Плодоводство и виноградарство Юга России № 67(1), 2021 г.

УДК 631.4:634.2(470.620)

UDC 631.4:634.2(470.620)

DOI 10.30679/2219-5335-2021-1-67-242-260

DOI 10.30679/2219-5335-2021-1-67-242-260

БИОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ АГРОГЕННО ИЗМЕНЕННЫХ ПОЧВ ПОД РАЗЛИЧНЫМИ ФИТОЦЕНОЗАМИ UNDER VARIOUS PHYTOCENOSIS В СУБТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ

BIOFUNCTIONAL STATE OF AGROGENICALLY **CHANGED SOILS** IN THE SUBTROPICAL ZONE **OF RUSSIA**

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

Малюкова Людмила Степановна, д-р биол. наук, профессор главный научный сотрудник лаборатории агрохимии и почвоведения

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

e-mail: Malukovals@mail.ru

Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences Sochi, Russia

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

Представлены результаты исследования биофункционального состояние агрогенно измененных почв двух фитоценозов: естественно подобного (насаждения кипариса) и агроценоза (персиковый сад). Обоснована актуальность проведения системного биомониторинга почв при различном сельскохозяйственном использовании. Определена основная цель работы – оценить состояние бурых лесных почв различных фитоценозов по комплексу показателей для понимания их информативности и взаимосвязи между ними. Экспериментальные участки располагались на бурых лесных почвах в условиях влажного субтропического климата Черноморского побережья.

The paper presents the results of a study of the biofunctional state of agrogenically altered soils of two phytocenoses: naturally-like (cypress plantations) and agrocenosis (peach orchard). The relevance of the systemic biomonitoring of soils for various agricultural use is made. The main goal of the work was determined – to assess the state of brown forest soils of various phytocenoses according to a set of indicators in order to understand their informative value and the relationship between them. The experimental plots were located on brown forest soils in the humid subtropical climate of the Black Sea coast. The number Анализировали численность представителей of representatives of three morphological

трех морфологических групп сапротрофного микробоценоза по горизонтам почвенного профиля. Почву для исследований отбирали в зимний период, для исследования биологической активности почв был выбран весенний период. Анализ численности микроорганизмов и показателей экофизиологического состояния осуществляли во взаимосвязи с агрохимическими показателями почв и погодными условиями. В структуре микробоценоза преобладала физиологическая группа сапротрофных бактерий, ниже была численность актиномицетов и микромицетов. Пахотный слой под персиковым садом характеризовался более низкими в сравнении с условным фоном (насаждения кипариса) значениями численности микромицетов. При этом показатели, отражающие общую функциональную активность микробоценоза, были выше в почвах агроценоза персика в сравнении с насаждениями кипариса, что демонстрирует более сбалансированный состав функционально активных популяций микробоценоза почв под персиком. В целом изученный комплекс показателей биофункционального состояния почв показывает их высокую информативность и взаимосвязь, что позволяет рассматривать их в качестве индикаторов экологического состояния почв сельскохозяйственного использования.

Ключевые слова: БУРЫЕ ЛЕСНЫЕ АГРОГЕННО-ИЗМЕНЕННЫЕ ПОЧВЫ, МИКРОБОЦЕНОЗ, МИКРОБНАЯ БИОМАССА, МЕТАБОЛИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ, «ЗДОРОВЬЕ» ПОЧВЫ

groups of saprotrophic microbocenosis was analyzed along the horizons of the soil profile. The soil for research was selected in the winter, to study the biological activity of soils, the spring period was chosen. The analysis of the number of microorganisms and indicators of the ecophysiological state was carried out in relation to the agrochemical parameters of soils and weather conditions. The physiological group of saprotrophic bacteria predominated in the structure of the microbial community, the number of actinomycetes and micromycetes was lower. The arable layer under the peach orchard was characterized by lower values of the number of micromycetes in comparison with the conventional background (cypress plantations). At the same time, the indicators reflecting the potential functional activity of microbial cenosis were higher in the soils of the peach agrocenosis in comparison with cypress plantations, which demonstrated the balance of the composition of the functionally active populations of this microbial community. In general, the studied complex of indicators of the biofunctional state of soils demonstrates their information content and interrelation, which allows us to consider them as indicators of the ecological state of soils for agricultural use.

Key words: BROWN FOREST AGROGENICALLY CHANGED SOILS, MICROBOCENOSIS, MICROBIAL BIOMASS, METABOLIC COEFFICIENT, "HEALTH" OF SOIL

Введение. Субтропическое садоводство во влажно-субтропической зоне России, как правило, сопряжено с применением удобрений и химических средств защиты растений, что требует системного мониторинга состояния почв, в частности её функционального состояния [1-3]. Многие исследователи, в том числе и авторы, отмечали в почвах садовых агроценозов комплекс агрогенных изменений, обусловленных применением пестицидов и агрохимикатов, среди которых подкисление почв [4, 5], снижение содержания гумуса [6, 7], ингибирование ферментативной активности [8] и снижение численности микроорганизмов [9]. При этом указывается, что высокая урожайность и сохранение свойств почвы агроценоза возможны только при экологически обоснованном применении агротехнологий [3], критерием оценки которых могут служить показатели «здоровья» почв [10-13].

Для ранней диагностики нарушений устойчивости почв и агроценозов применяется комплекс показателей [14], среди которых численность микроорганизмов [15-17]; азотфиксация [18-20],«дыхание» [5, 19, 21-25], ферментативная активность, мультисубстратное тестирование [8, 26-28].

В последние годы для оценки функционального состояния почв широко используется ряд биологических показателей, которые базируются на базальном и субстрат-индуцированном дыхании почв [29-32]. Информативным показателем рассматривается микробная биомасса – живая часть органического вещества почвы, образованная грибами, бактериями, простейшими и водорослями, которая способна обеспечить потребности растения в питательных веществах, являясь важным компонентом круговорота веществ и энергии, в первую очередь цикла углерода [29].

