

На правах рукописи



СТРУКОВА Дарья Викторовна

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ БУРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ
АГРОЦЕНОЗОВ ЧАЯ, ПЕРСИКА, ФУНДУКА ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ
ПРИМЕНЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ
ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИИ**

Специальность 06.01.04 – агрохимия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва – 2014

Работа выполнена в лаборатории агрохимии и почвоведения Государственного научного учреждения Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВНИИЦиСК Россельхозакадемии)

Научный руководитель: **Малюкова Людмила Степановна**, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии и почвоведения Государственного научного учреждения Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур Российской академии сельскохозяйственных наук

Официальные оппоненты: **Серегина Инга Ивановна**, доктор биологических наук, профессор кафедры агрономической, биологической химии, радиологии и безопасности жизнедеятельности факультета почвоведения, агрохимии и экологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования – «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева»

Благовещенская Генриетта Германовна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии минерального и биологического азота Федерального государственного бюджетного научного учреждения Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской Академии наук

Защита диссертации состоится «10» марта 2015 г. в 15 ч. 30 мин. в аудитории М-2 на заседании Диссертационного Совета Д 501.002.13 при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д.1, стр. 12, факультет почвоведения.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке МГУ имени М.В. Ломоносова и на сайте <http://soil.msu.ru/zashchita-dissertatsii>

Автореферат разослан « » января 2015 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании Диссертационного совета. Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим присылать по вышеуказанному адресу.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 501.002.13,
доктор биологических наук, профессор _____ Зенова Галина Михайловна

Актуальность. Сельскохозяйственное производство субтропических и южных плодовых культур на Черноморском побережье Краснодарского края сопровождается существенной агрогенной нагрузкой на почвы (применение минеральных удобрений, пестицидов), что приводит к изменению их свойств, частичному снижению уровня плодородия (Аргунова, Бушин, 1992; Беседина, 2004; Владыченский и др., 2007; Малюкова, Козлова, 2007; Малюкова и др., 2008). При достаточно детальной изученности физических, физико-химических и химических свойств бурых лесных почв и их агрогенных изменений, в значительно меньшей степени исследованиями охвачена область биологии почв этой зоны. При этом важное значение в оценке экологической безопасности применяемых агротехнологий, а также приемов реабилитации почв в постагрогенный период при ротации многолетних культур приобретает изучение биологической активности почв, так как функционирование почвенной системы в значительной степени обусловлено деятельностью почвенных микроорганизмов.

В связи с этим актуальным является изучение комплекса показателей биологической активности почв агроценозов основных хозяйственно значимых культур (чай, персик, фундук) с целью выделения из них наиболее информативных, универсальных, технологичных и чувствительных к агрогенным изменениям, которые могут быть использованы при практическом экспресс анализе и мониторинге экологического состояния почв агроценозов.

Цель исследований: Изучить влияние длительного применения минеральных удобрений на биологическую активность бурых лесных почв чайных плантаций и садовых агроценозов Черноморского побережья г. Сочи по комплексу показателей.

Задачи исследований:

1. Изучить биологическую активность (ферментативная активность, биоразнообразие микробного сообщества) основных подтипов бурых лесных почв естественных ценозов по генетическим горизонтам.

2. Оценить по комплексу показателей биологическую активность почв садовых агроценозов (фундук, персик) и чайных плантаций при длительном применении минеральных удобрений по горизонтам профиля.

3. Исследовать сезонную динамику биологической активности изучаемых почв в верхнем слое, наиболее подверженном агрогенному воздействию в садовых агроценозах.

4. Изучить влияние различных видов и доз минеральных удобрений на биологическую активность бурых лесных почв (на примере чайных плантаций).

5. Выделить наиболее информативные показатели биологической активности для мониторинга состояния бурых лесных почв в условиях агрогенного воздействия.

Научная новизна:

Впервые в зоне Черноморского побережья Краснодарского края России изучена биологическая активность бурых лесных кислых и бурых лесных слабоненасыщенных почв различных агроценозов (чая, персика, фундука) по комплексу функциональных показателей. Показаны характер и интенсивность изменения биологической активности почв при их длительном сельскохозяйственном использовании с применением различных видов и доз минеральных удобрений. Выделены наиболее информативные показатели биологической активности почв, максимально отражающие состояние изучаемых бурых лесных почв и агроэкосистемы в целом.

Защищаемые положения:

1. Длительное применение минеральных удобрений в садовых агроценозах Черноморского побережья России является фактором, нарушающим систему агрохимических и биологических свойств бурых лесных почв. На фоне существенной ацидизации почв и снижения содержания гумуса уменьшается потенциальная активность ферментов, участвующих в углеводном обмене, окислительно-восстановительных реакциях.

2. Азотные удобрения в дозах более 200 кг/га д.в. в наибольшей степени по сравнению с фосфорными и калийными удобрениями ингибировали ферментативную активность бурых лесных почв и существенно снижали показатели функционального биоразнообразия микробоценоза.

3. Функциональные показатели биоразнообразия микробного сообщества являются наиболее чувствительными и информативными показателями, позволяющими оценить характер, направленность и интенсивность агрогенных нарушений в бурых лесных почвах.

Практическая значимость:

Проведенные исследования биологической активности почв и оценка информативности полученных показателей позволили использовать самые результативные из них в диагностике состояния бурых лесных почв Черноморского побережья агроценозов чая, персика, фундука и других садовых агроценозов по степени агрогенных изменений; что обеспечит рост

эффективности использования биологического потенциала почв, а также экологическую безопасность применяемых агротехнических приемов, как для агроценоза, так и для агроэкосистемы в целом.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались в ходе отчетных сессий на заседаниях Ученого совета и экспертно-методических групп ГНУ ВНИИЦиСК Россельхозакадемии (2008–2011); на Международных научных конференциях: «Биоресурсы, биотехнологии, экологически безопасное развитие регионов юга России» (Сочи, 2007), «Комплексное применение средств химизации в адаптивно-ландшафтном земледелии» (Москва, 2010), «Актуальные вопросы плодоводства и декоративного садоводства в начале XXI века» (Сочи, 2014); на IV всероссийской научно-практической конференции «Научное обеспечение агропромышленного комплекса» (Краснодар, 2010).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 работ, из которых 3 статьи – в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объем диссертации. Представленная работа изложена на 128 страницах, содержит 10 таблиц, 15 рисунков; состоит из введения, литературного обзора, описания объектов и методов исследований, трех глав экспериментальных результатов, выводов, библиографического списка (включает 235 источников, в том числе 27 на иностранных языках) и приложений.

Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю доктору биологических наук Людмиле Степановне Малюковой и заведующей лабораторией агрохимии и почвоведения кандидату биологических наук Наталье Васильевне Козловой, а также сотрудникам лаборатории за поддержку и помощь в проведении полевых и лабораторных исследований.

Глава 1. Литературный обзор

Глава состоит из трех разделов, в которых представлено описание природно-климатических условий района исследований, эколого-биологических и технологических особенностей возделывания субтропических и южных плодовых культур (чая, фундука, персика). Значительное внимание уделено анализу показателей биологического состояния почвы: ферментативной активности, целлюлозолитической

активности, функционального разнообразия микробного сообщества и влиянию на них различных факторов (абиотических и агрогенных).

Глава 2. Объекты и методы исследований

Исследования выполнены в лаборатории агрохимии и почвоведения ГНУ ВНИИЦиСК Россельхозакадемии в период 2007–2011 гг. Объектами изучения являлись основные зональные подтипы почв под различными агроценозами, расположенными в районе Большого Сочи: бурые лесные кислые почвы чайной плантации и фундучных насаждений (п. Уч-Дере, ЗАО «Дагомысчай»), бурые лесные слабонасыщенные почвы агроценозов фундука и персика (опытные участки института, Хостинский р-н). В качестве фоновых были взяты участки буково-грабового леса, расположенные в непосредственной близости от изучаемых территорий.

