

уменьшилась доля калия. Орошение повлияло и на сходимость результатов катионно-анионного состава почвы. Коэффициенты вариации показателей pH, УЭП, Пл. ост, натрий и сульфаты имеют низкие значения ($C_v=1-10\%$), в то время как в таком же типе почвы без орошения разброс вариант был более значительным ($C_v=11-29\%$), за исключением величины pH ($C_v=1\%$).

Литература

1. Панкова Е.И., Соловьев Д.А., Рухович Д.И., Савин И.Ю. Мониторинг засоления почв орошаемых территорий Центральной Азии с использованием данных дистанционного зондирования. В кн. «Земельные ресурсы и продовольственная безопасность Центральной Азии и Закавказья». - Рим: ФАО, 2016. - С.309-369.
2. Руководство по управлению засоленными почвами. План реализации Евразийского почвенного партнерства/ Под редакцией Р. Варгаса, Е.И. Панковой, С.А. Балюка, П.В. Красильникова и Г.М. Хасанхановой. Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединённых наций. -Рим: ФАО, 2017. – 144 с.
3. Кушнарева А.В., Безуглова О.С. Влияние орошения на свойства почв. Обзор // Живые и биокосные системы. – 2023. – № 46. –С.43 URL: <https://jbks.ru/archive/issue-46/article-4>; DOI: 10.18522/2308-9709-2023-46-4

4. Мамонтов В. Г. Классификация деградации почв степных агроландшафтов при орошении // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири. Монография в 5 томах. Том. II. Изучение и мониторинг процессов в почвах и водных объектах/ Под редакцией В.Г. Сычева, Л. М. Мюллера. - М.: Изд-во ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2018. -С. 165–169.
5. Ступакова Г.А., Лунев М.И., Игнатьева Е.Э. Метрологическое обеспечение при мониторинге засоленных почв // Международный сельскохозяйственный журнал. -2019. -№3. -С.69-71.
6. Мамонтов В.Г., Гладков А.А., Кузелев М.М. Практическое руководство по химии почв. Анализ водной вытяжки: Учебное пособие /Мамонтов В.Г., Гладков А.А., Кузелев М.М. -М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2012. – 22 с.
7. Базилевич Н.И., Панкова Е.И. Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов// Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. -1972. -№5. -С.36-49.
8. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. -М.: ФГНУ «РОСИНФОРМАГРОТЕХ», 2003. – 240 с.
9. Манжина С.А. К вопросу выявления химизма и степени засоления почв: российские и зарубежные практики // Мелиорация и гидротехника. -2021. -№ 3. -С. 163–181.
10. Пироговская Г.В., Хмелевский С.С. Содержание натрия, хлоридов и сульфатов в почвах г. Минска //Почвоведение и агрохимия. - 2010. - № 1. - С. 243-254.

ANALYSIS OF THE CATIONIC-ANIONIC COMPOSITION OF MEADOW-CHESTNUT SOLONETZIC-SALINE SOIL WITH DIFFERENT TYPES AND DEGREES OF SALINITY

G.A. Stupakova, E.E. Ignatieva, A.A. Lapushkina, T.I. Shchiptetsova
FGBNU All-Russian Research Institute named after D.N. Pryanishnikova
(FGBNU "VNI Agrochemistry"), 127434, Moscow, Pryanishnikova str., 31A

The article presents the results of the cation-anion composition of the aqueous extract from meadow-chestnut solonetzic-saline soil with different types and degrees of salinization. An assessment is given of the change in the content of components of the salt composition of the soil without and after long-term irrigation. After a twenty-year period after irrigation, an increase in the content of magnesium, sodium and sulfate ions by 3.2 times, a decrease in potassium ion by 3.6 times, chloride ion by 1.4 times, and an increase in alkalization of the soil environment was established. As a consequence, the type and degree of soil salinization changed. The main statistical indicators of soil fertility without and after irrigation are determined, and an assessment is given of the variability of the values obtained for each indicator.
Key words: saline soils, type and degree of salinization, standard samples.

УДК 631.415.2:633.72(213.1:470.62):631.82:631.86

DOI: 10.25680/S19948603.2025.143.15

ИЗМЕНЕНИЕ АГРОГЕННО-ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ПОЧВ ЧАЙНЫХ ПЛАНТАЦИЙ СУБТРОПИКОВ ПОСЛЕ СНЯТИЯ МНОГОЛЕТНЕЙ НАГРУЗКИ УДОБРЕНИЯМИ

Н.В. Козлова, к.б.н., Л.С. Малюкова, д.б.н., В.В. Керимзаде,
ФГБУН ФИЦ «Субтропический научный центр Российской академии наук»
354002, Россия, г. Сочи, ул. Я. Фабрициуса, 2/28, e-mail: kozlovanvagro@yandex.ru

Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания
ФИЦ СЦ РАН FGRW-2024-0001, № госрегистрации 12402200098-6.

Исследования проводили на базе длительного полевого многофакторного опыта с NPK-удобрениями на культуре чая на бурых лесных кислых почвах - основных для возделывания чая на Сочинском побережье Черного моря (влажные субтропики). За длительный период применения удобрений (1986-2011 г.) в широком диапазоне доз (70-270 и 120-600 кг N/га на молодой и полновозрастной плантации, 60-180 кг P₂O₅/га, 50-150 кг K₂O/га) был сформирован спектр в различной степени агрогенно-измененных почв. С 2012 г. внесение удобрений полностью прекратили. Провели сравнительный анализ урожайности, плодородия и вещественно-функционального состояния почв модельных плантаций чая на заключительном этапе внесения удобрений и спустя 8-10 лет их полной отмены. Основные тренды постагрогенных изменений представили в виде интегральной схемы, состоящей из трех блоков по основному влияющему фактору – отмена азотных, фосфорных и калийных удобрений. Наряду с падением урожайности чая и уровня обеспеченности почв питательными элементами и гумусом, ряд изменений были положительными с экологической точки зрения и демонстрировали постепенное самовосстановление агрогенно-преобразованных почв: ослабление степени агрогенного подкисления («раскисление») и частичное восстановление кислотно-основной буферности; возвращение к исходным гумусному и азотному уровням, баланс различных форм почвенного калия; частичная ремиссия биофункционального состояния почв.

Ключевые слова: агроценозы чая, минеральные удобрения, бурые лесные кислые почвы, агрогенные изменения, самовосстановление, кислотно-основные свойства, гумус, обеспеченность NPK-элементами, биофункциональное состояние.

Для цитирования: Козлова Н.В., Малюкова Л.С., Керимзаде В.В. Изменение агрогенно-преобразованных почв чайных плантаций субтропиков после снятия многолетней нагрузки удобрениями// Плодородие. – 2025. – №2. – С. 66-74. DOI: 10.25680/S19948603.2025.143.15.