В дополнение к микробной биомассе в качестве биоиндикатора «здоровья» почвы широко используется базальное «дыхание» (БД), интегральный функциональный показатель, характеризующий микробную активность почвы [30]. Информативным показателем «напряжения» в экосистеме, (в сравнении с отдельно взятыми показателями) рассматривается метаболический фактор (qCO₂), который представляет собой индекс, определяемый количеством СО2-С, выделяемым на единицу микробной биомассы во времени, и характеризует метаболический статус почвенных микроорганизмов [31, 32].

Также очень информативным является исследование СИД в 3-х суточной динамике, поскольку позволяет корректно сравнивать процесс сукцессии в микробной системе почв при нарушающем воздействии (высушивание и внесение субстрата) [11]. Использование этих показателей в комплексе позволяет оценить «здоровье» почвы, как экофизиологическое состояние, отражающее микробное разнообразие, сбалансированность состава функционально активных популяций микробного сообщества и, в целом, его устойчивость к факторам, нарушающим стабильность.

В этой связи была поставлена цель – оценить состояние бурых лесных почв различных фитоценозов по комплексу показателей (численность микроорганизмов, микробная биомасса и ее активность, сукцессионная динамика субстрат-индуцированного дыхания) для понимания их информативности и взаимосвязи.

Объекты и методы исследований. Исследования проводили в субтропической зоне России (г. Сочи, Краснодарский край) в 2019-2020 гг. Изучали агрогенно измененные бурые лесные почвы (Cambisols, Anthrosols, WRB 2014) [33], подтип слабоненасыщенные [34] на 2-х примыкающих участках: искусственно созданной лесополосы (посадки кипариса) и персиковых насаждениях 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 [34]: дозы удобрений вносятся в зависимости от возраста насаждений, обработка пестицидами осуществляется ежегодно с февраля по июнь (бордоская жидкость, делан, скор, каратэ, фундазол). Почвы лесополосы –искусственная

посадка вечнозеленого растения кипарис (Cupressus sempervirens L.) 1960 года закладки, которые на протяжении более 60 лет не подвергались прямому агрогенному влиянию.

В зимний период (декабрь 2019 г.) на участках (лесополоса и агроценоз) были заложены почвенные разрезы и проведены отборы почвенных проб по генетическим горизонтам для установления закономерностей распределения численности трех таксономических групп сапротрофного микробного сообщества почв (аммонифицирующих бактерий, актиномицетов (род Streptomyces) и сахаролитических микромицетов).

В апреле 2020 года (до внесения минеральных удобрений и основных обработок петицидами) проведен отбор почвенных проб в верхнем аккумулятивном горизонте для определения базального (БД) и субстратиндуцированного дыхания (СИД) почв и расчета гетеротрофного параметра здоровья почв (ГПЗП).

Образцы почв по генетическим горизонтам (0-10 см; 10-20 см; 20-40 см; 40-60 см; 60-80 см) и для определения «дыхания» (5-20 см) отбирали в 3-х кратной повторности. Верхней слой (5-20 см) горизонта А₁ был выбран как наиболее подверженный агрогенному воздействию (удобрения, пестициды) и содержащий в меньшей степени (по сравнению с горизонтом A_0) растительные остатки.

Исследовали смешанный образец. Образцы в стерильных полиэтиленовых пакетах доставляли в лабораторию, освобождали от мелких камней, корней и растительных остатков и хранили при необходимости в холодильнике при t=4 °C и естественной влажности от нескольких суток (учет численности) до 3-х недель (определение СИД). Для химического анализа образцы отбирали в полотняные мешочки и после высушивания до воздушно-сухого состояния (22 °C) измельчали и просеивали (сито с ячейками 1 мм).

Микробиологический анализ. Количественный учет микроорганизмов осуществляли методом поверхностного посева из разведений почвенной суспензии на плотные селективные питательные среды [36, 37]. На 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 (1мг/л), цефтриаксона (25мг/л) и нистатина (50 мг/л). Антибиотики вносили асептически в колбы со стерильной, охлажденной до 45 °C 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 быстро растущих форм микромицетов, «сахаролитических» грибов. Молочная кислота обеспечивает подавление роста прокариот (бактерий и актинобактерий) и вносится асептически в стерильную, охлажденную до 45 °C среду. Культивировали 5-7 суток.

Функциональная биологическая активность почвы. Измерение эмиссии СО₂ для определения базального (БД) и субстрат-индуцированного (СИД) дыхания почв проводили методом абсорбции [38] с титрометрическим окончанием. Модификация метода заключалась в следующем: навеску почвы (100 г) размещали в пластиковой тарелке вокруг чашки Петри, увлажняли водой до 50-60 % ПВ (БД) или добавляли 10 мл раствора глюкозы из расчета 10 мг/г почвы (СИД), на 20 минут оставляли под полиэтиленовой пищевой пленкой, чтобы исключить избыточное образование СО₂ почвой после перемешивания во время взвешивания и для выравнивания температуры, затем проветривали 15 мин, добавляли в чашку Петри поглощающий СО₂ раствор (29 мл 0,1н NаОН).

Инкубацию проводили в герметично закрытых полиэтиленовых Zip-пакетах объемом 5 л. Время инкубации образца строго фиксировали: БД — 8 часов, СИД — 4 часа. По окончании инкубации раствор из чашки Петри сливали с помощью воронки в колбу на 100 мл, добавляли 1 мл 10 %-ного раствора $BaCl_2$ для полного осаждения карбонатов, 2 капли фенолфталеина и титровали раствором 0,1н HCl. Скорость эмиссии CO_2 рассчитывали по формуле [39]:

$$CO_2$$
 мг/кг сух.почвы в час = $(X - V_{HCl})$ х 2,2 х1000 х Кг.вл.

Скорость БД выражали в CO2–C мкг/г с. почвы ч. Углерод микробной биомассы $C_{\text{мик}}$ (мкг C/г с. почвы) определяли согласно формуле: СИД (мкл/г с. почвы ч) × 40.04 + 0.37 [40].