Фундучные насаждения на бурых лесных кислых и бурых лесных слабонасыщенных почвах (1983 и 1984 года посадки) возделывались при естественном задернении, минеральные удобрения вносили ежегодно в поверхностный слой почвы (N180P120K120 и N180P50K50 д.в./га, соответственно). В почву под персиковым садом (1996 год посадки) ежегодно вносили минеральные удобрения (для молодых насаждений в дозах N100P50K70, для полновозрастных – N180P90K130), а также применяли пестициды (бордоская жидкость, делан, скор, каратэ, фундазол) и проводили механическую обработку почвы. Чайная плантация 1983 года закладки представлена вариантом полевого опыта (описание см. ниже) с единичными дозами удобрений (N70–200P60K50).

Влияние различных видов и доз минеральных удобрений на свойства бурых лесных кислых почв чайных плантаций изучали на базе длительного полевого многофакторного опыта, содержащего 16 вариантов различных сочетаний и доз минеральных удобрений (N, P, K), повторность двукратная. Единичные дозы удобрений в период 1986–2011 гг. составляли по фосфору – 60 кг д.в./га, по калию – 50 кг д.в./га, по азоту изменялись по периодам и составляли: в 1986–1988 гг. – 70 кг д.в./га; в 1989–1992 гг. – 90 кг д.в./га; в 1993–1999 гг. – 120 кг д.в./га; в 2000–2011 гг. – 200 кг д.в./га. Размер опытных делянок – 50 м². Удобрения вносили ежегодно согласно методике, поверхностно в междурядья под шпалерную подрезку, с подкормкой 40% азота в июне. Формы удобрений, используемых на всех изучаемых участках: аммиачная селитра, сульфат аммония, двойной суперфосфат, хлористый калий, нитроаммофоска, аммофос.

На изучаемых участках были отобраны почвенные образцы: из почвенных разрезов по генетическим горизонтам (в осенний период); для изучения пространственной вариабельности изучаемых показателей из почвенного слоя 0–7 см в 5–кратной повторности (в ранневесенний период); для изучения динамики активности ферментов из почвенного слоя 0–15 см (в течение вегетационного периода).

В отобранных образцах определяли агрохимические показатели по общепринятым стандартным методикам (Агрохимические..., 1975; Аринушкина, 1970; Практикум..., 2001): $pH_{\text{сол}}$ – потенциметрически, гумус – по Тюрину в модификации Орлова и Гриндель; азот легкогидролизуемый – по Тюрину и Кононовой; фосфор и калий подвижные – по Ониани (для кислых почв); фосфор подвижный и калий обменный по Олсену и Масловой соответственно (для слабоненасыщенных почв); Ca^{2+} и Mg^{2+} – трилонометрически; алюминий и обменная кислотность – по Соколову; гидролитическая кислотность – по Каппену; влажность – весовым методом; гранулометрический состав – по Качинскому. Определение ферментативной активности проводилось в свежих образцах методами в модификации А. Ш. Галстяна (Практикум..., 2001): каталазы – газометрически; фосфатазы, уреазы, инвертазы – колориметрически. Активность разложения целлюлозы определяли методом Вострова и Петровой (Практикум..., 2001). Исследование функционального разнообразия микробных сообществ почв проводили методом мультисубстратного тестирования (Горленко, Кожевин, 2005). Обработка экспериментальных данных проводилась в программах Excel 2000, STATISTICA 6.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Глава 3. Агрохимические свойства бурых лесных почв при длительном возделывании различных агроценозов

3.1. Бурые лесные кислые почвы

Изученные бурые лесные кислые почвы естественного ценоза (буково-грабового леса) характеризовались значительной мощностью, тяжелым механическим составом (от глины легкой пылеватой до глины тяжелой иловатой вниз по профилю), кислой реакцией среды на всю глубину почвенного профиля, низким содержанием гумуса, низкой обеспеченностью легкогидролизуемым азотом и подвижным фосфором и средней

обеспеченностью калием (табл. 1). Полученные данные характерны для наиболее типичных бурых лесных кислых почв и подтверждались другими исследователями (Малюкова, 1997; Беседина, 2004; Козлова, 2008).

В бурой лесной кислой почве чайной плантации и насаждений фундука после длительного (26 лет) применения удобрений наблюдалось изменение кислотности почв, причем наиболее существенно в верхних горизонтах: значение рН уменьшилось на 0,2–0,6 единицы, содержание подвижного алюминия увеличилось (в среднем в 2 раза), а сумма поглощенных кальция и магния уменьшилась (в среднем в 2–3 раза). Содержание гумуса и легкогидролизуемого азота осталось на том же уровне, так как поддерживалось ежегодным внесением азотных удобрений (табл. 1). Содержание подвижных форм фосфора и калия в изученных почвах увеличилось. Выявленное очень высокое содержание подвижных фосфатов в почве фундучных насаждений связано с внесением большого количества фосфорных удобрений перед посадкой и в течение последующей их эксплуатации (табл. 1).

Таблица 1. Агрохимические свойства бурых лесных кислых почв различных ценозов, 2008 г.

Горизонты	Глубина, см	рН _{сол}	Гумус, %	N _{лг}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Лес						
A ₀ A ₁	0-6	4,3	Не опр.	83	63	338
A ₁	6-24	3,9	3,7	71	26	208
A ₁ B _t	24-56	3,9	2,7	74	60	198
B _t	56-93	3,8	2,2	77	58	200
BC	93-110	3,7	1,6	55	34	198
Чайная плантация N200P60K50						
A ₀ A ₁	0-5	3,5	Не опр.	83	239	281
A _{пл}	5-19	3,7	4,0	83	457	375
A ₁ B _t	19-41	3,8	2,6	73	347	273
B _t	41-80	3,8	2,4	64	92	208
Фундук N180P120K120						
A ₀ A ₁	0-4	3,7	Не опр.	92	1549	404
A _{пл}	4-18	3,5	4,0	83	1567	329
A ₁ B _t	18-48	3,6	2,3	49	74	273
B _t	48-88	3,6	1,8	42	89	264

Примечание: A_{пл} – А плантажируемый

3.2. Бурые лесные слабоненасыщенные почвы

Изученная бурая лесная слабоненасыщенная легкоглинистая пылеватая почва естественного ценоза характеризовалась значительной мощностью, нейтральной реакцией среды на всю глубину почвенного профиля, низким содержанием гумуса, низкой обеспеченностью легкогидролизуемым азотом и подвижным фосфором и средней обеспеченностью калием (табл. 2).

После длительного ведения культур персика (12 лет) и фундука (25 лет) отмечалось некоторое подкисление (уменьшение рН) почв, связанное как с внесением физиологически кислых удобрений, так и с более выщелоченной почвообразующей породой, в частности для почвы под персиком (табл. 2). Установлено снижение содержания гумуса в почвенном профиле изучаемых агроценозов персика и фундука по сравнению с почвой фона. Содержание макроэлементов было соизмеримо с фоновым уровнем, при этом, отдельные отличия их профильного распределения связаны как с глубоким плантажированием почвы агроценозов перед закладкой насаждений, так и с применением удобрений (увеличение содержания калия в почве под персиком).

Таблица 2. Агрохимические свойства бурых лесных слабоненасыщенных почв различных ценозов, 2008 г.