Неблагоприятные экологические последствия интенсификации сельского хозяйства второй половины XX в. с длительным применением высоких доз минеральных удобрений и химических средств защиты растений определили необходимость разработки/совершенствования не только экономически выгодных, но и экологически безопасных агротехнологий [5, 15, 22]. В связи с этим широкое развитие получили вопросы рационального применения минеральных удобрений в управлении почвенным плодородием и устойчивостью агроценозов для исключения или ограничения агроприемов, ведущих к деградации почв. При этом изучаются различные агро-экологические аспекты длительного применения разных систем удобрения, а также их последствия [3, 20, 21, 27]; нормирования допустимой нагрузки на почвы при сельскохозяйственном использовании [28]; постагрогенной динамики свойств почв, возможности восстановления генетически-обусловленных характеристик после снятия/ослабления агрогенного прессинга (в т.ч. нагрузки удобрениями) или выведения земель из сельскохозяйственного обращения (например в процессе естественного лесовосстановления) в зависимости от характера сельскохозяйственного использования в прошлом, уровня достигнутых агрогенных изменений и нативных свойств почв [16, 25, 27].

Вопросы эффективного и экологичного землепользования особенно актуальны для влажно-субтропического региона России (сочинское Черноморское побережье Западного Кавказа) с уникальными для нашей страны, и при этом очень ограниченными почвенно-климатическими ресурсами, позволяющими возделывать здесь различные субтропические культуры. В первую очередь это касается чая – многолетней монокультуры (многие десятилетия на одном месте), чье выращивание приобрело промышленные масштабы в регионе с 1950-х годов и сопровождалось в разной степени интенсивным применением минеральных удобрений (от 100 до 300-500 кг д.в/га азотных, до 100-150 кг д.в/га фосфорных и калийных). В связи с этим ведутся системная научно-исследовательская работа по изучению различных эколого-агрохимических аспектов её возделывания, поиск разумного компромисса между экономической эффективностью и безопасностью технологических приемов. Проведена комплексная оценка влияния минеральных удобрений (в различных сочетаниях видов и доз) на плодородие почв, урожайность чая, качество сырья, адаптивность растений при различных погодных условиях. На основе этого разработана общая научная концепция оптимизации плодородия почв и применения удобрений на чае в субтропиках России [17], включающая современную зональную систему удобрения чая и методику почвенно-растительной диагностики. Разработана концептуальная модель эволюции плодородия почв в многолетних агроценозах чая при разных системах применения удобрений [14]. Всесторонне изучены различные аспекты агрогенной трансформации почв (вещественно-структурного и функционального состояния) в связи с различной

нагрузкой удобрениями [2, 7, 18, 19]. Они выражены в разной степени и связаны, с одной стороны, с дисбалансом макро-, мезо-микроэлементного состава, а с другой стороны, с подкислением исходно кислых почв в результате применения физиологически кислых азотных удобрений и роста содержания органических веществ (их кислотных компонентов) в почвах высокопродуктивных плантаций [8, 30]. Сильная степень ацидизации провоцирует спектр экологически неблагоприятных трансформаций почвы с существенными изменениями генетически обусловленных свойств и комплекса элементарных почвенных процессов (ЭПП), вплоть до морфологически выраженных изменений и смены классификационной принадлежности [7, 19], ведет к угнетению общей биофункциональной способности почв со снижением микробной биомассы и её активности, изменением структуры почвенных микробных комплексов [18].

Цель исследований - изучить характер изменений основных вещественно-функциональных свойств и плодородия агрогенно-преобразованных почв чайных плантаций после снятия многолетней нагрузки удобрениями, дать оценку их потенциальной способности к самовосстановлению.

Методика. Возможности для изучения особенностей трансформации почв чайных агроценозов на фоне различной многолетней нагрузки удобрениями и последующей её отмены предоставила фундаментальная база длительного (около 40 лет) 16-вариантного полевого опыта с NPK-удобрениями (№ 023 в реестре Географической сети опытов РФ; табл. 1). Почва бурая лесная кислая [6], наиболее широко используемая в регионе под чай; место расположения – окрестности пос. Уч-Дере (г. Сочи, Лазаревский р-н). За 26-летний период внесения удобрений (1986-2011 г.) в пределах опытной чайной плантации (сорт Колхида, закладка 1983 г.), начиная с молодого возраста, сформировались модельные мини-плантации с различными уровнями урожайности, плодородия и агрогенной трансформации почв. С 2012 г. вносить удобрения в опыте полностью прекратили с целью изучения различных аспектов их последствий, оценки стабильности/мобильности агрогенных изменений и способности почв к восстановлению после снятия нагрузки удобрениями. Этому способствовало наличие в опыте спектра почв, в различной степени агрогенно-преобразованных за длительный период активной эксплуатации с внесением удобрений.

Повторность в опыте 2-кратная, площадь опытных делянок – 50 м².

Провели сравнительный анализ урожайности, показателей плодородия и общего вещественно-функционального состояния почв (в слоях 0-20 и 20-40 см по вариантам опыта) на заключительном этапе внесения удобрений и 8-10-летней их отмены. Фоном служила естественная почва леса, граничащего с плантацией; технологическим контролем была часть той же плантации, регулярно удобряемая оптимальными дозами (N₂₄₀P₇₀K₉₀).

1. Дозы и суммарное количество внесенных НРК-удобрений в опыте

Доза, код	Азотные				Фосфорные		Калийные	
	Дозы, кг д.в/га				Дозы, кг д.в/га в год	Σ за 1986-2011 г., т д.в/га	Дозы, кг д.в/га в год	Σ за 1986-2011 г., т д.в/га
	1986-1988 г.	1989-1992 г.	1993-1999 г.	2000-2011 г.				
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	70	90	120	200	60	3,8	50	1,3
2	140	180	240	400	120	7,6	100	2,6
3	210	270	360	600	180	11,4	150	3,9

Исследовали кислотно-основной, гумусный, азотный, фосфатный и калийный статус, биологическую активность почв (по определенному набору показателей в каждом блоке), используя общепринятые классические лабораторные методы анализа [1, 23, 26]. Данные обобщали по группам вариантов опыта с одинаковыми дозами азотных, фосфорных, калийных удобрений (или их парных сочетаний) в описательной статистике Microsoft Excel (при $P = 0,95$). В диаграммах представлены средние значения (\pm стандартные отклонения) для каждой группы вариантов; код – количество одинарных доз N, P, K в период применения удобрений в опыте (согласно табл. 1).

Полученные по каждому блоку исследований результаты развернуто представлены в серии статей, ссылки на которые приведены в соответствующих разделах. Обобщение и системный анализ выявленных изменений во взаимосвязи между ними позволили определить основные тренды самовосстановления почв после отмены многолетней нагрузки удобрениями. Их сгруппировали по ведущему фактору (отмена азотных или фосфорных, или калийных удобрений) и затем представили в виде интегральной схемы.

Результаты и их обсуждение. Азотные удобрения (как их применение, так и отмена) влияют на продуктивность культуры чая и целый спектр почвенных свойств, как вещественных, так и функциональных: азотный статус, уровень гумусированности и условия гумусообразования, кислотно-основное состояние, активность, разнообразие и устойчивость микробного комплекса. Опосредованно (определяя урожайность и вынос элементов питания, изменяя кислотность почв и подвижность элементов) они также влияют на фосфатное и калийное состояние почв. Но в первую очередь изменения фосфатного и калийного режимов почвы связаны с применением/отменой фосфорных и калийных удобрений. Ниже резюмируем основные тренды изменений в связи с определяющим их фактором.