Микробный метаболический коэффициент (qCO₂) рассчитывали, как отношение скорости базального дыхания к микробной биомассе: БД/ $C_{\text{мик}}$ = qCO₂(CO₂-C мкг/г с. почвы ч/ мг Смик /г с. почвы).

Для моделирования волнообразной динамики эмиссии СО₂ (СИД) в течение 3-х суток почвенные образцы предварительно подсушивали в течение 65 часов, доводя образец до 5 % влажности, после набора навески (см. выше) увлажняли раствором — 15 мл 0,3 % глюкозы (из расчета 0,5 мг глюкозы на 1 г сухой почвы), на 2 часа оставляли под полиэтиленовой пищевой пленкой (для выравнивания температуры), затем проветривали 15 мин и помещали в Zip-пакеты для инкубации в течение 3-х часов, после титрования образец закрывали пищевой пленкой, в течение 3-5 суток процесс инкубации повторяли в одно и тоже время [41].

По результатам СИД с суточной размерностью строили графики зависимости количества эмиссируемой почвой углекислоты (мг/кг почвы в час) от времени (t, в суточной размерности).

Расчет гетеротрофного параметра здоровья почвы (ГПЗП) проводили по формуле [41]: ГПЗП = |(Lc-Le)/Lc|,

где Lc – ширина на полувысоте графической волны почвы контроля (условно эталон);

Le — ширина на полувысоте графической волны почвы агроценоза; $\Gamma\Pi 3\Pi$ от 0 до 0,1 — почва «здорова»; больше 0,1, но меньше 0,2 — «практически здорова»; выше 0,2, но менее 0,4 — «умеренно не здорова»; при больших значениях — «не здорова».

Параллельно в почвенных образцах определяли агрохимические свойства [42]: pH_{KCl} – потенциометрически (ионометр pH-121); C_{opr} – по Тюрину в модификации Орлова и Гриндель; аммиачный азот – колориметрическим методом с реактивом Несслера; нитратный азот – метод Грандваль-Ляжу с дисульфофеноловой кислотой; фосфор подвижный – по Олсену (прибор УСФ-01); калий обменный – по Масловой (прибор КВАНТ - $A\Phi A$); влажность – весовым методом.

Статистический анализ данных. Учет численности микроорганизмов проводили в 5-ти повторностях, измерение СИД почвы — в трех, химический анализ — в двух, расчет их величин выполнен на вес сухой почвы (105 °C, 8 ч). Статистическую обработку экспериментальных данных и их визуализацию (точечная диаграмма) выполняли с использованием программы Microsoft Excel (при P = 0.95).

Обсуждение результатов. Исследования проводили во влажносубтропической зоне Черноморского побережья Краснодарского края, где средняя многолетняя температура варьирует в пределах 12,8-16,5 °C, годовое количество осадков — 1313-2098 мм. Вегетационный период длится с апреля по октябрь, в летний период отмечается дефицит осадков. Динамика среднесуточной температуры и количества осадков по месяцам представлены на рисунке 1. Исследуемый период характеризовался типичными для климатической зоны метеорологическими условиями (данные метеостанции г. Сочи http://www.pogodaiklimat.ru/history/37099.htm). Температура в декабре и апреле 2019-2020 гг. находилась в узком диапазоне 13-14 °C, количество осадков в декабре 2019 г. — 116 мм; в апреле 2020 г. — 26 мм.

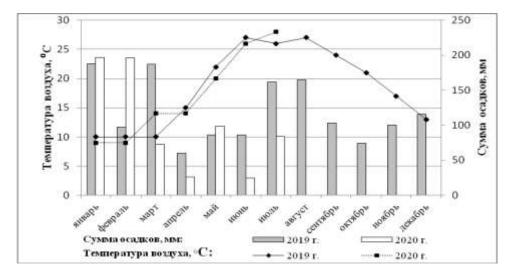


Рис. 1. Среднемесячные дневные температуры воздуха и суммы осадков, г. Сочи

Основные агрохимические показатели почв представлены в таблице 1. Почвы под кипарисовыми насаждениями характеризовались менее кислой реакцией почвенного раствора в сравнении с почвами агроценоза, на которых применяли физиологически кислые минеральные удобрения. Более высокое содержание $C_{\rm opr}$ в почвах под кипарисом обусловлено особенностями углеродного обмена в естественных или естественноподобных фитоценозах [43]. При этом для почв под персиком отмечено увеличение содержания аммиачного азота, подвижного калия и более низкое содержание подвижных фосфатов.

Таблица 1 – Агрохимические свойства бурых лесных слабоненасыщенных почв (слой 5-20 см) фитоценозов (апрель 2020)

Фитоценоз	pH _{KCl}	C _{opr} , %	Аммиачный	Нитратный	Подвижный	Подвижный
			азот	азот	фосфор	калий
			мг/кг			
Насаждения кипариса	6,43±0,10	2,1±0,15	37±9	1,8±0,5	139±15	225±17
Персиковый сад	4,74±0,15	1,8±0,12	55±11	1,6±0,3	106±12	295±21

Почвы лесополосы (фон) и персика в целом характеризовались соизмеримыми значениями численности 2-х групп микроорганизмов: аммони-

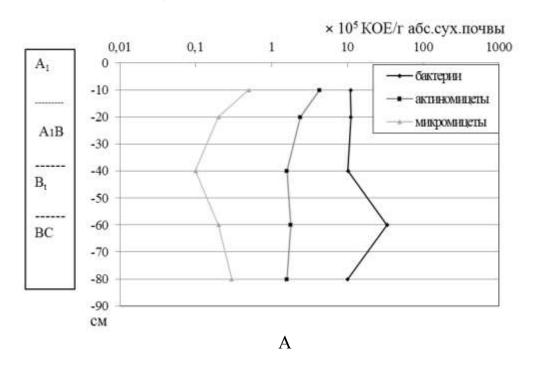
фицирующих бактерий — единицы и десятки миллионов КОЕ/г почвы и актиномицетов (в основном род *Streptomices*) — сотни и десятки тысяч (ниже на 1-2 порядка) (рис. 2). Выявлено равномерное снижение численности актиномицетов с глубиной почвенного профиля, обусловленное, повидимому, содержанием органического вещества, что отмечали и другие исследователи [44].