Горизонты	Глубина, см	рН _{H2O}	Гумус, %	мг/кг		
				N _{лг}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Лес						
A ₀ A ₁	0-6	7,4	не опр.	132	384	320
A ₁	6-17	7,6	3,5	100	254	206
A ₁ B _t	17-35	7,6	2,7	81	105	174
B _t	35-59	7,7	2,2	65	71	159
BC	59-90	7,7	2,1	41	77	143
Персик N180P90K130						
A ₀ A ₁	0-3	6,6	не опр.	176	226	626
A _{пл}	3-17	6,6	3,7	85	276	363
A ₁ B _t	17-45	6,6	2,0	43	93	231
B _t	45-70	6,5	1,6	59	29	197
BC	70-85	5,8	1,4	67	10	205
Фундук N180P50K50						
A ₀ A ₁	0-6	6,5	не опр.	140	352	293
A _{пл}	6-28	7,3	1,8	55	108	194
A ₁ B _t	28-43	7,3	1,9	103	64	155
B _t	43-62	7,4	1,5	41	21	210
BC	62-75	7,4	1,8	18	88	201

Глава 4. Биологическая активность бурых лесных почв при длительном возделывании различных агроценозов

4.1. Активность почвенных ферментов

4.1.1. Инвертаза. В бурой лесной кислой почве буково-грабового леса в горизонтах A_0A_1 и A_1 зафиксирована наиболее высокая активность инвертазы, обусловленная значительным поступлением органического вещества и высокой микробиологической активностью (рис. 1а). С глубиной наблюдалось резкое ее снижение, и далее с 90 см активность фермента не обнаруживалась. В бурой лесной кислой почве чайной плантации и под насаждениями фундука по сравнению с почвой леса инвертазная активность была значительно ниже по всему профилю, особенно это проявлялось в верхних горизонтах A_0A_1 и $A_1(A_{пл})$, подверженных агрогенному воздействию. В бурой лесной слабоненасыщенной почве буково-грабового леса активность инвертазы отличалась меньшими величинами, чем в бурой лесной кислой почве леса по всему профилю (в 2–7 раз), при этом активность фермента также снижалась с глубиной и с глубины 60–90 см не обнаруживалась. Такое снижение активности связано с распределением гумуса и корней растений в почве (коэффициент корреляции активности инвертазы с содержанием гумуса $r=0,72$).

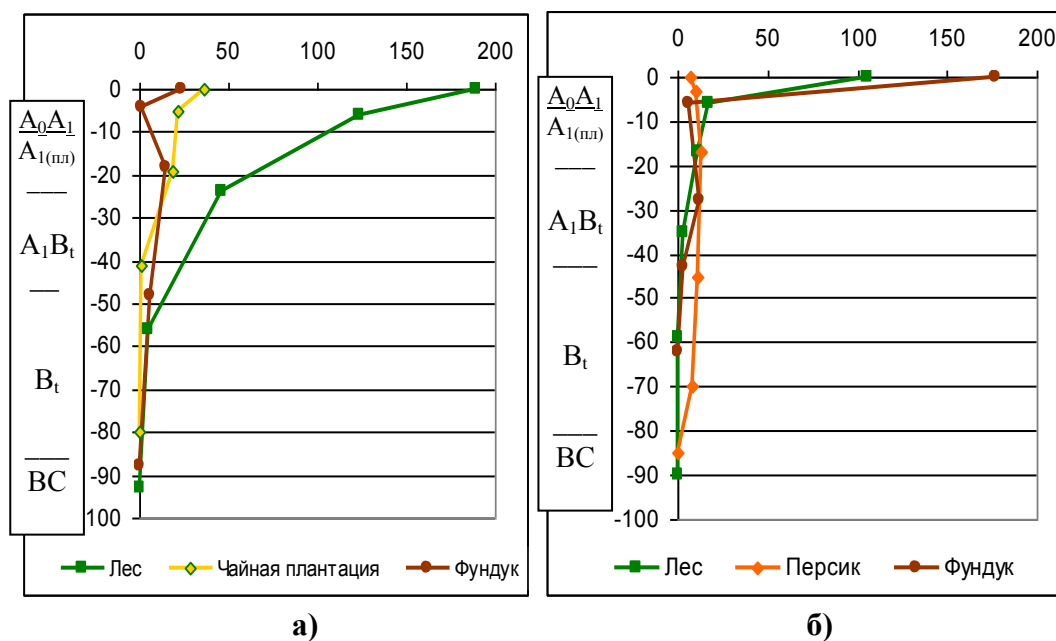


Рис. 1. Профильное распределение активности инвертазы в бурых лесных кислых (а) и слабоненасыщенных (б) почвах различных ценозов, мг глюкозы/1 г почвы за 24 часа (ноябрь, 2008 г.)

Активность инвертазы почвы под фундуком в поверхностном горизонте превышала активность почвы фона в 1,7 раза, что обусловлено системой содержания почвы под культурой (задернение). Активность инвертазы почвы под персиковым садом была на порядок ниже почвы фона и фундучных насаждений в поверхностном горизонте (0–3 см) (рис. 1б), что обусловлено дополнительным агрогенным воздействием (применение пестицидов). В нижележащих горизонтах активность фермента находилась на уровне фона.

4.1.2. Уреаза. Исследования показали, что в бурой лесной кислой почве естественного ценоза активность уреазы снижалась вниз по профилю, в горизонте A_1 была в 3 раза ниже, чем в верхнем горизонте A_0A_1 , и с глубины 56 см практически не обнаруживалась (рис. 2а). В почве чайной плантации в зоне непосредственного внесения минеральных удобрений (горизонт A_0A_1 , 0–5 см) происходило снижение потенциальной активности уреазы в 2 раза по сравнению с почвой фона. При этом в горизонте $A_{пл}$ (5–40 см) активность уреазы увеличивалась, чему способствовал сбалансированный питательный режим почвы и характер распространения корневой системы растения чая. В почве под фундучными насаждениями уреазная активность была в 3 раза ниже уровня фона в поверхностном горизонте и с горизонта A_1B_t не обнаруживалась.

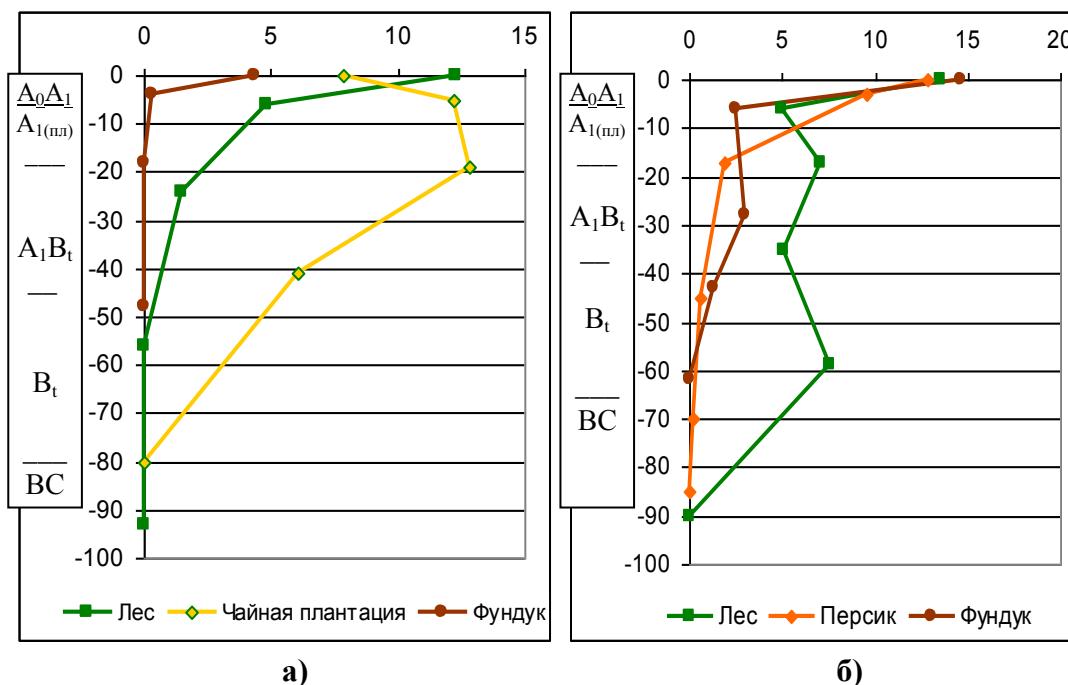


Рис. 2. Профильное распределение активности уреазы в бурых лесных кислых (а) и слабонасыщенных (б) почвах различных ценозов, мг NH₃/10 г почвы за 24 часа (ноябрь, 2008 г.)

