 7-10 м. Образцы в стерильных полиэтиленовых пакетах доставляли в лабораторию, освобождали от мелких камней, корней и растительных остатков и хранили в холодильнике при t=4 °C и естественной влажности. Для химического анализа образцы отбирали в

полотняные мешочки и, после высушивания до воздушно-сухого состояния (22 °С), измельчали и просеивали через сито с ячейками 1 мм.

Микробиологический анализ. Количественный учет микроорганизмов осуществляли методом поверхностного посева из разведений почвенной суспензии на плотные селективные питательные среды [20, 21]. На мясопептонном агаре (МПА) наблюдали рост бактерий, способных использовать в качестве источника азота его органические формы. Культивировали в течение 3 суток. Численность актиномицетов (преимущественно род *Streptomyces*) определяли на минеральной среде Гаузе-1 с добавлением пенициллина (1 мг/л), цефтриаксона (50 мг/л) и нистатина (150 мг/л). Антибиотики вносили асептически в колбы со стерильной, охлажденной до 45 °С средой (культивировали 7-10 дней). Микромицеты культивировали 5-7 суток на среде Чапека, подкисленной стерильной молочной кислотой в концентрации 4 мг/л. Среда предназначена для роста быстрорастущих форм микромицетов, «сахаролитических» грибов. Молочная кислота обеспечивает подавление роста прокариот (бактерий и актиномицетов) и вносится асептически в стерильную, охлажденную до 45 °С среду. Культивировали 5-7 суток. Морфологию колоний бактерий и актиномицетов изучали с помощью стереоскопического микроскопа Альтами СМ 07-45Т при увеличении $\times 45$.

Агрохимические показатели почв определяли в соответствии с общепринятыми рекомендуемыми для данных типов почв методиками и ГОСТами [22-28].

Учет численности микроорганизмов проводили в 5-ти повторностях, химический анализ – в двух. Расчет их величин выполнен на вес сухой почвы (105 °С, 8 ч). Различие экспериментальных данных между изученными экосистемами оценивали однофакторным дисперсионным анализом. Статистическую обработку экспериментальных данных и их визуализацию (гистограмма) выполняли с использованием программы Microsoft Excel (при $P = 0,95$).

Обсуждение результатов. Основные агрохимические показатели двух типов почв представлены в таблицах 1 и 2. Бурые лесные слабонасыщенные почвы естественного ценоза характеризовались низким содержанием азота, средним и повышенным содержанием фосфора и высокой обеспеченностью калием. Почвы агроценоза имели более кислую реакцию почвенного раствора в сравнение с залежью, обусловленную применением минеральных удобрений, характеризовались более низким содержанием аммиачного азота и большей обеспеченностью подвижным фосфором и обменным калием.

Таблица 1 – Агрохимические показатели бурых лесных слабонасыщенных почв (слой 10-20 см)

Варианты землепользования	рН _{вод} ГОСТ 26423-85	Аммиачный азот	Азот нитратов ГОСТ 26357-86	Подвижный фосфор	Обменный калий
Залежь	6,60	31,77	1,62	116,9	278,2
	6,85	38,07	1,67	108,0	337,3
	6,53	36,41	2,27	92,0	191,2
среднее	6,66±0,21	35,42±0,27	1,85±0,38	105,6±12,6	268,9±73,5
Персиковый сад	5,53	28,04	1,71	146,2	288,0
	6,07	22,89	1,51	153,7	250,3
	6,38	24,03	1,63	162,0	395,0
среднее	5,99±0,46	24,99±2,68	1,62±0,10	154,0±7,9	311,1±75,1

Таблица 2 – Агрохимические показатели чернозема выщелоченного (слой 10-20 см)

Варианты землепользования	рН _{вод} ГОСТ 26423-85	Гумус, % ГОСТ 26213-91	Азот нитратов ГОСТ 26357-86	Подвижный фосфор	Обменный калий
мг/кг					
Залежь	7,15	3,72	2,86	213,1	134,2
	7,26	3,51	2,43	230,8	134,2
	7,20	3,52	2,17	211,1	134,2
среднее	7,20±0,06	3,58±0,12	2,49±0,35	218,3±10,8	134,2±0,02
Персиковый сад	6,77	3,56	3,89	243,6	161,0
	6,71	3,51	4,13	222,9	160,0
	6,73	3,55	4,75	262,4	162,0
среднее	6,74±0,03	3,54±0,02	4,26±0,44	244,0±19,8	161,0±1,0

Во втором опыте также имело место некоторое подкисление почвы на фоне внесения удобрений. Содержание нитратного азота очень низкое, что характерно для чернозема выщелоченного, однако, на удобренном фоне показатель выше в среднем на 71 %, что, возможно, связано с ростом активности и численности нитрифицирующих бактерий. Содержание обменного калия при применении удобрений также в среднем выше на 20 %.