Численность бактерий на персике и условно фоновом участке относительно стабильна до глубины 20 и 40 см, соответственно. Далее отмечено увеличение численности бактерий, выраженное в большей степени (на порядок) на персике на глубине 60-80 см, что связано, возможно, с перемещением в нижние горизонты спор бактерий в результате активного промывного режима, характерного для данного типа почв [3].

Численность сахаролитических микромицетов составляла десятки и единицы тысяч и в «аккумулятивном» слое (10-20 см) была ниже в почвах персика (см. рис. 2), что обусловлено, по-видимому, систематическим применением фунгицидов при возделывании этой культуры. В целом по почвенному профилю более высокой численностью микромицетов характеризовался слой 0-10 см, далее (до глубины 20 и 40 см, соответственно для почв персика и кипариса) выделялись зоны пониженной численности, которая с глубиной увеличивалась до прежнего уровня, что отмечали и другие исследователи [15].

Скорость базального дыхания (БД), которая отражает общую функциональную активность микробоценоза и согласно Е.А. Сусьян и др. [45], характеризует минерализацию микроорганизмами органического вещества, в почвах фитоценозов была соизмерима (табл. 2). При этом показатель потенциальной функциональной активности в основном бактериальных популяций (углерод микробной биомассы $C_{\text{микр}}$), который рассчитывается по субстрат-индуцированному дыханию СИД и часто используется при оценке экофизиологического состояния почвы [46, 47], выше в почвах

персикового сада (см. табл. 2). Как правило, он варьирует в зависимости от климатических условий и типа почв от 200 до 2091 мкг С /г с.п. [48-50], что сопоставимо с полученными значениями в почвах нашей зоны.



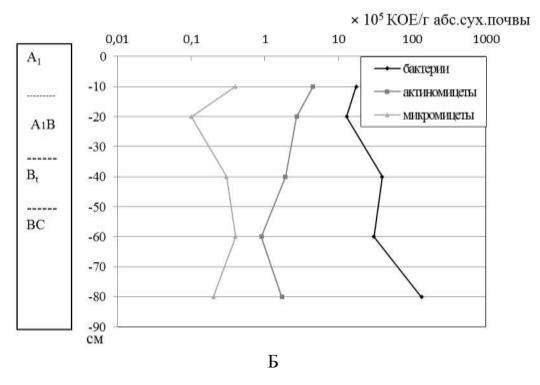


Рис. 2. Профильное распределение численности основных таксономических групп микроорганизмов бурых лесных слабоненасыщенных почв насаждения кипариса (А) и персикового сада (Б), декабрь 2019 г.

Таблица 2 – Биологические показатели, отражающие эколого-физиологическое «здоровье» почв сельскохозяйственного использования (слой 5-20 см).

Фитоценоз	БД мкгСО ₂ —С/ (г с.п. ч.)	С _{микр} мкг С / г с.п.	qCO ₂ БД/ С _{микр} (мг С / г с.п.)
Насаждения кипариса	0,6±0,04	445±48	1,2±0,25
Персиковый сад	0,7±0,03	645±56	1,0±0,20

Выявленная закономерность, по-видимому, обусловлена изменениями видового состава в направлении роста популяций, ориентированных на легко доступные субстраты на фоне более высокой окультуренности почвы агроценоза (на 33 и 24 % выше содержание аммиачного азота и подвижного калия, соответственно).

qCO2 – интегральный экофизиологический коэффициент, который обычно связывают с «устойчивостью» микробного сообщества почв, обеспечивающую ее «здоровье». Под «устойчивостью» понимают установившееся равновесие между поступлением и минерализацией органического вещества в этих почвах [43]. Метаболический микробный коэффициент qCO_2 , определяемый как соотношение БД/С_{микр}, имел в изученных почвах соизмеримые значения. Также значения qCO₂ согласуются с величинами этого показателя для бурых лесных почв Германии: лес и агропочвы, соответственно (0,9-2,4 и 0,8-1,8 мкг СО₂-С/мкг С_{микр} час) [48]. В целом, невысокие значения qCO₂ в весенний период свидетельствуют о благоприятном эколого-физиологическом состоянии почв фитоценозов и отсутствии «микробного» стресса в почвах агроценоза до внесения удобрений.

Динамика дыхательной активности (СИД) микроорганизмов (рис. 2), отражающая микробную сукцессию, также характеризует «устойчивость» микробоценоза, которая обеспечивается сбалансированным по составу функционально активных популяций микробным сообществом. Более высокому в сравнении с условным фоном начальному уровню СИД в почвах под персиком, соответствуют более низкие значения высоты графической волны (Не) через сутки после внесения легко доступного органического субстрата (глюкозы), что подразумевает более «устойчивое» экофункциональное состояние почв агроценоза, связанное с биоразнообразием.

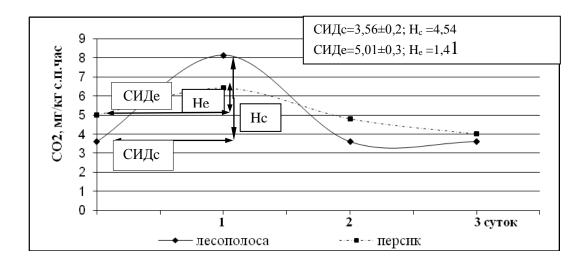


Рис. 2. Сукцессионная динамика субстрат-индуцированного дыхания (СИД) микроорганизмов (по [41]):

Н_с – высота графической волны почвы контроля (условно эталон); H_e – высота графической волны почвы агроценоза (слой 5-20 см)

Выводы. Таким образом, исследования показали схожую картину распределения численности актиномицетов в почвенном профиле изученных фитоценозов (кипарис и персик) и более выраженное снижение численности микромицетов в аккумулятивном горизонте почв под персиком в сравнении с почвами под кипарисовыми насаждениями.