Активность уреазы в бурых лесных слабоненасыщенных почвах также снижалась с глубиной, при этом в почве агроценозов ее активность находилась на уровне фона в верхних горизонтах, с более резким убыванием вниз по профилю (рис. 2б), что коррелировало с содержанием легкогидролизуемой формы азота в почве ($r=0,74$).

При изучении сезонной динамики установлено, что активность уреазы в верхнем слое (0–15 см) бурой лесной кислой почвы лесного ценоза была относительно стабильной в период июль–октябрь с выраженным пиком активности во 2-й декаде мая (рис. 3а) – период более благоприятных гидротермических условий (оптимальный уровень влажности и теплообеспечения) для протекания биологических процессов. В почве чайной плантации наблюдалось снижение активности уреазы по сравнению с фоновым уровнем, связанное с применением минеральных удобрений (в апреле). В мае снижение активности было наиболее выражено (более, чем в 3 раза), в октябре – уже практически не отмечалось.

Активность уреазы в верхнем слое бурой лесной слабоненасыщенной почве лесного ценоза менялась от 6,2 до 18,7 мг $\text{NH}_3/10$ г почвы (рис. 3б). В почвах агроценозов персика и фундука в весенне-летний (вегетационный) период также прослеживалось снижение ее активности по сравнению с уровнем фона (в мае в 4 раза, в августе в 2–3 раза), обусловленное агрогенным воздействием. В октябре активность уреазы почв агроценозов уже соответствовала уровню активности фонового участка. Пространственная вариабельность активности уреазы составляла 25,6–36,7%.

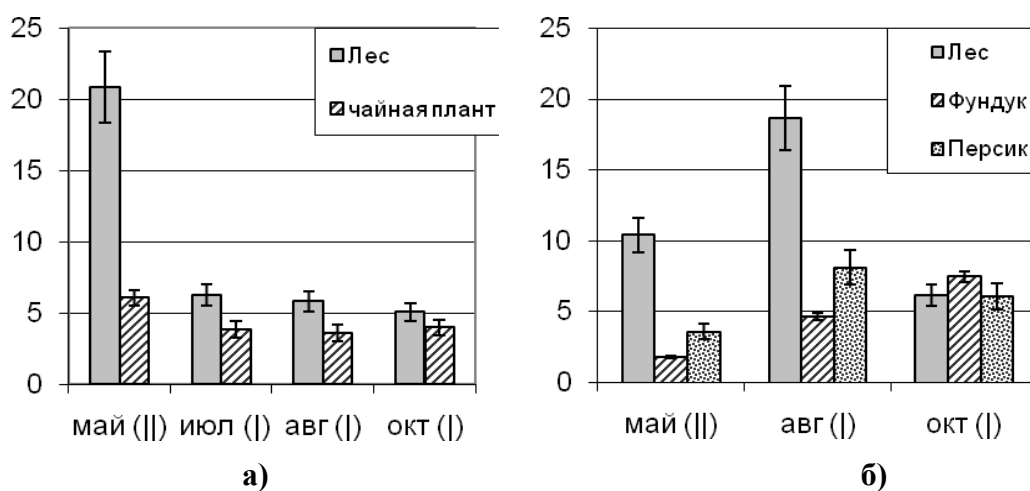


Рис. 3. Динамика активности уреазы (мг $\text{NH}_3/10$ г за 24 ч) в бурых лесных кислых (а) и слабоненасыщенных (б) почвах в течение вегетационного периода, 2008 г., 0-15 см

4.1.3. Фосфатаза. Активность фосфатазы в изученных бурых лесных кислых и бурых лесных слабоненасыщенных почвах практически не обнаруживалась, за исключением верхних горизонтов почвы леса (0,7 мг $P_2O_5/100$ г почвы).

4.1.4. Каталаза. Установлено, что бурые лесные кислые почвы естественного ценоза характеризовались относительно высокой (15–11 мл O_2) активностью каталазы горизонтов A_0A_1 и A_1 , которая постепенно снижалась с глубиной. В почвах агроценозов чайной плантации и фундука наблюдалось снижение активности фермента по сравнению с почвой фона по всему профилю: в поверхностном горизонте A_0A_1 в 5 раз, в горизонтах A_1 и AB – в 4 раза (рис. 4а).

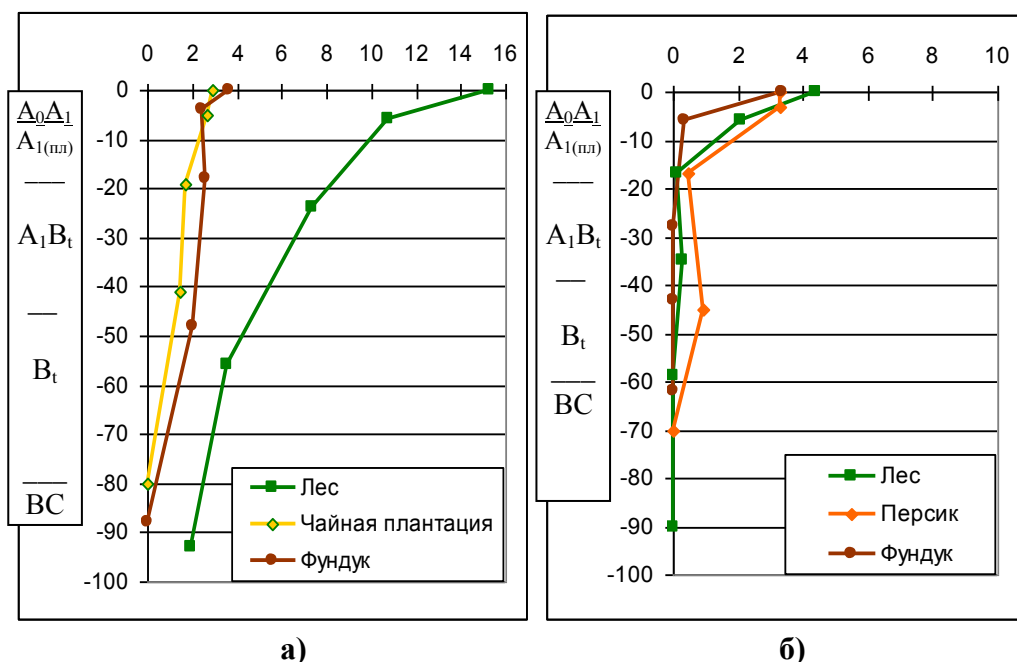


Рис. 4. Профильное распределение активности каталазы в бурых лесных кислых (а) и слабоненасыщенных (б) почвах различных ценозов, мл $O_2/1$ г за 1 мин. (ноябрь 2008 г.)

В бурых лесных слабоненасыщенных почвах каталазная активность была низкой и снижалась с глубиной. При этом активность фермента в почве под персиком и фундуком находилась на уровне почвы леса (рис. 4б).

Анализ сезонной динамики каталазной активности показал существенное варьирование этого показателя в течение вегетационного периода. Самый высокий уровень активности каталазы бурых лесных кислых почв естественного ценоза зафиксирован в начале августа (11,1 мл O_2), а самый низкий – в начале октября (4,2 мл O_2) (рис. 5). При этом отмечалось снижение активности фермента в почве чайной плантации относительно фона, наиболее существенное в мае (более, чем в 3 раза).

Активность каталазы в бурых лесных слабоненасыщенных почвах в целом была более низкой в течение всего вегетационного периода и изменялась от 0,2 до 2,8 мл O_2 /1г почвы за 1 мин (рис. 5).