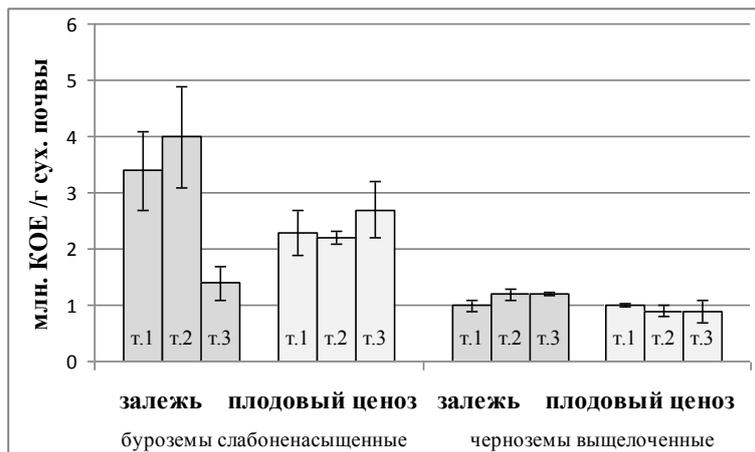
По данным результатов анализов почвы 2-х агроклиматических зон с диапазоном значений рН от слабо кислой до нейтральной в целом характеризовались соизмеримыми значениями численности групп микроорганизмов:

- аммонифицирующие бактерии – единицы миллионов КОЕ/г почвы;
- актиномицеты (в основном род *Streptomyces* sp.) – сотни тысяч (ниже на 1 порядок);
- сахаролитические микромицеты – десятки и сотни тысяч (ниже на 1-2 порядка) (рис. 1).

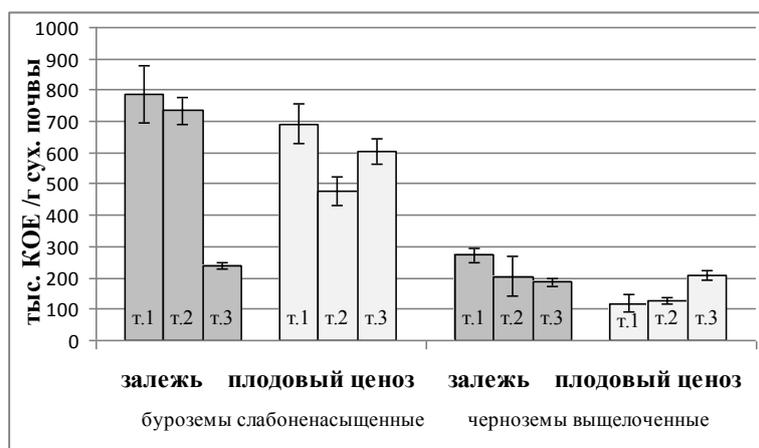
Выявлено более низкое содержание прокариотных микроорганизмов (бактерий и актиномицетов) в черноземе в сравнение с бурыми лесными почвами (в 2,7 раза), обусловленное, по-видимому, влиянием климатических факторов и особенностями типа почв (рис. 1 А, Б, В; рис. 2, 3).

В черноземе выщелоченном более низкие значения численности стрептомицетов, продуцентов антибиотиков, были отмечены нами и ранее [29].

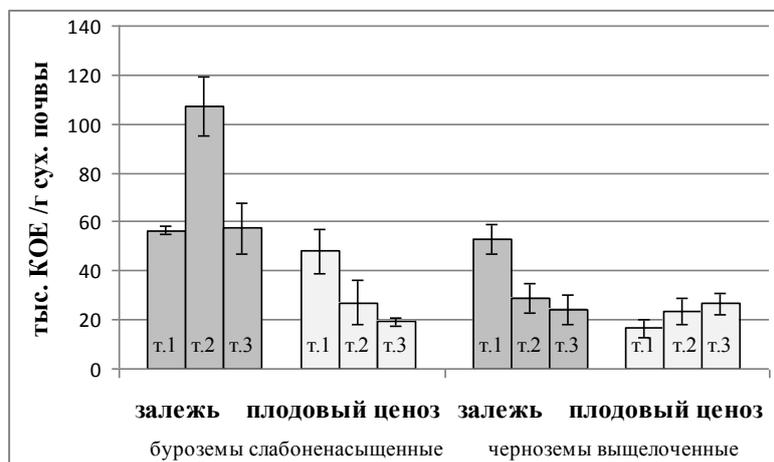
В результате сравнения микробных сообществ почв плодового сада и залежи на двух типах почв существенных различий численности прокариотных групп выявлено не было, что обусловлено, возможно, стабилизацией агроэкосистем в зимний период (декабрь). В почвах агроценозов была отмечена тенденция снижения численности микромицетов, в большей степени выраженная в буроземах, что связано с чувствительностью данной группы микроорганизмов к применяемым в агротехнике персика фунгицидам (рис. 1 В).