Параметры базального дыхания и метаболического микробного коэффициента для изученных почв были соизмеримы. При этом потенциальная функциональная биологическая активность почв, основанная на субтрат-индуцированном дыхании (микробная биомасса), была достоверно более высокой в окультуренных почвах агроценоза персика в сравнении с насаждениями кипариса. Динамика СИД после внесения субстрата дополняла представления об экофункциональном состоянии микробоценоза почв персика, как более сбалансированном по видовому составу.

Полученные результаты исследования почв различных фитоценозов, в разной степени подверженных агрогенному воздействию, показали, что почвы агроценоза (в весенний период) характеризовались сбалансированным по составу функционально активных популяций микробным сообществом.

Литература

- 1. Подгорная М.Е., Янушевская, Э.Б. Значение биоиндикации пестицидов для формирования экологически безопасных систем защиты персика // Защита и карантин растений. 2009. № 11. С. 27–29.
- 2. Беседина Т.Д., Янушевская Э.Б. Методика диагностики состояния почв садовых экосистем влажных субтропиков при применении пестицидов // Субтропическое и декоративное садоводство. Сочи, 2013. Т. 48. С. 244-278.
- 3. Эколого-агрохимические аспекты возделывания субтропических культур на Черноморском побережье России / Л.С. Малюкова [и др.] // Сельскохозяйственная биология. 2014. № 3. С. 24-31. ISSN: 0131-6397 eISSN: 2313-4836
- 4. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Скорость агрогенной ацидизации бурых лесных почв чайных плантаций в условиях влажных субтропиков России // Плодоводство и ягодоводство России. 2017. Т 51. С. 259-267. ISSN 2073-4948.
- 5. Малюкова Л.С., Керимзаде В.В., Великий А.В. Влияние различных видов и доз минеральных удобрений на дыхательную активность бурых лесных почв под культурой чая // Плодоводство и ягодоводство России. 2015. Т 43. С. 132-138. ISSN: 2073-4948
- 6. Владыченский А.С., Малюкова Л.С., Козлова Н.В. Гумусное состояние бурых лесных кислых почв и его изменение при интенсивном возделывании культуры чая в условиях субтропической зоны РФ // Вестник Московского университета. Сер. 17: Почвоведение. 2007. № 4. С. 10–17.
- 7. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Динамика накопления гумуса в бурых лесных кислых почвах при длительном возделывании чая во влажных субтропиках России // Проблемы агрохимии и экологии. 2019. № 3. С. 73-78. DOI: 10.26178/AE. 2020. 2019.4.001
- 8. Струкова Д.В., Малюкова Л.С. Агроэкологическое состояние бурых лесных почв при возделывании персика в Краснодарском крае // Агрохимический вестник. 2017. № 4. С. 55-58.
- 9. Малюкова Л.С., Рогожина Е.В., Струкова Д.В. Влияние длительного применения минеральных удобрений на биологическую активность бурых лесных кислых почв под культурой чая в условиях Черноморского побережья России // Агрохимический вестник. 2012. № 2. С. 15-17. ISSN: 1029-2551
- 10. Горленко М.В., Кожевин П.А. Мультисубстратное тестирование природных микробных сообществ. М.: МАКС Пресс. 2005. 87 с.
- 11. Семёнов А.М., Семёнова Е.В. Почва как биологическая система и ее новая категория здоровье // Успехи современной биологии. 2018. Том 138, № 2. С. 1-12.
- 12. Melo W.J., Marchiori JR. M. Carbon, microbial biomass carbon and enzyme activity of a soil under natural forest, grassland and cotton culture // Revista Brasileira de Ciencia do Solo. -1999. N 23. pp. 257-263
- 13. Masto R.E., Pramod K., Singh C.D., Patra A.K. Changes in soil quality indicators under long-term sewage irrigation in a sub-tropical environment // Environmental Geology. 2009. №56. pp. 1237–1243.

- 14. Соколов М.С., Марченко А.И. Экологический мониторинг здоровья почвы в системе «ОВОС» (методология выбора критериев оценки) // Агрохимия. 2013. № 5. С. 3-18.
- 15. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биология почв юга России. Ростов-на-Дону: ЦВВР, 2004. 349 с.
- 16. Мамедов Г. М. Влияние систем удобрения на численность микроорганизмов в аллювиальной лугово-лесной и лугово-коричневой почвах под агроценозами // Агрохимия. 2020. № 4. С. 30-37
- 17. 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: материалы межд. науч.практич. конф., Орел, 27-30 июля 2010 г. Жилина: Всерос. науч.-исслед. институт селекции плодовых культур, 2010. С. 188-190.
- 18. Рогожина Е. В. Костина Н.В., Малюкова Л.С. Оценка потенциальной азотфиксирующей активности почв агрофитоценозов субтропической зоны России // Вестник МГУ, серия Почвоведение. 2011. № 1. С. 35–38.
- 19. Влияние пестицидной нагрузки на микробное сообщество агродерновоподзолистой почвы / А.А. Астайкина [и др.] // Почвоведение. 2020. № 5. С. 639-650.
- 20. Завьялова Н. Е., Васбиева М. Т., Фомина Д. С. Микробная биомасса, дыхательная активность и азотфиксация в дерново-подзолистой почве Предуралья при различном сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 2020. № 3. С. 372-378
- 21. Подгорная М.Е., Янушевская Э.Б., Рындин А.В. Дыхательная активность почвы как показатель ее устойчивости к негативному действию пестицидов в системе экологизированной защиты персика // Агрохимия. 2011. № 10. С. 39-42
- 22. Завьялова Н. Е., Ковалевская Н. П., Шаравин Д. Ю. Влияние длительного применения минеральных удобрений на экофизиологические показатели микробоценозов дерново-подзолистой почвы Предуралья // Агрохимия. 2020. № 1. С. 3-8
- 23. Рогожина Е.В. Влияние минеральных удобрений на «дыхание» бурых лесных кислых почв в ризосфере чайного растения (Thea Sinensis) в условиях субтропической зоны России // Вестник Мичуринского филиала «РУК». 2011. № 1. С. 78-82.
- 24. Rogozhina E.V. The potential activity of nitrogen fixation end carbon dioxide emission of soil under peach orchard in humid subtropics of Russia // Проблемы научной мысли. Издательство: Товариство з обмеженою відповідальністю Каллістон = Общество с ограниченной ответственностью Каллистон (Днепропетровск). 2016. Т. 12. № 9. C. 037-042. eISSN:1561-6916
- 25. Рогожина Е. В. Экомониторинг бурых лесных кислых агрогенноизмененных почв по динамике субстрат-индуцированного дыхания // Экологический вестник Северного Кавказа. 2019. Т. 15. № 4. С. 11-15. ISSN: 2308-38752017.
- 26. Девятова Т.А., Щербаков А.П. Биологическая активность черноземов центра русской равнины // Почвоведение. 2006. № 4. С. 502–508.
- 27. Струкова Д.В. Биологическая активность бурых лесных почв агроценозов чая, персика, фундука при длительном применении минеральных удобрений в условиях черноморского побережья России: дис. ... канд. биол. наук: 06.01.04 / Струкова Дарья Викторовна. Сочи, 2015. 140 с.
- 28. Balota E.L., Kanashiro M., Colozzi Filho A., Andradev D.S., Dick R.P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agroecosystems // Brazilian Journal of Microbiology. – 2004. – №35. – pp. 300–306.
- 29. Moore J.M., Klose S., Tabatabai M.A. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems // Biology and Fertility of Soils. – 2000. – №31. – pp. 200–210. doi: 10.1007/s003740050646