Отмена азотных удобрений привела к быстрому (уже на 2-3-й год) снижению урожайности ранее высокопродуктивных полновозрастных плантаций чая до уровня прежде никогда неудобрявшихся [9]. Вне зависимости от применявшихся ранее доз азотных удобрений на фоне 8-10 лет их последствий урожайность была одинаково низкой: в 2,5-3,3 раза ниже средней многолетней при применении удобрений; в 2 раза ниже, чем на части плантации, являющейся технологическим контролем – удобряемой в невысоких дозах ($N_{240}P_{70}K_{90}$), близких к одинарным (рис. 1а). Это связано с отсутствием ростостимулирующего влияния легкодоступного растениям азота удобрений и со снижением в 1,3-1,5 раза уровня

обеспеченности почв азотом (легкогидролизуемые и минеральные формы) до близкого к естественному под лесом [29]. Содержание гумуса, повышенное на фоне азотных удобрений в почве высокопродуктивных плантаций, снизилось на 0,8-1,3 % до уровня неудодрявшихся азотом вариантов N_0 (что ниже фона на 0,6 %) (рис. 1б). Это связано с падением объемов органических остатков при снижении продуктивности плантаций, с качеством ранее новообразованного органического вещества (слабая гумификация при высокой доле гумина, незрелость и высокая мобильность) [12]. На удобряемой части плантации ($N_{240}P_{70}K_{90}$ – технологический контроль) обеспеченность почвы азотом и гумусом поддерживалась на уровне (или даже выше) вариантов группы N_1 в период применения удобрений (рис. 1 б, в).

В отсутствии кислотоопределяющих компонентов физиологически кислых удобрений и при снижении количества кислотных компонентов органического вещества произошло частичное «раскисление» агрогенно-подкисленных почв, пропорционально ранее применявшимся дозам азота [8]: повышение $pH_{КС}$ на 0,2-0,3 ед., снижение общей потенциальной кислотности (Нобщ.) в 1,2-1,3 раза за счет снижения pH -зависимой (необменной) кислотности, при сохранении в 2-3 раза повышенной обменной кислотности (Нобм., обусловленной обменным Al) и в 1,5-3,5 раза пониженного в результате интенсивного выщелачивания содержания обменных оснований ($\Sigma Ca+Mg$) (рис. 2). Раскисление сопровождалось частичным восстановлением параметров кислотности-основности почв: увеличением на 25-30 % площади кислотной буферности (сниженной при подкислении в 2-2,5 раза), при повышении емкости алюминиевой буферной зоны и сохранении резервов железистой буферной зоны (задействованной при подкислении) [13].

Ранее угнетенное (под воздействием высоких доз и выраженного подкисления) биофункциональное состояние почв показало выраженную тенденцию к нормализации [11]. На этапе 10-летней ремиссии в отсутствии нагрузки удобрениями (и на фоне частичного раскисления) почвы чайных плантаций пока не достигли (были в 1,6-2 раза ниже) уровня показателей естественной почвы леса, но в сравнении с ежегодно удобряемой частью плантации (технологический контроль) имели уже более высокие уровни базального дыхания (в 1,1-1,5 раза), субстрат-индуцированного дыхания и общей микробной биомассы (в 1,7-2,2 раза), ферментативной активности (каталаза в 3-3,5 раза), микробный метаболический коэффициент (более низкие значения которого свидетельствуют о более высокой устойчивости микробного сообщества [26]) был в 1,4-1,8 раза ниже (табл. 2).

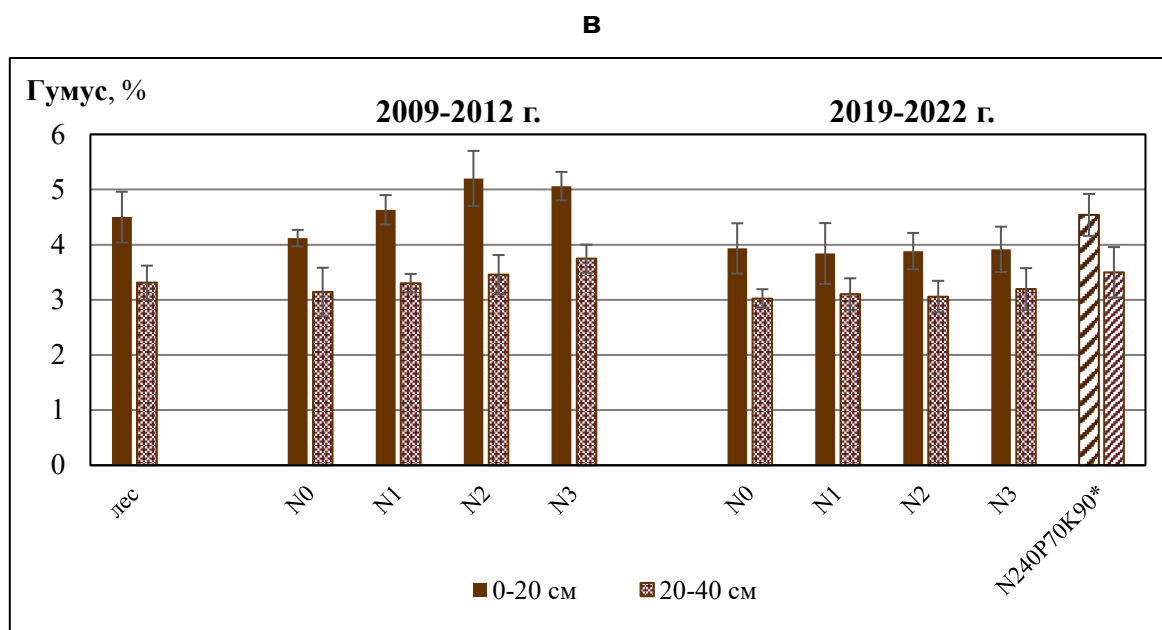
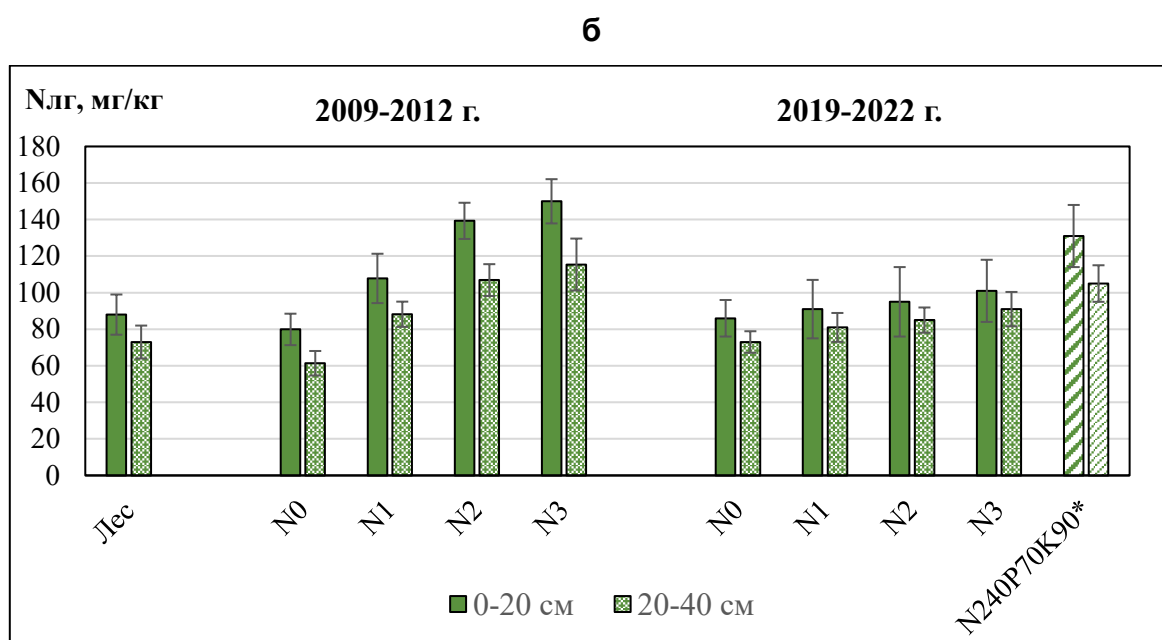
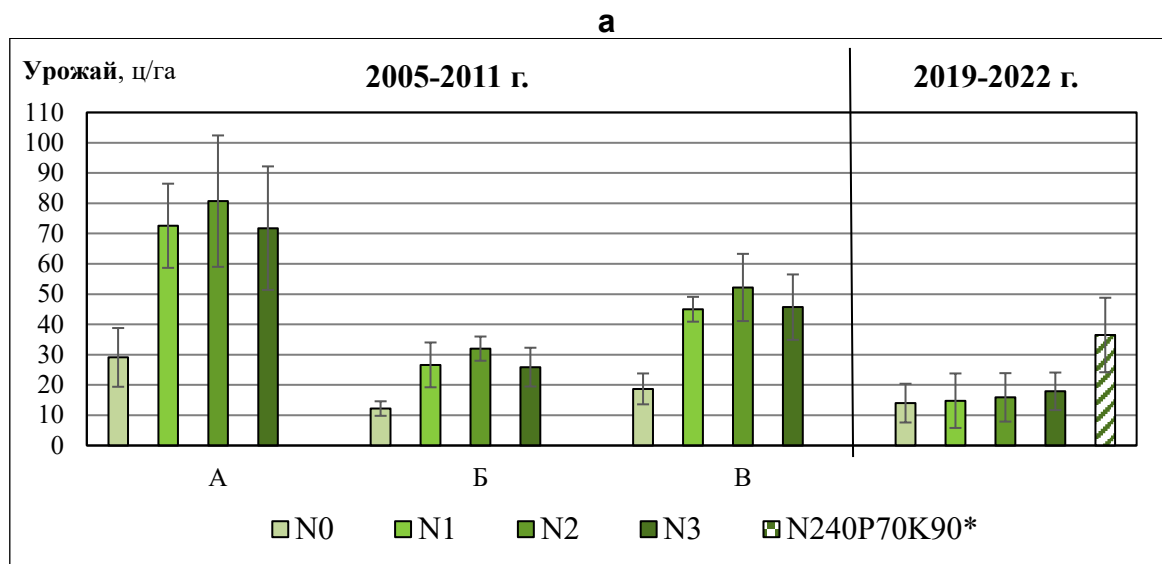