А



Б



В

Рис.1. Численность основных групп сапротрофного микробного комплекса почв плодового агроценоза в сравнение с залежью (10-20 см):

- А – аммонифицирующие бактерии;
- Б – актиномицеты (род *Streptomyces* sp.);
- В – микромицеты

Численность бактерий имела низкие значения variability (табл. 3) в почвах агроценозов и «молодой» залежи (чернозем), и высокие значения в условиях многолетней залежи (бурые лесные). Variability численности мицелиальных микроорганизмов в почвах персикового сада и залежи имела в основном средние значения. Установлено, что черноземы более однородны по распределению микроорганизмов в почве. Самый неоднородный из изученных участков – многолетняя залежь бурых лесных слабонасыщенных почв, заросшая как травянистой, так и кустарниковой растительностью.

Таблица 3 – Variability (%) численности морфо-физиологических групп почвенного микробного комплекса

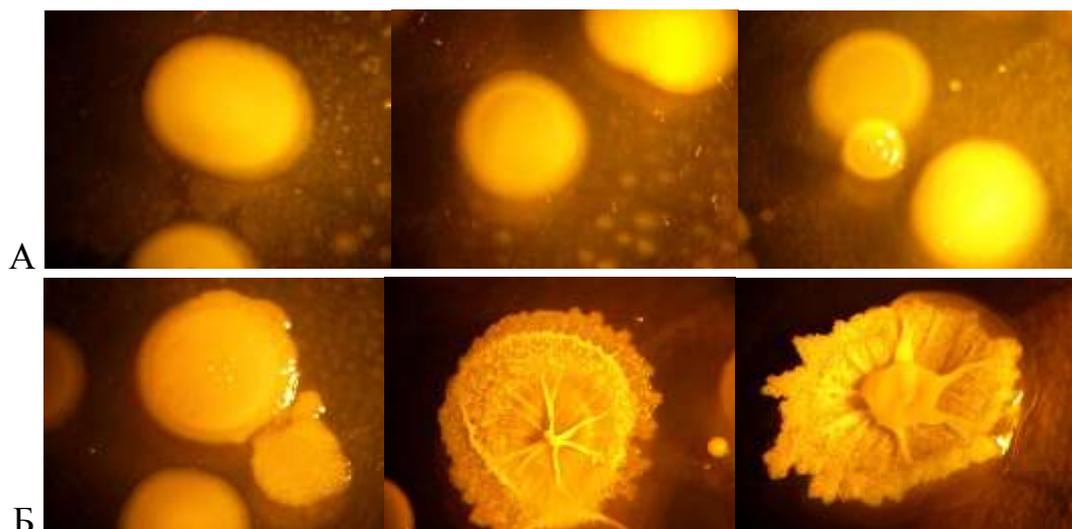
Тип землепользования	Группы микроорганизмов		
	аммонифицирующие бактерии	актиномицеты	микровицеты
Бурые лесные слабонасыщенные почвы			
плодовый сад	11	18	47
залежь	46	52	39
Чернозем выщелоченный			
плодовый сад	6	33	23
«молодая» залежь	10	21	43

Сравнительное изучение морфологии колоний аммонифицирующих бактерий показало их различие, возможно обусловленное видовым составом бактериоценоза изучаемых типов почв (рис. 2).