- 30. Bastida F., Moreno J.L., Hernandez T., Garcia C. Microbiological activity in a soil 15 years after its revegetation / // Soil Biology and Biochemistry.-2006.-№38.-pp. 2503-2507.
- 31. Anderson T.H., Domsch K.H. The metabolic quotient from CO2 (qCO2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils // Soil Biology and Biochemistry. -1993. N = 25. pp. 393-395.
- 32. Dinesh R., Chaudhuri S.G., Ganeshamurthy A.N., Dey C. Changes in soil microbial indices and their relationships following deforestation and cultivation in wet tropical forests // Applied Soil Ecology. − 2003. − №24. − pp. 12–26.
- 33. 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 Reports No. 106. FAO. Rome. 2014. 181 p.
 - 34. Классификация и диагностика почв СССР. Москва: Колос, 1977. 224 с.
- 35. Рекомендации по технологии выращивания персика в предгорных и горных районах / сост. К.С. Глущенко и др.; ред. Т.А. Ищенко. М.: Колос, 1982. 30 с.
- 36. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 303 с.
- 37. Практикум по микробиологии: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.И. Нетрусов [и др.]; под ред. А.И. Нетрусова. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 608 с.
- 38. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. 687 с.
- 39. Янушевская Э.Б., Фогель В.А., Аверьянов В.Н. Методические указания по определению биологической активности почв при пестицидных нагрузках. Сочи, 2005. 42 с.
- 40. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. V. 10(3). P. 215–221. https://doi.org/10.1016/0038-0717(78)90099-8
- 41. Семенов А.М., Семенова Е.В. Практическое определение функциональной активности почвенной экосистемы. М.: Биологический факультет МГУ, 2018. 32 с.
- 42. Агрохимические методы исследования почв / отв. ред. А.В. Соколов; АН СССР, ВАСХНИЛ, Почв. Ин-т им. В.В. Докучаева. 5-е изд. М.: Наука, 1975. 656 с.
- 43. Благодатский С.А., Богомолова И.Н., Благодатская Е.В. Микробная биомасса и кинетика роста микроорганизмов в черноземах при различном сельскохозяйственном использовании // Микробиология. 2008. Т. 77, № 1. С. 113-120.
- 44. Джанаев, $3.\Gamma$. Агрохимия и биология почв юга России. Монография. М: Изд-во МГУ, 2008.528 с.
- 45. Влияние многолетнего применения разных форм азотных удобрений на уровень дыхания микробного сообщества и углеродно-азотный режим серой лесной почвы / Е.А. Сусьян [и др.] // Агрохимия. 2008. № 6. С. 5-12.
- 46. Jencinson D.S., Paul E.A., Ladd J.N. Microbial biomass in soil measurement and turnover // Soil Biochemistry. N.Y.: Marcel Dekker, 1981. V. 5. P. 415–471.
- 47. Contin M., Todd A., Brookes P.C. The ATP concentration in the soil microbial biomass // Soil Biology and Biochemistry. 2001. №33. pp. 701–704. doi: 10.1016/S0038-0717(00)00204-2
- 48. Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В., Демкина Т.С. Пространственное и временное варьирование микробного метаболического коэффициента в почвах // Почвоведение. 2002. №10. С. 1233-1241.

- 49. Ananyeva N.D., Susyan E.A., Chernova O.V., Wirth S. Microbial respiration activities of soils from different climatic regions of European Russia // Eur. J. Soil Biol. 2008. V. 44(2). P. 147–157. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.05.002
- 50. Эмиссия CO_2 , микробная биомасса и базальное дыхание чернозема при различном землепользовании / С.В. Сушко [и др.] // Почвоведение. 2019. № 9. С. 1081-1091.