Рис. 1. Урожайность - а (А - при благоприятных погодных условиях; Б – при неблагоприятных; В – средняя) и обеспеченность почв чайных плантаций легкогидролизуемым азотом (б) и гумусом (в) при длительном применении азотных удобрений и их 8-10-летнем последствии

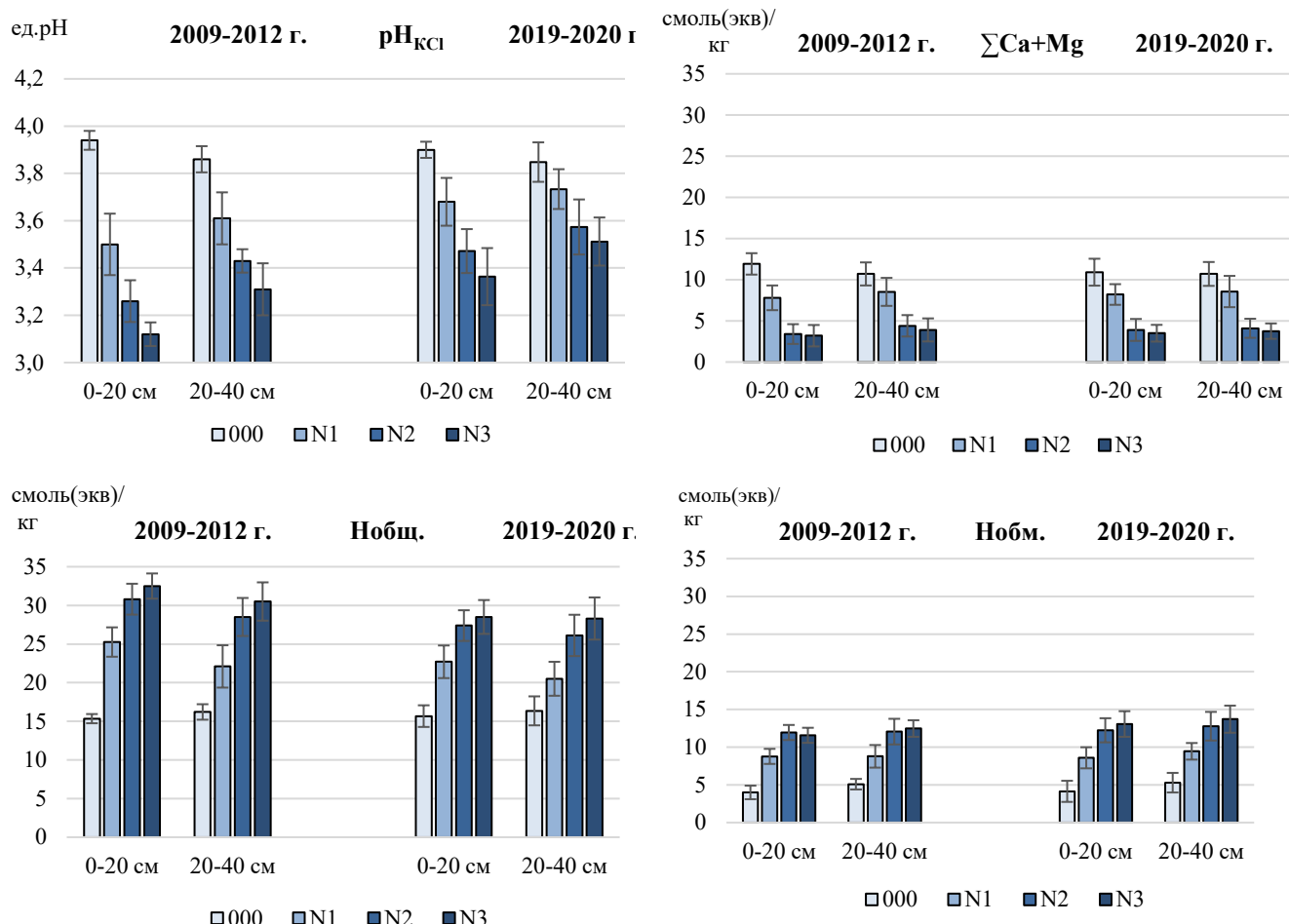


Рис. 2. Кислотно-основные свойства агрогенно-подкисленных почв модельных чайных плантаций до и после отмены удобрений