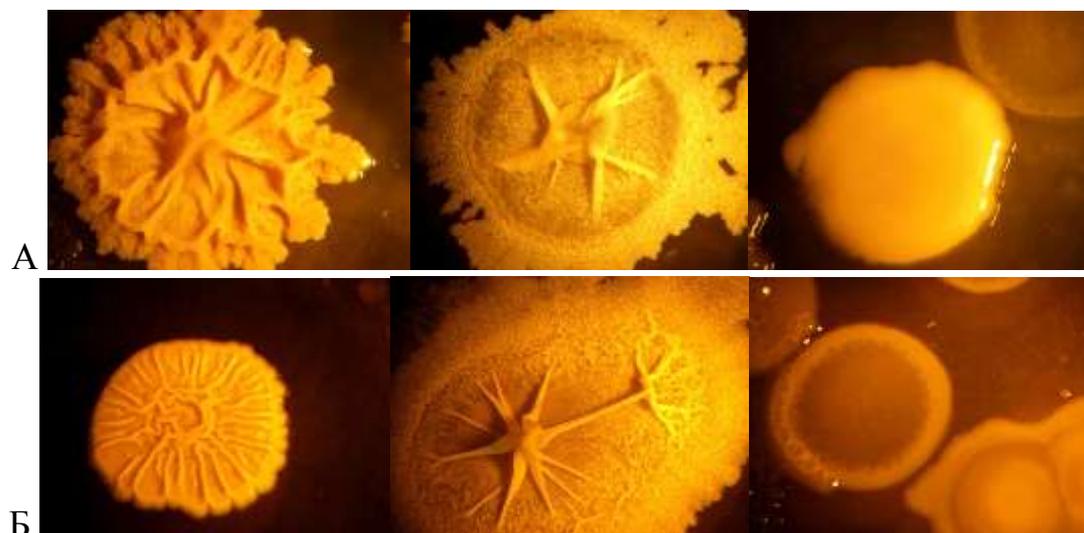


Рис. 2. Колонии бактерий на МПА: г. Сочи – бурые лесные слабонасыщенные почвы; г. Краснодар – чернозем выщелоченный

Микроскопирование колоний демонстрировало доминирование в бурых лесных почвах более мелких форм с гладкой, блестящей поверхностью, ровными краями, вязких по консистенции, а в черноземе – крупных форм, с морщинистой и складчатой поверхностью, бахромчатыми или неровными краями, сухих по консистенции (рис. 3). Однако для окончательных выводов необходима видовая идентификация бактерий.



Бурые лесные слабонасыщенные почвы



Чернозем выщелоченный

Рис. 3. Морфология колоний бактерий (x45) на МПА:
А – залежь; Б – почва под садом

Колонии актиномицетов (род *Streptomyces* sp.), культивированные из почв разных типов, также имели морфологические различия (рис. 4, 5А, Б).

Активного спороношения на 10-й день культивирования не наблюдалось, что связано, возможно, с физиологическим покоем микроорганизмов в зимний период (рис. 5В).