References

- 1. Podgornaya M.E., Yanushevskaya, E.B. Znachenie bioindikacii pesticidov dlya formirovaniya ekologicheski bezopasnyh sistem zashchity persika // Zashchita i karantin rastenij. 2009. № 11. S. 27-29.
- 2. Besedina T.D., Yanushevskaya E.B. Metodika diagnostiki sostoyaniya pochv sadovyh ekosistem vlazhnyh subtropikov pri primenenii pesticidov // Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo. Sochi, 2013. T. 48. S. 244-278.
- 3. Ekologo-agrohimicheskie aspekty vozdelyvaniya subtropicheskih kul'tur na Chernomorskom poberezh'e Rossii / L.S. Malyukova [i dr.] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2014. № 3. S. 24-31. ISSN: 0131-6397 eISSN: 2313-4836
- 4. Kozlova N.V., Kerimzade V.V. Skorost' agrogennoj acidizacii buryh lesnyh pochv chajnyh plantacij v usloviyah vlazhnyh subtropikov Rossii // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. 2017. T 51. S. 259-267. ISSN 2073-4948.
- 5. Malyukova L.S., Kerimzade V.V., Velikij A.V. Vliyanie razlichnyh vidov i doz mineral'nyh udobrenij na dyhatel'nuyu aktivnost' buryh lesnyh pochv pod kul'turoj chaya // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. 2015. T 43. S. 132-138. ISSN: 2073-4948
- 6. Vladychenskij A.S., Malyukova L.S., Kozlova N.V. Gumusnoe sostoyanie buryh lesnyh kislyh pochv i ego izmenenie pri intensivnom vozdelyvanii kul'tury chaya v usloviyah subtropicheskoj zony RF // Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 17: Pochvovedenie. 2007. № 4. S. 10-17.
- 7. Kozlova N.V., Kerimzade V.V. Dinamika nakopleniya gumusa v buryh lesnyh kislyh pochvah pri dlitel'nom vozdelyvanii chaya vo vlazhnyh subtropikah Rossii // Problemy agrohimii i ekologii. 2019. № 3. S. 73-78. DOI: 10.26178/AE.2020.2019.4.001
- 8. Strukova D.V., Malyukova L.S. Agroekologicheskoe sostoyanie buryh lesnyh pochv pri vozdelyvanii persika v Krasnodarskom krae // Agrohimicheskij vestnik. 2017. № 4. S. 55-58.
- 9. Malyukova L.S., Rogozhina E.V., Strukova D.V. Vliyanie dlitel'nogo primeneniya mineral'nyh udobrenij na biologicheskuyu aktivnost' buryh lesnyh kislyh pochv pod kul'turoj chaya v usloviyah Chernomorskogo poberezh'ya Rossii // Agrohimicheskij vestnik. 2012. № 2. S. 15-17. ISSN: 1029-2551
- 10. Gorlenko M.V., Kozhevin P.A. Mul'tisubstratnoe testirovanie prirodnyh mikrobnyh soobshchestv. M.: MAKS Press. 2005. 87 s.
- 11. Semyonov A.M., Semyonova E.V. Pochva kak biologicheskaya sistema i ee novaya kategoriya zdorov'e // Uspekhi sovremennoj biologii. 2018. Tom 138, № 2. S. 1-12.
- 12. Melo W.J., Marchiori JR. M. Carbon, microbial biomass carbon and enzyme activi-ty of a soil under natural forest, grassland and cotton culture // Revista Brasileira de Ciencia do Solo. -1999. N = 23. pp. 257 = 263
- 13. Masto R.E., Pramod K., Singh C.D., Patra A.K. Changes in soil quality indicators under long-term sewage irrigation in a sub-tropical environment // Environmental Geology. − 2009. − №56. − pp. 1237–1243.
- 14. Sokolov M.S., Marchenko A.I. Ekologicheskij monitoring zdorov'ya pochvy v sisteme «OVOS» (metodologiya vybora kriteriev ocenki) // Agrohimiya. 2013. № 5. S. 3-18.
- 15. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Val'kov V.F. Biologiya pochv yuga Rossii. Rostov-na-Donu: CVVR, 2004. 349 s.

- 16. Mamedov G. M. Vliyanie sistem udobreniya na chislennost' mikroorganizmov v allyuvial'noj lugovo-lesnoj i lugovo-korichnevoj pochvah pod agrocenozami // Agrohimiya. 2020. № 4. S. 30-37
- 17. 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 vozdelyvaniya plodovyh i yagodnyh kul'tur: materialy mezhd. nauch.-praktich. konf., Orel, 27-30 iyulya 2010 g. Zhilina: Vseros. nauch.-issled. institut selekcii plodovyh kul'tur, 2010. S. 188-190.
- 18. Rogozhina E. V. Kostina N.V., Malyukova L.S. Ocenka potencial'noj azotfiksiruyushchej aktivnosti pochv agrofitocenozov subtropicheskoj zony Rossii // Vestnik MGU, seriya Pochvovedenie. 2011. № 1. S. 35-38.
- 19. Vliyanie pesticidnoj nagruzki na mikrobnoe soobshchestvo agro-dernovopodzolistoj pochvy / A.A. Astajkina [i dr.] // Pochvovedenie. 2020. № 5. S. 639-650.
- 20. Zav'yalova N. E., Vasbieva M. T., Fomina D. S. Mikrobnaya biomassa, dyhatel'naya aktivnost' i azotfiksaciya v dernovo-podzolistoj pochve Predural'ya pri razlichnom sel'skohozyajstvennom ispol'zovanii // Pochvovedenie. 2020. № 3. S. 372-378
- 21. Podgornaya M.E., Yanushevskaya E.B., Ryndin A.V. Dyhatel'naya aktivnost' pochvy kak pokazateľ ee ustojchivosti k negativnomu dejstviyu pesticidov v sisteme ekologizirovannoj zashchity persika // Agrohimiya. 2011. № 10. S. 39-42
- 22. Zav'yalova N. E., Kovalevskaya N. P., Sharavin D. Yu. Vliyanie dlitel'nogo primeneniya mineral'nyh udobrenij na ekofiziologicheskie pokazateli mikrobocenozov dernovo-podzolistoj pochvy Predural'ya // Agrohimiya. 2020. № 1. S. 3-8
- 23. Rogozhina E.V. Vliyanie mineral'nyh udobrenij na «dyhanie» buryh lesnyh kislyh pochv v rizosfere chajnogo rasteniya (*Thea Sinensis*) v usloviyah subtropicheskoj zony Rossii // Vestnik Michurinskogo filiala «RUK». 2011. № 1. S. 78-82.
- 24. Rogozhina E.V. The potential activity of nitrogen fixation end carbon dioxide emission of soil under peach orchard in humid subtropics of Russia // Problemy nauchnoj mysli. Izdatel'stvo: Tovaristvo z obmezhenoyu vidpovidal'nistyu Kalliston = Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu Kalliston (Dnepropetrovsk). 2016. T.12. № 9. S. 037-042. eISSN:1561-6916
- 25. Rogozhina E.V. Ekomonitoring buryh lesnyh kislyh agrogenno-izmenennyh pochv po dinamike substrat-inducirovannogo dyhaniya // Ekologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza. 2019. T. 15. № 4. S. 11-15. ISSN: 2308-38752017.
- 26. Devyatova T.A., Shcherbakov A.P. Biologicheskaya aktivnost' chernozemov centra russkoj ravniny // Pochvovedenie. 2006. № 4. S. 502–508.
- 27. Strukova D.V. Biologicheskaya aktivnosť buryh lesnyh pochv agrocenozov chava, persika, funduka pri dlitel'nom primenenii mineral'nyh udobrenii v usloviyah chernomorskogo poberezh'ya Rossii: dis. ... kand. biol. nauk: 06.01.04 / Strukova Dar'ya Viktorovna. Sochi, 2015. 140 s.
- 28. Balota E.L., Kanashiro M., Colozzi Filho A., Andradev D.S., Dick R.P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agroecosystems // Brazilian Journal of Microbiology. – 2004. – №35. – pp. 300–306.
- 29. Moore J.M., Klose S., Tabatabai M.A. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems // Biology and Fertility of Soils. – 2000. – №31. – pp. 200–210. doi: 10.1007/s003740050646
- 30. Bastida F., Moreno J.L., Hernandez T., Garcia C. Microbiological activity in a soil 15 years after its revegetation / // Soil Biology and Biochemistry. −2006. − №38. − pp. 2503-2507.
- 31. Anderson T.H., Domsch K.H. The metabolic quotient from CO2 (qCO2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils // Soil Biology and Biochemistry. 1993. №25. pp. 393–395.