2. Биологическая активность почв чайных плантаций и леса (2021-2022 г., слой 0-20 см)

Вариант	рН _{KCl}	Базальное дыхание (БД), мкг CO ₂ -C /г почвы в час	Субстрат-индуцированное дыхание (СИД), мкг CO ₂ -C /г почвы в час	Микробная биомасса (С _{мик}), мкг С /г почвы	Метаболический коэффициент (qCO ₂), мкг CO ₂ -C /мг С _{мик} в час	Активность каталазы, мл O ₂ /г почвы в мин
Участок естественного лесного экосенноза (эталон)						
Лес	3,94 ± 0,06	1,6 ± 0,3 (1,3 – 2,0)	7,1 ± 0,3 (6,8 – 7,7)	577 ± 28 (554 – 623)	2,8 ± 0,6 (2,2 – 3,6)	6,3 ± 2,0 (4,3 – 8,2)
Чайная плантация, опытный участок в 10-летней консервации (без удобрений с 2012 г.)						
000	4,07 ± 0,10	1,2 ± 0,4 (0,7 – 1,7)	5,5 ± 1,1 (4,3 – 7,3)	442 ± 90 (343 – 588)	2,7 ± 1,0 (1,5 – 4,0)	2,2 ± 0,7 (1,6 – 2,9)
111	3,77 ± 0,13	0,9 ± 0,1 (0,8 – 1,0)	3,6 ± 0,9 (2,1 – 4,5)	291 ± 72 (172 – 364)	3,2 ± 0,7 (2,7 – 4,3)	1,6 ± 0,5 (1,0 – 2,2)
222	3,54 ± 0,15	1,1 ± 0,2 (0,8 – 1,2)	3,9 ± 1,0 (2,7 – 5,1)	312 ± 85 (222 – 411)	3,7 ± 1,1 (2,8 – 5,5)	2,1 ± 0,8 (1,3 – 3,1)
333	3,49 ± 0,22	1,5 ± 0,4 (1,0 – 1,9)	4,5 ± 1,4 (3,0 – 6,8)	362 ± 116 (245 – 553)	4,2 ± 0,8 (3,5 – 5,5)	2,0 ± 0,8 (1,4 – 3,1)
Регулярно удобряемая часть чайной плантации (технологический контроль)						
N ₂₄₀ P ₇₀ K ₉₀	3,23 ± 0,12	1,0 ± 0,1 (0,8 – 1,2)	2,1 ± 0,4 (1,5 – 2,6)	173 ± 32 (122 – 209)	5,9 ± 2,1 (4,0 – 9,4)	0,7 ± 0,5 (0,2 – 1,2)

Примечание. Даны средние (±) стандартные отклонения и интервал значений (в скобках) за период вегетации (март-октябрь).

Отмена фосфорных удобрений привела к 1,5-2-кратному снижению содержания подвижных фосфатов (ранее повышенного в 3-4 раза), но на фоне 8-10 лет последующего действия 2-3 доз оно все ещё в 1,5-2,2 раза превышало исходное (380/320 мг/кг при закладке опыта). Валовое содержание фосфора, выросшее относительно естественного фонового уровня (почва леса) в 1,3-1,8 раза при применении 1-3 доз Р-удобрений, в их отсутствии пока изменилось не существенно, при этом доля подвижных фосфатов в валовом фосфоре снизилась в 1,3-1,7 раза, по-видимому в связи с переходом в более

труднодоступные соединения (рис. 3)[10]. Степень подвижности фосфатов (по Карпинскому, Замятиной, в вытяжке 0,03 н. K₂SO₄), повышенная при применении удобрений от 2-4 до 10-15 раз относительно почвы леса, в их отсутствии снизилась в 2,5-4 раза: до фонового уровня (последствие одинарных доз) или пока все еще превышала его в 3-4,5 раза (последствие 2-3-х доз) [4]. При этом фосфатная буферность почв, сниженная в 1,3-1,6 раз в результате насыщения почв фосфором при применении удобрений, за 10-летний период их отмены существенно не изменилась. Во фракционном составе

минеральных фосфатов (по Чангу-Джексону) почв, ранее длительно удобрявшихся фосфорными удобрениями (в сочетании с НК), после их отмены сохранялись в 1,7-2,2 раза повышенное содержание Al-P-фракции (35-50 % относительно 20-25 % в почве леса) и в 1,5-4 раза сниженная доля Са-P-фракции (8-17 % относительно 25-30 %). Это согласуется с сохранением повышенного уровня

содержания обменного алюминия и выщелоченности обменных оснований (в первую очередь Са). При этом содержание и доля рыхлосвязанных фосфатов снизились в 3-5 раз (с 4-5 % при внесении удобрений до 1-2 %), что ожидаемо в отсутствии свежих поступлений легкоподвижных фосфатов из Р-удобрений.

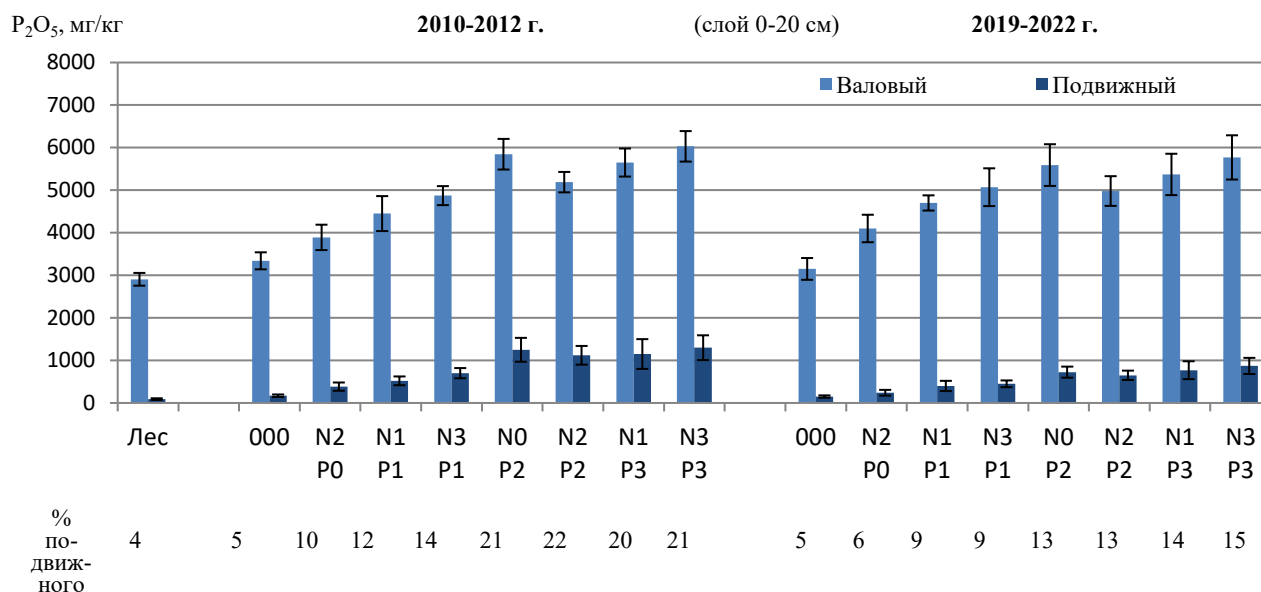


Рис. 3. Содержание и соотношение валового (по Гинсбург и др.) и подвижного (по Ониани) фосфора в почвах модельных чайных плантаций при длительном применении и после 8-10 лет отмены удобрений