Рис. 4. Колонии актиномицетов на среде Гаузе-1

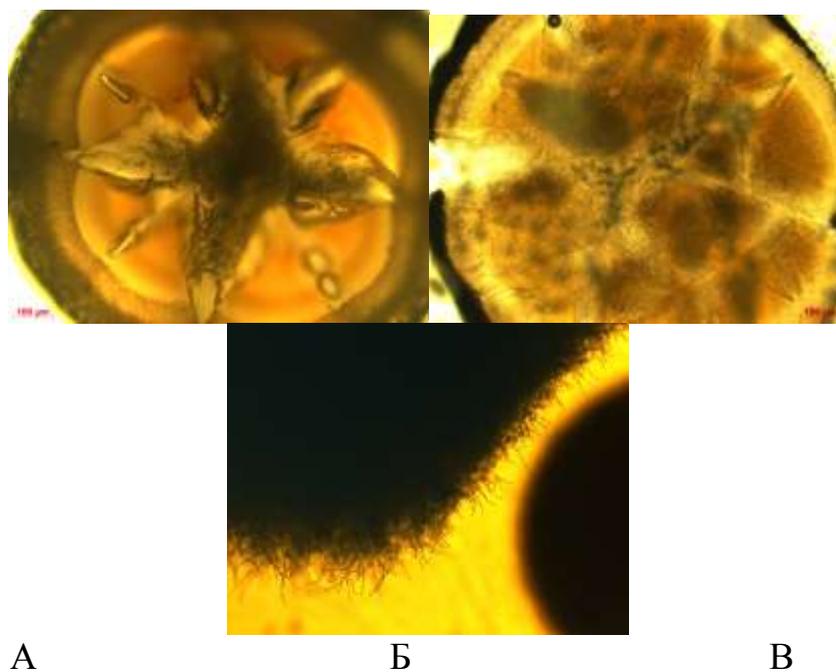


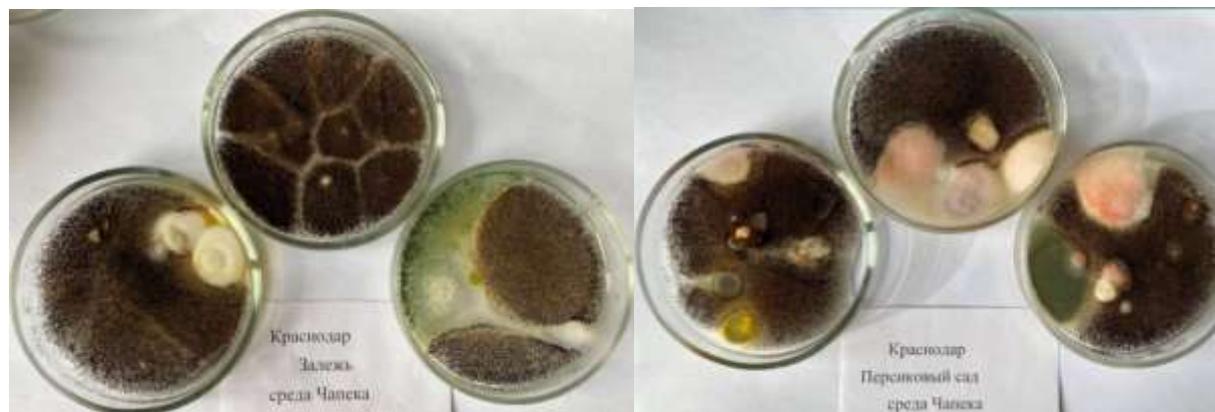
Рис. 5 – Морфология колоний актиномицетов (x50) на среде Гаузе-1:
А – бурые лесные слабонасыщенные почвы;
Б – чернозем выщелоченный;
В – мицелий без спор

Проведение идентификации микромицетов до рода по морфологическим признакам колоний и спороносных органов показало наличие различных доминантных форм, развивающихся на двух типах почв. В буроземах в условиях многолетней залежи доминантными являлись род *Penicillium* и *Botrytis*, а в агрогоризонте сада еще и род *Mucor* (рис. 6). В черноземах

представители рода *Mucor* обильно развивались как в условиях «молодой» залежи, так и в саду при применении удобрений. В почвах агроценоза, кроме того, доминировали грибы рода *Rhizoctonia* – виды которого являются факультативными патогенами растений, вызывающими коммерчески значимые болезни сельскохозяйственных культур, что, вероятно, вызвано почвоутомлением и требует дальнейшего изучения.



Бурые лесные слабонасыщенные почвы



Чернозем выщелоченный

Рис. 6. Колонии микромицетов на среде Чапека

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что в условиях монокультуры сада на фоне выявленного уровня агрохимических показателей микробное сообщество почв разных агроклиматических зон (буроземы влажных субтропиков и чернозем выщелоченный центральной зоны Краснодарского края) имело некоторые отличия по количеству мик-

роорганизмов трех морфо-физиологических групп. В черноземах были определены более низкие значения численности аммонифицирующих бактерий и стрептомицетов (в 2,7 раза), а также выявлены морфологические особенности доминантных форм прокариот.

Отмечена тенденция снижения численности микромицетов в почвах агроценозов, что может предполагать чувствительность данной группы микроорганизмов к агротехническим приемам возделывания культуры (удобрения, фунгициды). Установлено, что в черноземе выщелоченном на участках с различной антропогенной нагрузкой – «молодая» залежь и почва под плодовым садом – обильно развивались представители рода *Mucor*. Кроме того, доминировали грибы рода *Rhizoctonia*, что, вероятно, вызвано почвоутомлением и требует дальнейшего изучения.

Проведенные исследования являются основой для разработки интегрированной стратегии регулирования параметров плодородия почв путем внедрения специальных биомодифицированных удобрений, способствующих сохранению почвенного биоразнообразия в условиях монокультуры сада.