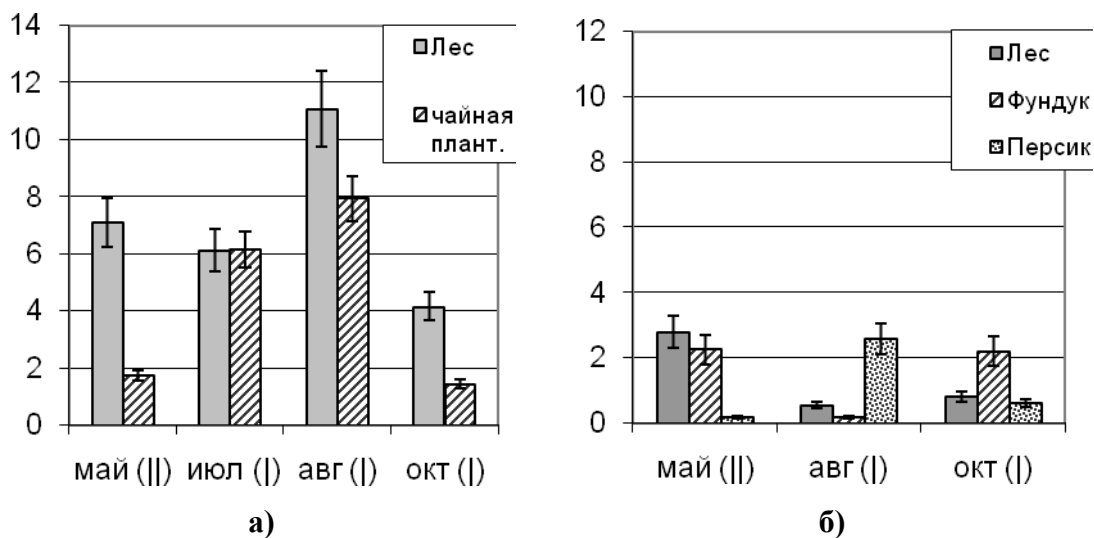


Рис. 5. Динамика активности каталазы (мл O_2 /1 г за 1 мин.) в бурых лесных кислых (а) и слабоненасыщенных (б) почвах в течение вегетационного периода, 2008 г., 0-15 см

4.2. Целлюлозолитическая активность

Активность разложения целлюлозы используется как показатель общей биогенности почвы, в том числе при оценке влияния удобрений. В результате исследований установлено, что по шкале интенсивности разложения целлюлозы (% за вегетационный сезон) Д.Г. Звягинцева (Практикум..., 1989) бурая лесная кислая почва буково-грабового леса и чайной плантации характеризовалась средней интенсивностью разложения (30–50%). На вариантах N200P60K50 и N600P180K150 значения степени разложения целлюлозы в почве были практически равны и не отличались от фонового уровня (леса). Это связано с тем, что в почвы этих вариантов, помимо минеральных удобрений, ежегодно поступает значительное количество органических остатков в виде подрезочной массы (17–25 т/га). В почве чайной плантации на варианте без внесения удобрений практически в отсутствие поступления органических остатков отмечалось снижение активности разложения целлюлозы относительно фона и вариантов опыта с внесением удобрений на 8% (табл. 3).

В бурой лесной слабоненасыщенной почве под фундучными насаждениями интенсивность разложения целлюлозы оценивалась как «сильная» (50–80 %, по градациям Д.Г. Звягинцева) (табл. 3). Такое повышение биологической активности, возможно, связано с менее кислыми условиями среды, характерными для этого подтипа бурых лесных почв, а

также со способом содержания почвы (задернением), улучшающим свойства почвы.

Изучение сезонной динамики активности разложения целлюлозы показало, что во всех изученных почвах наибольшая активность приходилась на май-июнь, а в июле (период засухи и высоких температур) был зафиксирован минимум активности (табл. 3).

Таблица 3. Целлюлозолитическая активность бурых лесных почв (5-25 см, 2009 г.), %

Ценозы, варианты		Динамика					Общая за сезон
		май	июнь	Июль	август	сентябрь	май-сентябрь
Буково-грабовый лес*		17,2	15,9	0,0	5,0	3,6	41,7
Чайная плантация*	N0P0K0	21,5	10,5	0,0	1,3	1,1	34,4
	N200P60K50	19,8	9,6	2,5	4,3	6,1	42,3
	N600P180K150	19,3	7,3	4,0	8,3	3,8	42,7
Фундук**		12,7	19,6	1,6	18,4		52,3

Примечание: * - бурая лесная кислая; ** - бурая лесная слабоненасыщенная

4.3. Функциональное биоразнообразие микробного сообщества

Для изучения эколого-функционального состояния почв в данной работе был использован метод мультисубстратного тестирования (МСТ) (Горленко, Кожевин, 2005), который позволил осуществить комплексную оценку биологической активности почв.

В изученных бурых лесных почвах отмечалось закономерное снижение параметров биоразнообразия с глубиной как в естественных, так и в почвах агроценозов, что определяется характером распространения корневой системы, структурой почвы, содержанием органического вещества.

В осенний период самые высокие показатели функционального биоразнообразия (количество потребленных субстратов (N), удельная метаболическая работа (W), а также индекс Шеннона (H) и выравненность (E)) из изученных образцов отмечено в бурой лесной слабоненасыщенной почве под персиковым садом (в горизонтах A_dA_1 , $A_{пл}$), под фундучными насаждениями соизмеримые показатели наблюдались только в почве горизонта A_dA_1 (рис. 6). Бурые лесные слабоненасыщенные почвы, в целом, по изученным показателям характеризовались более высоким биоразнообразием. Наиболее приближен к слабоненасыщенным почвам горизонт A_0A_1 бурой лесной кислой почвы леса. В почве чайной плантации

отмечалось снижение разнообразия микробного сообщества по всему профилю, особенно в поверхностном горизонте A_0A_1 (зона внесения минеральных удобрений) по сравнению с уровнем фона; при этом в горизонте $A_{пл}$ показатели биоразнообразия были соизмеримы с горизонтом A_1 лесного ценоза.