Отмена калийных удобрений привела к существенному снижению содержания подвижного и легкодоступного калия (в 1,3-1,4 и 1,2-1,9 раза), ранее повышенного в результате применения 2-3-х доз калийных удобрений [29]. Общий запас потенциально доступного (кислоторастворимого) калия сохранился примерно на прежнем

уровне (в 1,2-1,3 раза выше естественного в почве леса), но в отсутствии новых поступлений калия удобрений доля необменно-фиксированной части калийного комплекса увеличилась (с 40-46 до 52-58 %) и стала преобладать над обменной, которая сократилась (в 1,2-1,4 раза) (рис. 4).

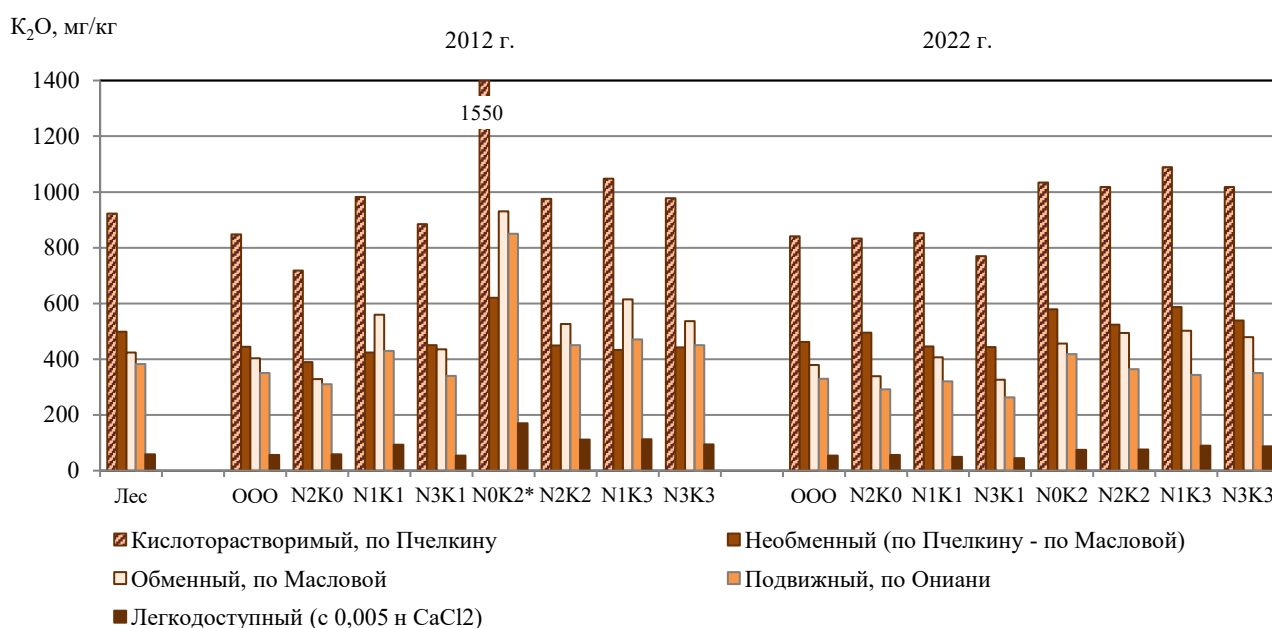


Рис. 4. Содержание и соотношение различных форм калия в почвах (0-20 см) модельных чайных плантаций при длительном применении и после 10 лет отмены удобрений

Резкое падение запаса калия (преимущественно за счет обменных форм) отмечено в ранее высоко продуктивных и низкоурожайных вариантах с применением калийных удобрений в отсутствии азотных (N_0K_2). Ранее дефицитные по калию почвы (на фоне интенсивного азотного питания при отсутствии калийного, N_2K_0), напротив, продемонстрировали некоторое пополнение калийных резервов (кислоторастворимого калия), по-видимому, за счет калия кристаллической решетки калий-

содержащих минералов. В целом изменения калийного статуса почв после снятия нагрузки удобрениями были направлены на постепенное возвращение к генетически обусловленному балансу различных форм почвенного калия, который характерен для каждой почвы [24].

Комплекс основных трендов постагрогенных изменений представлен в виде интегральной схемы, состоящей из трех блоков по основному влияющему фактору – отмена азотных, фосфорных, калийных удобрений (рис. 5).