Литература

1. Малюкова Л.С., Рындин А.В., Козлова Н.В. Особенности агрогенной трансформации бурых лесных кислых почв чайных плантаций // Вестник Российской академии с.-х. наук. 2008. № 4. С. 26-27. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11649701>.
2. Bargaz A., Lyamlouli K., Chtouki M., Zeroual Y., Dhiba D. Soil Microbial Resources for Improving Fertilizers Efficiency in an Integrated Plant Nutrient Management System // Frontiers in Microbiology (Published online). – 2018. - № 9. 1606. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6079243/>. (дата обращения 15.02.2021).
3. Малюкова Л.С., Рогожина Е.В., Струкова Д.В. Анализ корреляционных связей между биологическими и агрохимическими свойствами бурых лесных кислых почв влажно-субтропической зоны России // Проблемы агрохимии и экологии. 2018. № 4. С. 39-43. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36668320>.
4. Рогожина Е.В., Малюкова Л. С. Особенности группового состава комплекса ризосферных микроорганизмов хозяйственно-значимых плодовых культур (фундук, персик) в условиях влажных субтропиков России // Совершенствование сортимента и технологий возделывания плодовых и ягодных культур: мат. межд. науч.-практ. конф., Орел, 27-30 июля 2010 г., ВНИИ селекции плодовых культур. Орел: ВНИИСПК, 2010. С. 188-190. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24380656>.
5. Малюкова Л.С., Рогожина Е.В., Струкова Д.В. Влияние длительного применения минеральных удобрений на биологическую активность почв чайных плантаций // Агрохимический вестник. 2012. № 2. С. 15-17. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17680691>.
6. Сергеева Н.Н., Пестова Н.Г., Ярошенко О.В. 15-летний мониторинг состояния плодородия садовых почв на юге России // Вестник АПК Ставрополя. 2014. № 2 (14). С. 185-189. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21745849>.

7. Zhu Q., Riley W. J., Tang J., Koven C. D. Multiple soil nutrient competition between plants, microbes, and mineral surfaces: model development, parameterization, and example applications in several tropical forests // *Biogeosciences*. – 2016. – Vol. 13(1). – p. 341–363. URL: <https://scholar.google.com/citations?user=Te7iKC8AAAAJ&hl=en>.

8. Verbon E. H., Liberman L. M. Beneficial microbes affect endogenous mechanisms controlling root development. // *Trends Plant Sciences*. – 2016. – Vol. 21 (3). – p. 218–229. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26875056/>.

9. Wani S. A., Chand S., Ali T. Potential use of *Azotobacter chroococcum* in crop production: an overview // *Current Agriculture Research Journal*. – 2013. – Vol. 1(1)., p. 35-38. doi: <http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.1.1.04>.

10. Wang W., Shi J., Xie Q., Jiang Y., Yu N., Wang E. Nutrient exchange and regulation in arbuscular mycorrhizal symbiosis. // *Molecular Plant*. –2017. – Vol. 10. - № 9. –p. 1147-1158. URL: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=34801039>.

11. Vivienne N. M., Dakora F. D. Potential use of rhizobial bacteria as promoters of plant growth for increased yield in landraces of African cereal crops. // *African Journal of Biotechnology*. – 2004. – Vol. 3 (1). – p. 1-7. URL: https://www.researchgate.net/publication/255600435_Potential_use_of_rhizobial_bacteria_as_promoters_of_plant_growth_for_increased_yield_in_landraces_of_African_cereal_crops.

12. Vessey J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers // *Plant and Soil*. – 2003. – № 255 (2). – p. 571-586. URL: https://www.researchgate.net/publication/225310882_Plant_growth_promoting_rhizobacteria_as_biofertilizer.

13. Yasari E., Azadgoleh M. A., Mozafari S., Alashti M. R. Enhancement of growth and nutrient uptake of Rapeseed (*Brassica napus* L.) by applying mineral nutrients and biofertilizers // *Pakistan Journal of Biological Sciences* 2009. – №12. – p. 127-133. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19579932/>.

14. Zheng B. X., Hao X. L., Ding K., Zhang J. B., Zhu Y. G. Long-term nitrogen fertilization decreased the abundance of inorganic phosphate solubilizing bacteria in an alkaline soil. // *Scientific Reports*. – 2017(7). Published online 2017 Feb 9. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28181569/>. (дата обращения 15.02.2021).

15. Van Geel M., Ceustermans A., van Hemelrijck W., Lievens B., Honnay O. Decrease in diversity and changes in community composition of arbuscular mycorrhizal fungi in roots of apple trees with increasing orchard management intensity across a regional scale // *Molecular Ecology*. – 2015. - № 24. – p. 941-952. URL: <https://www.researchgate.net/journal/Molecular-Ecology-1365-294X>.

16. Рогожина Е.В. Биомониторинг агрогенно-измененных бурых лесных кислых почв посредством анализа состава почвенного микробоценоза // *Современные технологии в изучении биоразнообразия и интродукции растений: сборник материалов*. Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. С. 263-265. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30298930>.

17. Whipps J. M. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere // *Journal of Experimental Botany* – 2001. – Vol. 52 (1). – p. 487. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=10294269>.

18. Классификация и диагностика почв СССР / В.В. Егоров [и др.]. Москва: Колос, 1977. 224 с

19. Рекомендации по технологии выращивания персика в предгорных и горных районах / К.С. Глущенко [и др.]; ред. Т.А. Ищенко. М.: Колос, 1982. 30 с.

20. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 303 с.

21. Практикум по микробиологии: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Под ред. А.И. Нетрусова. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 608 с.

22. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. 687 с.

23. Определение содержания нитратов в почве по Грандваль-Ляжу / Практикум по агрохимии: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. академика РАСХН В.Г.Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. 687 с.

24. ГОСТ 26423-85 Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки
25. ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества
26. ГОСТ 26951-86 Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом
27. ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО
28. ГОСТ 26204-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО
29. Малукова Л.С., Рогожина Е.В., Сергеева Н.Н., Ярошенко О.В. Сравнительная характеристика микробоценозов двух зональных типов почв под культурой персика в южном регионе [Электронный ресурс] // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2020. № 64(4). С. 267-281. URL: <http://journalkubansad.ru/pdf/20/04/22.pdf>. DOI: 10.30679/2219-5335-2020-4-64-267-281 (дата обращения: 26.03.2021).

References

1. Malyukova L.S., Ryndin A.V., Kozlova N.V. Osobennosti agrogennoj transformacii buryh lesnyh kislyh pochv chajnyh plantacij // Vestnik Rossijskoj akademii. s.-h. nauk. 2008. № 4. S. 26-27. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11649701>.
2. Bargaz A., Lyamlouli K., Chtouki M., Zeroual Y., Dhiba D. Soil Microbial Resources for Improving Fertilizers Efficiency in an Integrated Plant Nutrient Management System // Frontiers in Microbiology (Published online). – 2018. – № 9. 1606. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6079243/>. (data obrashcheniya 15.02.2021).
3. Malyukova L.S., Rogozhina E.V., Strukova D.V. Analiz korrelyacionnyh svyazej mezhdru biologicheskimi i agrohimicheskimi svojstvami buryh lesnyh kislyh pochv vlazhno-subtropicheskoy zony Rossii // Problemy agrohimii i ekologii. 2018. № 4. S. 39-43. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36668320>.
4. Rogozhina E.V., Malyukova L. S. Osobennosti gruppovogo sostava kompleksa rizosfernyh mikroorganizmov hozyajstvenno-znachimyh plodovyh kul'tur (funduk, persik) v usloviyah vlazhnyh subtropikov Rossii // Sovershenstvovanie sortimenta i tekhnologij vozdeleyvaniya plodovyh i yagodnyh kul'tur: mat. mezhd. nauch.-prakt. konf., Orel, 27-30 iyulya 2010 g., VNI selekcii plodovyh kul'tur. Orel: VNIISPK, 2010. S. 188-190. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24380656>.
5. Malyukova L.S., Rogozhina E.V., Strukova D.V. Vliyanie dlitel'nogo primeneniya mineral'nyh udobrenij na biologicheskuyu aktivnost' pochv chajnyh plantacij // Agrohimicheskij vestnik. 2012. № 2. S. 15-17. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17680691>.
6. Sergeeva N.N., Pestova N.G., Yaroshenko O.V. 15-letnij monitoring sostoyaniya plodorodiya sadovyh pochv na yuge Rossii // Vestnik APK Stavropol'ya. 2014. № 2 (14). S. 185-189. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21745849>.
7. Zhu Q., Riley W. J., Tang J., Koven C. D. Multiple soil nutrient competition between plants, microbes, and mineral surfaces: model development, parameterization, and example applications in several tropical forests // Biogeosciences. – 2016. – Vol. 13(1). – P. 341–363. URL: <https://scholar.google.com/citations?user=Te7iKC8AAAAJ&hl=en>.
8. Verbon E. H., Liberman L. M. Beneficial microbes affect endogenous mechanisms controlling root development. // Trends Plant Sciences. – 2016. – Vol. 21 (3). – P. 218–229. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26875056/>.
9. Wani S. A., Chand S., Ali T. Potential use of *Azotobacter chroococcum* in crop production: an overview // Current Agriculture Research Journal. – 2013. – Vol. 1(1)., P. 35-38. doi: <http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.1.1.04>.
10. Wang W., Shi J., Xie Q., Jiang Y., Yu N., Wang E. Nutrient exchange and regulation in arbuscular mycorrhizal symbiosis. // Molecular Plant. –2017. – Vol. 10. - № 9. –P. 1147-1158. URL: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=34801039>.