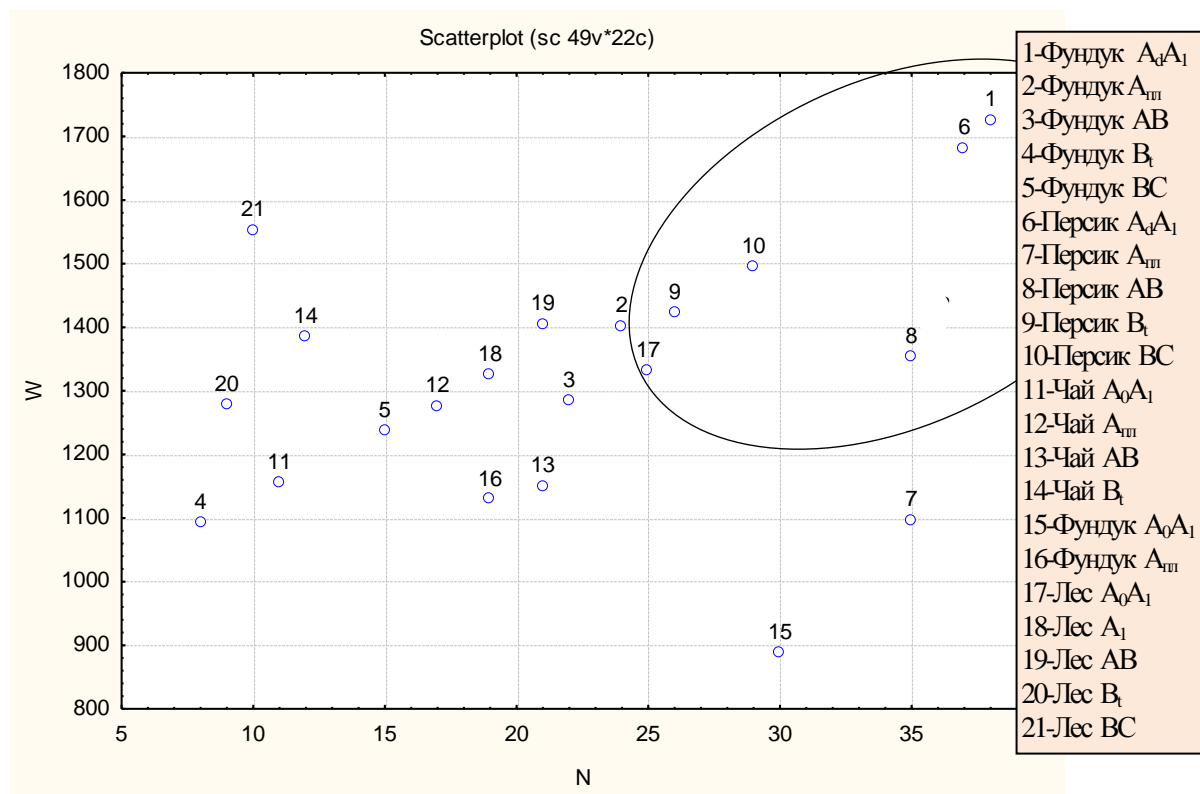


Рис. 6. Параметры биоразнообразия спектра потребленных субстратов микробного сообщества бурых лесных почв (N – количество потребленных субстратов, W – удельная метаболическая работа), ноябрь 2008 г.

Одним из наиболее информативных показателей в мониторинге антропогенного воздействия авторами метода МСТ (Горленко, Кожевин, 2005) выделен параметр d (коэффициент рангового распределения потребления субстратов), отражающий устойчивость микробного сообщества. Рост коэффициента d ($>0,4$) указывает на снижение стабильности микробоценоза под действием какого-либо нарушающего фактора. В результате анализа микробное сообщество бурой лесной кислой почвы лесного ценоза было охарактеризовано как устойчивое (рис. 7). Микробное сообщество в аккумулятивных горизонтах $A_{пл}$ во всех изученных почвах агроценозов также характеризовалось как стабильная система, демонстрируя формирование нового равновесного состояния микробного сообщества.

При рассмотрении верхних горизонтов ($A_{0(d)}A_1$), испытывающих наиболее сильное агрогенное воздействие, отмечено снижение устойчивости

микробного сообщества в почве фундучных насаждений и чайной плантации. В почве под персиком такого снижения не наблюдалось.

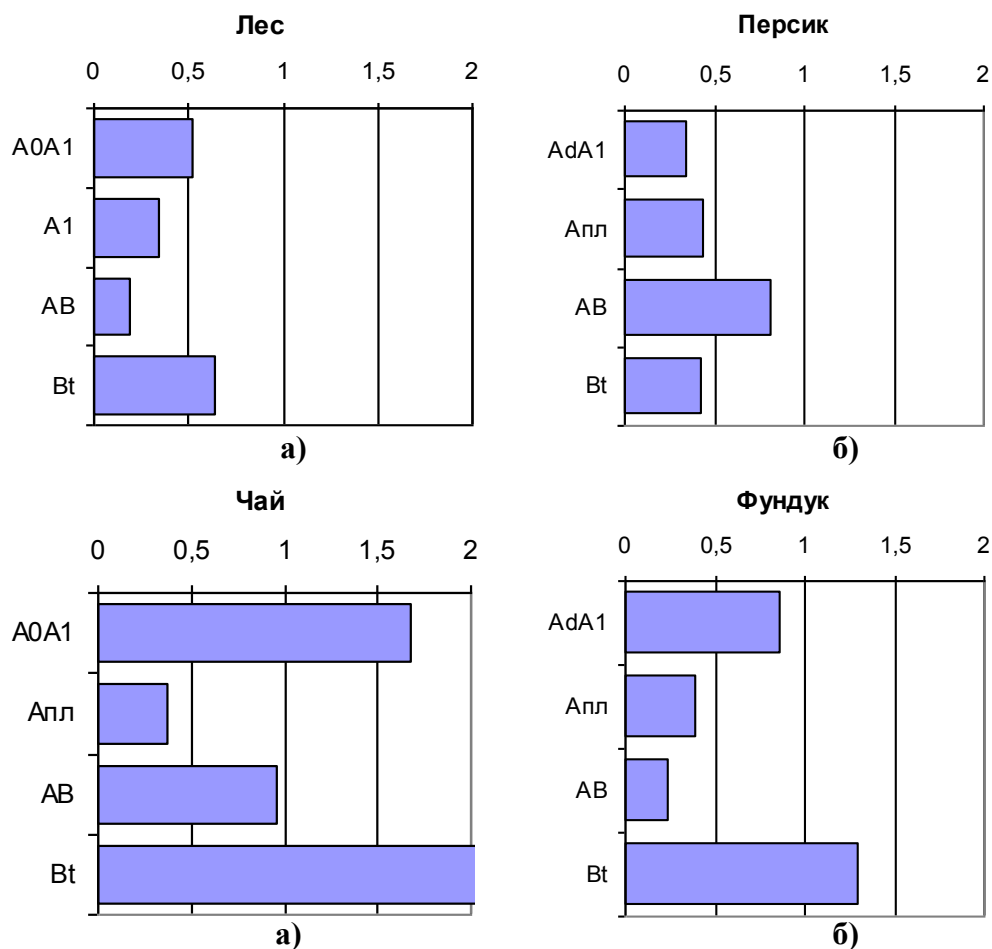


Рис. 7. Параметр устойчивости системы (d) микробного сообщества бурых лесных кислых (а) и бурых лесных слабонасыщенных (б) почв агроценозов и леса

Глава 5. Влияние длительного применения различных видов и доз минеральных удобрений на биологическую активность бурых лесных почв на примере культуры чая

Многочисленными исследованиями показано, что длительное интенсивное возделывание чая (с применением повышенных доз минеральных удобрений) приводит к агрогенной трансформации почв, (Бушин, 1971; Аргунова и др., 1994; Малюкова, 1997; Беседина, 2004; Козлова, 2008).

Наши исследования также подтвердили установленные ранее закономерности изменения агрохимических свойств бурых лесных почв при многолетнем применении возрастающих доз минеральных удобрений (NPK). В почве чайной плантации отмечался рост кислотности в слое 0–7 см (табл.

4): рН снижался на 0,6–1,0 единицу по сравнению с контролем и фоном; гидролитическая кислотность увеличилась в 1,5–2 раза; сумма обменных Ca^{2+} и Mg^{2+} снижалась от 2,2 до 5 раз. Выявленные различия в показателях кислотности достоверны, вариабельность показателей низкая. Отмечалось также увеличение содержания легкогидролизуемого азота и подвижных форм фосфора в верхнем почвенном слое бурой лесной почвы изучаемой чайной плантации (табл. 4). Содержание подвижных форм калия в верхнем почвенном слое бурой лесной почве чайной плантации на различных вариантах опыта оценивалось как высокое, согласно существующим градациям (Малюкова, Козлова, 2010) и существенно не различалось.