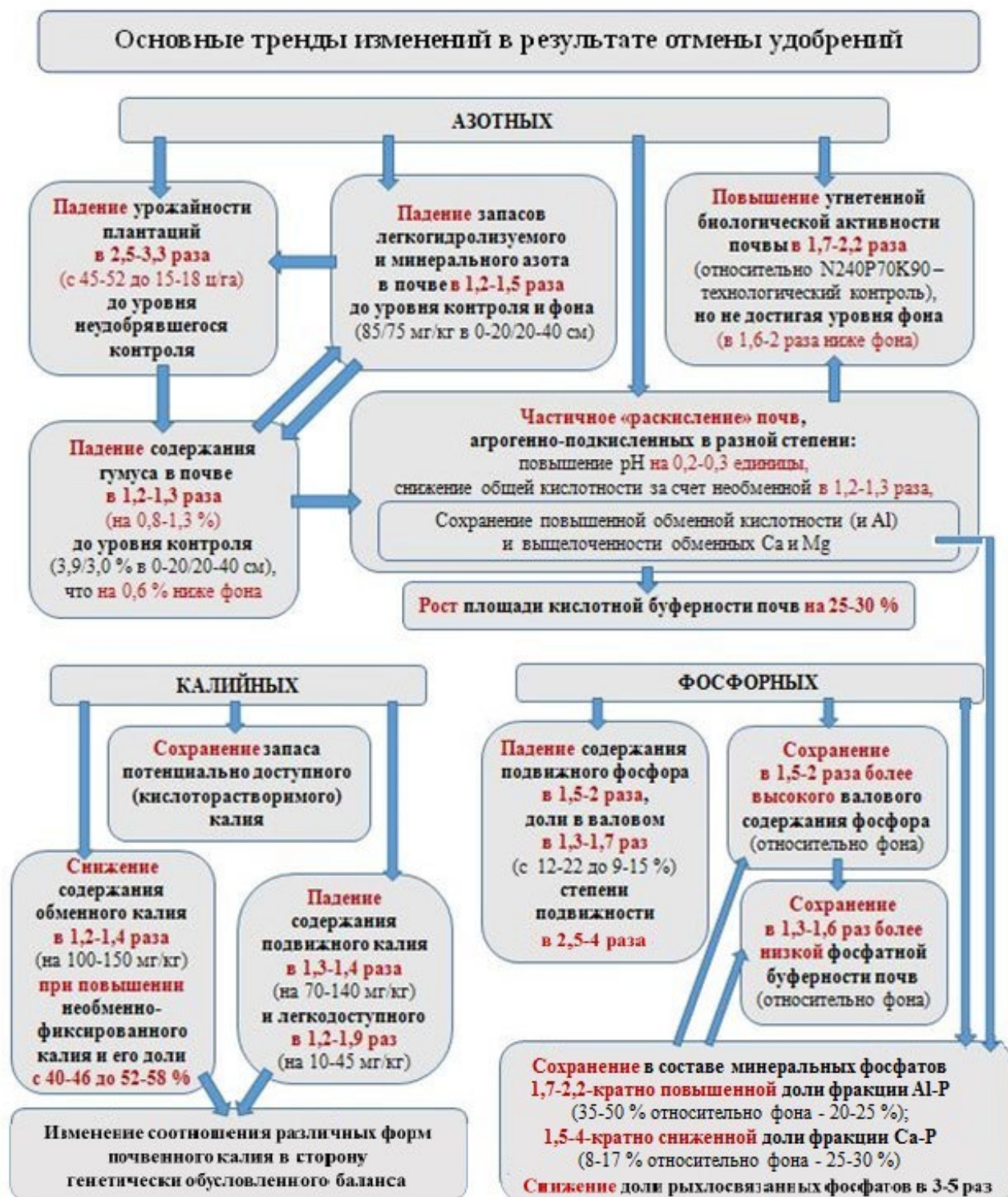


Рис. 5. Интегральная схема основных изменений агрогенно-преобразованных бурых лесных кислых почв чайных плантаций после 8-10 лет снятия многолетней нагрузки удобрениями

Изменения вещественно-функционального состояния почв модельных чайных плантаций опыта, выявленные за 8-10-летний период отмены удобрений, позволили оценить стабильность/мобильность ранее произошедших агрогенных изменений, темпы падения уровня плодородия, а также показали потенциальную способность агрогенно-преобразованных (даже в сильной степени) бурых лесных кислых почв к самовосстановлению после снятия многолетнего прессинга нагрузкой удобрениями.

Наряду с негативными последствиями длительной отмены применения минеральных удобрений при возделывании чая во влажных субтропиках России (падение урожайности, снижение уровня обеспеченности почв важнейшими биогенными макроэлементами и гумусом) ряд изменений состояния бурых лесных кислых почв являются положительными с экологической точки зрения. Они свидетельствуют о постепенном возвращении в разной степени агрогенно-преобразованных почв чайных плантаций к исходным генетически обусловленным характеристикам, свойственным почвам естественных лесных экоценозов. К таким изменениям относятся: частичное ослабление степени агрогенного подкисления («раскисление») и частичное восстановление кислотно-основной буферности; возвращение к исходным гумусному и азотному уровням; возвращение к типохарактерному равновесному калийному состоянию (содержанию и балансу различных форм почвенного калия); нормализация почвенного «здоровья» – частичная ремиссии биофункционального состояния (повышение биологической активности и устойчивости микробных сообществ). Это согласуется с результатами ряда исследований для агропочв других типов (в т.ч. дерново-подзолистых и серых лесных старопашотных почв южной тайги), показавших постепенное восстановление их основных характеристик и экологических функций на фоне длительного последствия или постагрогенной сукцессии (восстановление лесов) [3, 21, 25, 27].

Относительно устойчивыми агрогенными изменениями длительно удобрявшихся почв чайных плантаций, сохраняющимися после 8-10 лет снятия нагрузки удобрениями, можно считать: обогащенность почв обменным алюминием и обедненность обменными основаниями, повышенные запасы потенциально доступного (кислоторастворимого) калия и валового фосфора (зафосфаченность), пониженную фосфатную буферность, повышенную долю алюмофосфатов при сниженной доле фосфатов кальция во фракционном составе минеральных фосфатов.

Заключение. Исследования, проведенные в условиях влажных субтропиков РФ (Сочи) для серии в разной степени агрогенно-преобразованных бурых лесных кислых почв длительно удобрявшихся чайных плантаций, на этапе последующей 8-10-летней отмены удобрений, позволили выявить характер постагрогенных изменений (основные тренды и количественные показатели) плодородия и вещественно-функционального состояния почв. Наряду с падением урожайности чая (в 2,5-3,3 раза относительно средней многолетней) и уровня обеспеченности почв питательными элементами (легкогидролизуемый и минеральный азот в 1,3-1,5 раза, подвижные фосфор и калий, соответственно, в 1,5-2 и 1,3-1,4 раза) и гумусом (на 0,8-1,3 %), ряд изменений были положительными с экологической точки зрения и демонстрировали постепенное самовосстановление агрогенно-преобразованных почв в отсутствие многолетней нагрузки

удобрениями: ослабление степени агрогенного подкисления («раскисление» с повышением pH на 0,2-0,3 единицы, снижением общей потенциальной кислотности в 1,2-1,3 раза) и частичное восстановление кислотно-основной буферности (рост площади кислотной зоны на 25-30 %); возвращение к исходному гумусному и азотному уровням, баланс различных форм почвенного калия; частичная ремиссия биофункционального состояния почв (повышение показателей биологической активности в 1,7-2,2 раза относительно длительно удобряемого технологического контроля, но не достигая пока уровня естественной лесной почвы).

В отсутствие нагрузки удобрениями в почвах сохранялись: повышенный в 1,2-1,3 раза относительно фона (почвы леса) запас потенциально доступного калия; зафосфаченность (в 1,5-2 раза более высокое содержание валового фосфора) и пониженная в 1,3-1,6 раз фосфатная буферность; повышенная в 2-3 раза обменная кислотность, обусловленная алюминием, и пониженное в 1,5-3,5 раза содержание обменных оснований; 1,7-2,2-кратное преобладание фракции Al-P при сокращенной в 1,5-4 раза доли Са-P-фракции.