11. Viviene N. M., Dakora F. D. Potential use of rhizobial bacteria as promoters of plant growth for increased yield in landraces of African cereal crops. // African Journal of Biotechnology. – 2004. – Vol.3 (1). – P. 1-7. URL: https://www.researchgate.net/publication/255600435_Potential_use_of_rhizobial_bacteria_as_promoters_of_plant_growth_for_increased_yield_in_landraces_of_African_cereal_crops.

12. Vessey J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers // Plant and Soil. – 2003. – № 255 (2). – P. 571-586. URL: https://www.researchgate.net/publication/225310882_Plant_growth_promoting_rhizobacteria_as_biofertilizer.

13. Yasari E., Azadgoleh M. A., Mozafari S., Alashti M. R. Enhancement of growth and nutrient uptake of Rapeseed (*Brassica napus* L.) by applying mineral nutrients and biofertilizers // Pakistan Journal of Biological Sciences 2009. – №12. – P. 127-133. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19579932/>.

14. Zheng B. X., Hao X. L., Ding K., Zhang J. B., Zhu Y. G. Long-term nitrogen fertilization decreased the abundance of inorganic phosphate solubilizing bacteria in an alkaline soil. // Scientific Reports. – 2017(7). Published online 2017 Feb 9. URL: [HTTPS://PUBMED.NCBI.NLM.NIH.GOV/28181569/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28181569/). (data obrashcheniya 15.02.2021).

15. Van Geel M., Ceustermans A., van Hemelrijck W., Lievens B., Honnay O. De-crease in diversity and changes in community composition of arbuscular mycorrhizal fungi in roots of apple trees with increasing orchard management intensity across a regional scale // Molecular Ecology. – 2015. – № 24. – P. 941-952. URL: <https://www.researchgate.net/journal/Molecular-Ecology-1365-294X>.

16. Rogozhina E.V. Biomonitoring agrogenno-izmenennyh buryh lesnyh kislyh pochv posredstvom analiza sostava pochvennogo mikrobocenoza // Sovremennye tekhnologii v izuchenii bioraznoobraziya i introdukcii rastenij: sbornik materialov. Taganrog: Izdatel'stvo Yuzhnogo federal'nogo universiteta, 2017. S. 263-265. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30298930>.

17. Whipps J. M. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere // Journal of Experimental Botany – 2001. – Vol. 52 (1). – p. 487. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=10294269>.

18. Klassifikaciya i diagnostika pochv SSSR / V.V. Egorov [i dr.]. Moskva: Kolos, 1977. 224 s

19. Rekomendacii po tekhnologii vyrashchivaniya persika v predgornyh i gornyh rajonah / K.S. Glushchenko [i dr.]; red. T.A. Ishchenko. M.: Kolos, 1982. 30 s.

20. Metody pochvennoj mikrobiologii i biohimii / Pod red. D.G. Zvyaginca. M.: Izd-vo MGU, 1991. 303 s.

21. Praktikum po mikrobiologii: Ucheb. posobie dlya stud. vyssh. ucheb. zavedenij / Pod red. A.I. Netrusova. M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2005. 608 s.

22. Praktikum po agrohimii / Pod red. V.G. Mineeva. M.: Izd-vo MGU, 2001. 687 s.

23. Opredelenie soderzhaniya nitratov v pochve po Grandval'-Lyazhu / Praktikum po agrohimii: Ucheb. posobie. 2-e izd., pererab. i dop./ Pod red. akademika RASHN V.G.Mineeva. M.: Izd-vo MGU, 2001. 687 s.

24. GOST 26423-85 Pochvy. Metody opredeleniya udel'noj elektricheskoy provodimosti, PH i plotnogo ostatka vodnoj vytyazhki

25. GOST 26213-91 Pochvy. Metody opredeleniya organicheskogo veshchestva

26. GOST 26951-86 Pochvy. Opredelenie nitratov ionometricheskim metodom

27. GOST 26483-85 Pochvy. Prigotovlenie solevoj vytyazhki i opredelenie ee pH po metodu CINAO

28. GOST 26204-91 Pochvy. Opredelenie podvizhnyh soedinenij fosfora i kaliya po metodu Chirikova v modifikacii CINAO

29. Malyukova L.S., Rogozhina E.V., Sergeeva N.N., Yaroshenko O.V. Sravnitel'naya harakteristika mikrobocenzov dvuh zonal'nyh tipov pochv pod kul'turoj persika v yuzhnom regione [Elektronnyj resurs] // Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii. 2020. № 64(4). S. 267-281. URL: <http://journalkubansad.ru/pdf/20/04/22.pdf>. DOI: 10.30679/2219-5335-2020-4-64-267-281 (data obrashcheniya: 26.03.2021).