Таблица 4. Агрохимические свойства почв чайной плантации по вариантам опыта, 0-7 см (28.03.2008)

Вариант (NPK)	рН _{сол}	N _{лг} ,	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ²⁺ + Mg ²⁺
					ммольэкв/100г
		мг/кг			
Лес (фон)	4,1±0,2	93±25	147±23	456±76	16,6±1,1
N0P0K0	4,3±0,2	65±8	109±64	513±80	14,4±2,7
N200P60K50	3,5±0,1	107±8	608±72	528±79	7,4±2,2
N200P60K150	3,6±0,1	206±11	586±53	514±79	-
N400P120K100	3,1±0,1	218±10	1113±68	477±55	3,3±0,2
N600P180K150	3,1±0,2	195±8	1435±39	516±21	4,8±0,7

При комплексном изучении биологических показателей установлено, что в весенний период (до внесения удобрений) активность уреазы в поверхностном слое почвы чайной плантации на варианте без внесения удобрений (контроле) была соизмерима с фоном (табл. 5). На фоне применения минеральных удобрений в одинарных и двойных дозах достоверного снижения активности уреазы в почве не зафиксировано в этот период. При этом при применении одинарных доз (N200P60K50) минеральных удобрений активность уреазы увеличивалась по сравнению с контролем и фоном – в среднем в 1,6 раза (табл. 5), тогда как в осенний период в верхнем слое почвы ее активность была значительно ниже уровня фона (см. рис. 2). Рост активности фермента с октября по март указывает на способность почвы восстанавливаться при таком уровне агрогенного воздействия. При увеличении агрогенной нагрузки до избыточного уровня проявлялся ингибирующий эффект многолетнего применения стрессовых доз удобрений (N600P180K150): активность уреазы снижалась в 4,8–5,9 раз по сравнению с фоном и контролем.

Таблица 5. Активность уреазы в бурых лесных кислых почвах чайной плантации по вариантам опыта, мг NH₃/10 г почвы за сутки, 0-7 см (28.03.2008)

Вариант (NPK)	М	σ	V, %
Лес (фон)	12,9	4,2	32,7
N0P0K0(контроль)	15,9	3,4	21,6
N200P60K50	22,7	7,6	25,6
N200P60K150	10,3	3,0	28,7
N400P120K100	11,5	1,1	9,3
N600P180K150	2,7	1,1	41,1

Примечание: М – среднее, σ – стандартное отклонение, V – коэффициент вариации

Установлено, что каталазная активность почв чайных плантаций снижалась при длительном применении минеральных удобрений: внесение удобрений в дозах N200P60K50 снижало ее активность в три раза по сравнению с контролем (табл. 6). Еще более резкое падение активности (на порядок) каталазы наблюдалось при внесении азотных удобрений в дозах 400–600 кг д.в./га. Такое снижение отмечалось и другими исследователями для других типов почв (Галстян, 1972; Дараселия, 1979).

Таблица 6. Активность каталазы в бурых лесных кислых почвах чайной плантации по вариантам опыта, мЛО₂/1г почвы за 1 мин, 0-7 см (28.03.2008)

Вариант (NPK)	М	σ	V, %
Лес (фон)	10,9	2,5	22,7
N0P0K0 (контроль)	19,2	3,8	19,6
N200P60K50	5,9	1,6	26,6
N200P60K150	3,1	2,0	64,4
N400P120K100	1,4	0,5	37,7
N600P180K150	1,4	0,5	37,0

Примечание: М – среднее, σ – стандартное отклонение, V – коэффициент вариации

Влияние удобрений на функциональное биоразнообразие микробного сообщества почв оценивали с помощью интегрального коэффициента «здоровья» почвы $G = (N / N_{max})/d$, где N_{max} количество тест-субстратов (47), N количество потребленных микробным сообществом субстратов, d – коэффициент рангового распределения, отражающий устойчивость сообщества. В результате анализа установлено, что азотные удобрения оказывали наиболее существенное влияние на состояние микробного сообщества, тогда как однозначных закономерностей влияния различных доз фосфора и калия не было выявлено. Лучшие почвенные условия (наибольшие

значения G) обеспечивали дозы азота 200 кг д.в/га (N200P60K150, N200P180K150, N200P60K50) (рис. 8). Отсутствие азота, как и применение его высоких доз существенно снижало этот показатель.

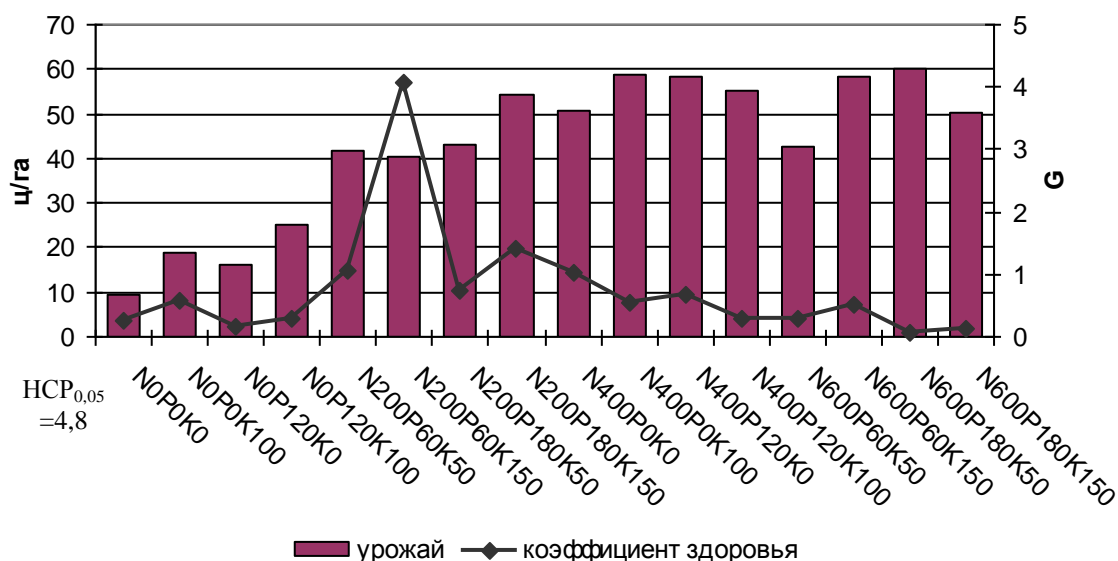


Рис. 8. Урожайность культуры чая и коэффициент здоровья почв при применении различных доз минеральных удобрений на чайной плантации (2008–2010 гг.)

Сопряженный анализ коэффициента G и урожайности чайной плантации позволил установить следующие тенденции. Варианты опыта с внесением одинарных и двойных доз азотных удобрений характеризовались урожаем от среднего до высокого (40–60 ц/га) и в большинстве своем относительно высоким коэффициентом «здоровья» почвы (рис. 8). На вариантах без азотных удобрений коэффициент почвенного «здоровья» низкий (<0,6), и урожайность культуры составила 9–25 ц/га. На вариантах с тройными дозами азота, характеризующихся также низким G, отсутствовал пропорциональный рост урожайности по сравнению с внесением одинарных и двойных доз азота, что также подтверждало стрессовое состояние почвенной биоты, отражающееся на состоянии агроценоза.

ВЫВОДЫ

Комплексное изучение агрохимических и биологических свойств бурых лесных кислых и бурых лесных слабонасыщенных почв садовых агроценозов и чайных плантаций Черноморского побережья России (зона Большого Сочи) позволило сделать следующие выводы:

1. Бурые лесные (кислые и слабонасыщенные) почвы естественных ценозов характеризовались самой высокой активностью ферментов

инвертазы (189,5 и 105,6 мг глюкозы/10 г за 24 часа), уреазы (12,3 и 13,5 мг NH_3 /10 г за 24 часа), каталазы (15, 3 и 4,4 мл O_2 /1 г за 1 мин) фосфатазы (0,64 и 0,13 мг P_2O_5 /100 г за 1 час) в верхних горизонтах, с характерным убыванием активности вниз по профилю. В бурых лесных кислых почвах максимальная активность уреазы зафиксирована в мае, активность каталазы – в августе, в бурых лесных слабонасыщенных почвах – в августе и мае, соответственно.