- 32. Dinesh R., Chaudhuri S.G., Ganeshamurthy A.N., Dev C. Changes in soil microbial indices and their relationships following deforestation and cultivation in wet tropical forests // Applied Soil Ecology. – 2003. – №24. – pp. 12–26.
- 33. 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 Reports No. 106. FAO. Rome. 2014. 181 r.
 - 34. Klassifikaciya i diagnostika pochv SSSR. Moskva: Kolos, 1977. 224 s.
- 35. Rekomendacii po tekhnologii vyrashchivaniya persika v predgornyh i gornyh rajonah / sost. K.S. Glushchenko i dr.; red. T.A. Ishchenko. M.: Kolos, 1982. 30 s.
- 36. Metody pochvennoj mikrobiologii i biohimii / Pod red. D.G. Zvyaginceva. M.: Izd-vo MGU, 1991. 303 s.
- 37. Praktikum po mikrobiologii: Ucheb. posobie dlya stud. vyssh. ucheb. zavedenij / A.I. Netrusov [i dr.]; pod red. A.I. Netrusova. M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2005. 608 s.
 - 38. Praktikum po agrohimii / Pod red. V.G. Mineeva. M.: Izd-vo MGU, 2001. 687 s.
- 39. Yanushevskaya E.B., Fogel' V.A., Aver'yanov V.N. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu biologicheskoj aktivnosti pochv pri pesticidnyh nagruzkah. Sochi, 2005. 42 s.
- 40. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. V. 10(3). P. 215-221. https://doi.org/10.1016/0038-0717(78)90099-8
- 41. Semenov A.M., Semenova E.V. Prakticheskoe opredelenie funkcional'noj aktivnosti pochvennoj ekosistemy. M.: Biologicheskij fakul'tet MGU, 2018. 32 s.
- 42. Agrohimicheskie metody issledovaniya pochv / otv. red. A.V. Sokolov; AN SSSR, VASHNIL, Pochv. In-t im. V.V. Dokuchaeva. 5-e izd. M.: Nauka, 1975. 656 s.
- 43. Blagodatskij S.A., Bogomolova I.N., Blagodatskaya E.V. Mikrobnaya biomassa i kinetika rosta mikroorganizmov v chernozemah pri razlichnom sel'skohozvajstvennom ispol'zovanii // Mikrobiologiya. 2008. T. 77, № 1. S. 113-120.
- 44. Dzhanaev, Z.G. Agrohimiya i biologiya pochv yuga Rossii. Monografiya. M: Izdvo MGU, 2008. 528 s.
- 45. Vliyanie mnogoletnego primeneniya raznyh form azotnyh udobrenij na uroven' dyhaniya mikrobnogo soobshchestva i uglerodno-azotnyj rezhim seroj lesnoj pochvy / E.A. Sus'yan [i dr.] // Agrohimiya. 2008. № 6. S. 5-12.
- 46. Jencinson D.S., Paul E.A., Ladd J.N. Microbial biomass in soil measurement and turnover // Soil Biochemistry. N.Y.: Marcel Dekker, 1981. V. 5. P. 415–471.
- 47. Contin M., Todd A., Brookes P.C. The ATP concentration in the soil microbial biomass // Soil Biology and Biochemistry. – 2001. – №33. – pp. 701–704. doi: 10.1016/S0038-0717(00)00204-2
- 48. Anan'eva N.D., Blagodatskaya E.V., Demkina T.S. Prostranstvennoe i vremennoe var'irovanie mikrobnogo metabolicheskogo koefficienta v pochvah // Pochvovedenie. 2002. №10. S. 1233-1241.
- 49. Ananyeva N.D., Susyan E.A., Chernova O.V., Wirth S. Microbial respiration activities of soils from different climatic regions of European Russia // Eur. J. Soil Biol. 2008. V. 44(2). P. 147–157. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.05.002
- 50. Emissiya SO2, mikrobnaya biomassa i bazal'noe dyhanie chernozema pri razlichnom zemlepol'zovanii / S.V. Sushko [i dr.] // Pochvovedenie. 2019. № 9. S. 1081-1091.