Литература

1. *Агрохимические методы исследования почв* / Под ред. А.В. Соколова. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
2. *Беседина Т.Д.* Агрогенная трансформация почв влажных субтропиков России под культурой чая. – Краснодар: Изд-во КубГАУ, 2004. – 169 с.
3. *Керимзаде В.В., Козлова Н.В.* Подвижный фосфор в почвах влажных субтропиков РФ на фоне длительного применения и последствия фосфорных удобрений в агроценозах чая // *Субтропическое и декоративное садоводство*. – 2023. – № 87. – С. 161-178. – DOI: 10.31360/2225-3068-2023-87-161-178
4. *Киришин В.И.* Экологические основы земледелия. – М.: Колос, 1996. – 366 с.
5. *Классификация и диагностика почв СССР*. – М.: Колос, 1977. – 224 с.
6. *Козлова Н.В., Керимзаде В.В.* Изменение кислотно-основных свойств агрогенно-подкисленных бурых лесных почв после снятия нагрузки удобрениями // *Агрохимический вестник*. – 2021. – № 5. – С. 46-53. – DOI: 10.24412/1029-2551-2021-5-009
7. *Козлова Н.В., Керимзаде В.В.* Урожайность чая высокопродуктивного интенсивного сорта Колхида при длительном отказе от применения минеральных удобрений // *Субтропическое и декоративное садоводство*. – 2020. – № 75. – С. 131-140.
8. *Козлова Н.В., Керимзаде В.В.* Фосфатный статус почв при длительном применении и после отмены минеральных удобрений в чайных агроценозах влажных субтропиков России // *Агрохимический вестник*. – 2023. – № 5. – С. 60-67. – DOI: 10.24412/1029-2551-2023-5-011
9. *Козлова Н.В., Керимзаде В.В.* Функциональная активность почв чайных плантаций после снятия нагрузки удобрениями // *Агрохимический вестник*. – 2022. – № 4. – С. 55-60. – DOI: 10.24412/1029-2551-2022-4-010
10. *Козлова Н.В., Малокова Л.С.* Динамика содержания гумуса в почвах чайных плантаций субтропиков России при длительном применении минеральных удобрений и без них // *Плодородие*. – 2022. – № 3. – С. 52-57. – DOI: 10.25680/S19948603.2022.126.15
11. *Козлова Н.В., Малокова Л.С., Керимзаде В.В.* Восстановление буферных свойств агрогенно-измененных почв в отсутствие подкисляющей нагрузки удобрениями // *Плодородие*. – 2022. – № 6. – С. 63-69. – DOI: 10.25680/S19948603.2022.129.17
12. *Козлова Н.В., Малокова Л.С., Керимзаде В.В.* Концептуальная модель эволюции плодородия бурых лесных кислых почв чайных плантаций влажных субтропиков России при агрогенном воздействии. – Сочи: ФИЦ СНИЦ РАН, 2020. – 76 с. – ISBN: 978-5-904533-33-5.
13. *Кудеярлов А.Ю., Никитишин В.И.* Экологические последствия интенсификации сельского хозяйства // *Агрохимия*. – 1988. – № 8. – С. 125-129.
14. *Курганова И.Н., Телесина В.М., Лопес де Герено В.О., Лычко В.И., Караванова Е.И.* Динамика пулов углерода и биологической активности агродерново-подзолов южной тайги в ходе постагрогенной эволюции // *Почвоведение*. – 2021. – № 3. – С. 287-303. – DOI: 10.31857/S0032180X21030102
15. *Малокова Л.С.* Оптимизация плодородия почв и применения минеральных удобрений при выращивании чая в России. – Сочи, 2014. – 416 с.
16. *Малокова Л.С., Рогожина Е.В., Струкова Д.В.* Биологическая активность агрогенно-измененных почв влажных субтропиков России. – Сочи: ФИЦ СНИЦ РАН, 2023. – 286 с.

17. Малокова Л.С., Рынди́н А.В., Козлова Н.В. Особенности агрогенной трансформации бурых лесных кислых почв чайных плантаций // Вестник РАСХН. – 2008. – № 4. – С. 26-27.
18. Мерзлая Г.Е. Исследование устойчивости агроценозов при длительном применении удобрений на дерново-подзолистой почве // Почвоведение. – 2021. – № 3. – С. 355-362. – DOI: 10.31857/S0032180X21030126
19. Минеев В.Г., Козлова Ю.Е., Кураков А.В., Гомонова Н.Ф., Звягинцев Д.Г. Последствие минеральных удобрений на микробиологические и агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы // Доклады РАСХН. – 2001. – № 4. – С. 19-21.
20. Минеев В.Г., Ремне Е.Х. Экологические последствия длительного применения повышенных и высоких доз минеральных удобрений // Агрохимия. – 1991. – № 3. – С. 35-49.
21. Практикум по агрохимии: учебн. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. академика РАСХН В.Г. Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
22. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. – М.: Лесдум, 2000. – 185 с.
23. Рыжова И.М., Телесина В.М., Ситникова А.А. Динамика свойств почв и структуры запасов углерода в постагрогенных экосистемах в процессе естественного лесовосстановления // Почвоведение. – 2020. – № 2. – С. 230-243. – DOI: 10.31857/S0032180X20020100
24. Семенов А.М., Семенова Е.В. Практическое определение функциональной активности почвенной экосистемы. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2018. – 32 с.
25. Фрид А.С. Методические подходы к разработке нормативов изменений структурно-функциональных свойств почв, почвенных процессов в зависимости от характера и интенсивности антропогенного воздействия и глобального изменения климата с целью корректировки агротехнологий // Агрохимия. – 2009. – № 10. – С. 70-76.
26. Kozlova N.V., Malyukova L.S. Change in the soils' fertility level of tea agro-cenoses in the transition to cultivation without mineral fertilizers in the humid-subtropical zone of Russia // E3S Web of Conferences. – 2021. – 254. – 05009.
27. Yang X., Ni K., Shi Y., Yi X., Zhang Q., Fang L., Ma L., Ruan J. Effects of long-term nitrogen application on soil acidification and solution chemistry of a tea plantation in China // Agriculture, Ecosystems & Environment. – 2018. – Vol. 252. – P. 74-82.

THE MAIN TRENDS OF RETRIEVING AGROGENICALLY-TRANSFORMED SOILS OF TEA PLANTATIONS IN THE RUSSIAN SUB-TROPICS AFTER REMOVAL OF A LONG-TERM LOAD OF FERTILIZERS

**N.V. Kozlova – Candidate of Biological Sciences, L.S. Malyukova – Doctor of Biological Sciences, professor RAS, V.V. Kerimzade
Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences,
354002, Russia, Sochi, st. J.Fabricius, 2/28, e-mail: kozlovanvagro@yandex.ru**

The research was conducted on the basis of long-term field multifactorial experience with NPK-fertilizers on tea crop, on brown forest acidic soils as the main ones for tea cultivation on the Sochi coast of the Black Sea (humid subtropics). Over a long period of fertilizer application (1986-2011) in a wide range of doses (70-270 and 120-600 kg N/ha on a young and full-aged plantation, 60-180 kg P₂O₅/ha, 50-150 kg K₂O/ha), a spectrum of soils with varying degrees of agrogenic modification was formed. Since 2012, fertilization application has been completely stopped. A comparative analysis of the crop yield, fertility and material-functional state of soils of model tea plantations was conducted at the final stage of fertilizer application and after 8-10 years of their complete cancellation. The main trends of postagrogenic changes were presented in the form of an integrated scheme consisting of 3 blocks for the main influencing factor - the abolition of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers. Along with a drop in tea yields and the level of soil availability of nutrients and humus, a number of changes were positive from an ecological point of view and demonstrated gradual self-healing of agrogenically transformed soils: weakening of the degree of agrogenic acidification ("deoxidation") and partial restoration of acid-base buffering; return to the original humus and nitrogen levels, balance of various forms of soil potassium; partial remission of the biofunctional state of soils. Keywords: tea agro-cenoses, mineral fertilizers, brown forest acidic soils, agrogenic changes, self-healing, acid-base properties, humus, NPK-elements supply level, biofunctional state.