2. Длительное возделывание культур чая, персика и фундука на этих подтипах почв приводило к снижению активности каталазы, инвертазы и фосфатазы по всему профилю, наиболее существенное в верхних горизонтах, в большей степени на чайной плантации. Активность уреазы в бурой лесной кислой почве чайной плантации при существенном снижении в поверхностном горизонте, увеличивалась в слое 5–40 см; в бурой лесной слабонасыщенной – оставалась на уровне фона. В целом, бурые лесные слабонасыщенные почвы характеризовались наибольшим биоразнообразием (в частности, почва под персиковым садом). В поверхностном горизонте бурых лесных кислых почв чайной плантации и фундучных насаждений отмечалось снижение устойчивости микробного сообщества.

3. Длительное применение минеральных удобрений на чайных плантациях оказывало наиболее сильное воздействие на биологическую активность бурой лесной кислой почвы в поверхностном слое (0–7 см). Активность каталазы снижалась в 2–3 раза уже при внесении одиарных доз $\text{N}200\text{P}60\text{K}50$, а применение тройных доз ($\text{N}600\text{P}180\text{K}150$) уменьшало ее на порядок. Тройные дозы минеральных удобрений также ингибировали активность уреазы (в 4,8–5,9 раз по сравнению с контролем и фоном), при внесении одиарных доз активность уреазы в бурой лесной почве чайной плантации увеличивалась в 1,4–1,8 раз по сравнению с контролем и фоном (в ранневесенний период). Ингибирующего действия удобрений на активность разложения целлюлозы в почве не было выявлено.

4. Наиболее существенное влияние на коэффициент «здоровья» почвы G, отражающий функциональное биоразнообразие и стабильность микробоценоза бурой лесной кислой почвы под культурой чая, оказывали азотные удобрения, тогда как однозначных закономерностей влияния различных доз фосфора и калия не было выявлено. Лучшие почвенные условия (наибольшие значения G) обеспечивали дозы азота 200 кг д.в./га на фоне разных доз фосфора и калия. Более высокие дозы азотных удобрений, а также их отсутствие снижали этот показатель.

5. Из изученной группы функциональных показателей (ферментативная активность почв, показатели МСТ) наиболее информативными в отношении оценки эффективности и экологической безопасности применения минеральных удобрений в садовых агроценозах являются активность уреазы и ряд показателей функционального биоразнообразия микробного сообщества почв (d-коэффициент устойчивости микробоценоза, G-коэффициент «здоровья» почв), полученных методом мультисубстратного тестирования.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. **Струкова Д.В.** Некоторые показатели биологической активности бурых лесных кислых почв чайных плантаций субтропиков России [Текст] / Д.В. Струкова, Л.С. Малюкова // *Агрехимический вестник*. – 2010. – №6. – С. 5–9.
2. Малюкова Л.С. Влияние длительного применения минеральных удобрений на биологическую активность почв чайных плантаций [Текст] / Л.С. Малюкова, Е.В. Рогожина, **Д.В. Струкова** // *Агрехимический вестник*. – 2012. – №2. – С.15–17.
3. Малюкова Л.С. Эколого-агрехимические аспекты возделывания субтропических культур на Черноморском побережье России / Л.С. Малюкова, Н.В. Козлова, Е.В. Рогожина, **Д.В. Струкова**, В.В. Керимзаде, В.В. Великий // *Сельскохозяйственная биология*. – 2014. – №3. – С. 29–33.

Научные публикации в аналитических сборниках и материалах конференций

4. Козлова Н.В. Роль макро- и микроудобрений в стабилизации урожайности культуры чая в субтропиках России / Н.В. Козлова, Л.С. Малюкова, **Д.В. Струкова** [Текст] // *Мат-лы конф. «Проблемы повышения качества и стабилизации продуктивности растений в естественных и антропогенных экосистемах»*. Нальчик, 2006. – С. 77–80.
5. Малюкова Л.С. Некоторые механизмы реализации научных принципов создания устойчивых агроэкосистем в субтропическом земледелии / Л.С. Малюкова, Н.В. Козлова, **Д.В. Струкова**, Е.В. Рогожина [Текст] // *Сб. науч. тр. «Биоресурсы, биотехнологии, экологически безопасное развитие агропромышленного комплекса»* Вып. 40. ГНУ ВНИИЦ и СК. Сочи, 2007. – С. 232–248.
6. Рогожина Е.В. Азотфиксация в почвах различных агроценозов субтропической зоны России [Текст] / Е.В. Рогожина, **Д.В. Струкова** // *Мат-лы 42-й междунар. науч. конф. «Агрехимические технологии, приемы и способы увеличения объемов производства высококачественной сельскохозяйственной продукции»*. М., 2008. – С. 125.
7. **Струкова Д.В.** Влияние минеральных удобрений на активность фермента каталазы бурой лесной кислой почвы чайной плантации при длительном ведении культуры в условиях субтропиков России [Текст] // *Параметры адаптивности многолетних культур в современных условиях развития садоводства и виноградарства*. Краснодар, 2008. – С. 63–66.

8. Малюкова Л.С. Разработать модель оптимизации бурых лесных почв чайных плантаций [Текст] / Л.С. Малюкова, Н.В. Козлова, И.В. Юткина, **Д.В. Струкова**, А.А. Губарева // Сборник тезисов конференции получателей грантов регионального конкурса «Юг» Российского фонда фундаментальных исследований и администрации Краснодарского края «Вклад фундаментальных исследований в развитие современной инновационной экономики Краснодарского края». Краснодар, 2008. – С. 61–62.

9. **Струкова Д.В.** Активность ферментов каталазы и фосфатазы в бурых лесных кислых почвах чайных плантаций субтропиков России / Д.В. Струкова, Л.С. Малюкова [Текст] // Сборник науч. тр. ВНИИЦиСК. Вып. 42. Т. 2. «Субтропическое растениеводство и южное садоводство». Сочи, 2009. – С. 118–127.

10. **Струкова Д.В.** Влияние минеральных удобрений на урезную активность бурой лесной кислой почвы чайной плантации при длительном ведении культуры в условиях субтропиков России // Мат-лы II Международной дистанционной научно-практической конференции молодых ученых «Параметры адаптивности многолетних культур в современных условиях развития садоводства и виноградарства». Краснодар, 2009.

11. **Струкова Д.В.** Особенности агрохимических свойств бурых лесных кислых почв чайных плантаций субтропиков России [Текст] // Материалы XIII Докучаевских молодежных чтений «Органо-минеральная матрица почв». Санкт-Петербург, 1–4 марта 2010. – С. 162–163.

12. **Струкова Д.В.** Изучение влияния минеральных удобрений на состояние бурых лесных кислых почв чайной плантации субтропиков России методом мультисубстратного тестирования [Текст] / Д.В. Струкова, Л.С. Малюкова // Материалы 44-й междунар. науч. конф. «Комплексное применение средств химизации в адаптивно-ландшафтном земледелии». М., ВНИИА, 2010. – С. 273–276.

13. **Струкова Д.В.** Оценка биологической активности бурой лесной слабоненасыщенной почвы агроценоза персика в условиях субтропиков России [Текст] // Материалы IV всерос. научно-практ. конф. молодых ученых «Научное обеспечение агропромышленного комплекса». Краснодар, 2010. – С. 225–227.

14. **Струкова Д.В.** Биологическая активность бурой лесной слабоненасыщенной почвы агроэкосистемы фундука в условиях субтропиков России [Текст] // Проблемы и перспективы садоводства в субтропиках Кавказского региона: науч. тр. / ГНУ ВНИИЦ и СК Россельхозакадемии. Вып. 44. Т. 1. – Сочи, 2011. – С. 195–201.

15. **Струкова Д.В.** Состояние бурой лесной слабоненасыщенной почвы при ведении культуры персика в субтропиках России [Текст] // Материалы XIIV Докучаевских молодежных чтений «Почвы в условиях природных и антропогенных стрессов». Санкт-Петербург, 1–4 марта 2011. – С. 173–174.