Н. В. Козлова, зав. лаб., к. б. н.,
В. В. Керимзаде, мнс
ФГБНУ ВНИИЦиСК, г. Сочи
agro-pochva@vniisubtrop.ru

УДК 631.415.2:633.72(213.1:470.62)

DOI 10.31676/2073-4948-2018-53-138-146

ДИНАМИКА АЗОТНОГО ФОНДА БУРЫХ ЛЕСНЫХ КИСЛЫХ ПОЧВ ВЛАЖНЫХ СУБТРОПИКОВ РОССИИ В МНОГОФАКТОРНОМ ПОЛЕВОМ ОПЫТЕ С УДОБРЕНИЯМИ НА КУЛЬТУРЕ ЧАЯ

Резюме. Представлены особенности изменения обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом при длительной (27-лет) эксплуатации чайных плантаций с применением различных сочетаний доз NPK (16 вариантов). Наиболее целесообразным являлось применение одинарных доз азотных удобрений (70-90 и 120-200 кг д.в./га - на молодых и полновозрастных плантациях), которое поддерживало бездефицитный баланс азота в агроэкосистеме и азотный статус почв на среднем уровне (7-9 мг/100 г), обеспечивая достаточно высокую среднюю многолетнюю урожайность чая (40-47 ц/га). Двойные и тройные дозы вели к непроизводительному расходу азота при росте продуктивности плантаций и обеспеченности почв, но несопоставимом с 2-4-кратным ростом профицита баланса. Содержание азота в почве (0-20 см) в среднем росло на 0,6 мг/100 г на каждую тонну азота, внесенного с удобрениями.

Ключевые слова: бурые лесные кислые почвы, чайная плантация, минеральные удобрения, легкогидролизуемый азот, хозяйственный баланс.

Summary. The peculiarities of the change in the availability with easily hydrolyzed nitrogen in soils are presented for a 27 year-old tea plantations on the long-term multifactorial field experiment of 16 NPK fertilizers combinations. The most expedient was the application of moderate doses nitrogenous fertilizers (70-90 and 120-200 kg/ha - for young and for mature tea plantations, respectively), which supported a deficit-free nitrogen balance in the agroecosystem and the nitrogen status of soils at an average level (7-9 mg/100 g), providing a high mean annual yield of tea amounted to 4000-4700 kg/ha. Double and triple doses led to an unproductive nitrogen consumption with a certain increase in plantation productivity and soil availability, which is not comparable with a 2-4 fold increase in the balance surplus. The nitrogen content in the 0-20 cm soil layer on the average increased by 0,6 mg/100 g per 1000 kg N/ha applied with nitrogenous fertilizers.

Keywords: brown forest acid soils, tea plantation, mineral fertilizers, easily hydrolyzed nitrogen, nutrient balance.

Азот играет ведущую роль в системе минерального питания листосборной культуры чая. Ежегодный вынос его с урожаем 5000-8000 кг/га зеленого чайного листа составляет 55-100 кг/га; значительное количество отчуждается из почвы и закрепляется в биомассе растений – в среднем 870 кг N/га для полновозрастной плантации [1]. Чаепригодные почвы влажно-

субтропической зоны России характеризуются исходно низкой обеспеченностью доступным азотом (2,5-6 мг/100 г в верхних слоях), что, учитывая высокую потребность в нем растений чая, приводит к необходимости дополнительного внесения удобрений. В зависимости от возраста и продуктивности плантаций, обеспеченности почв рекомендовались дозы 75-350 и до 500 кг д.в. N/га [1, 2]. В мировой практике встречается внесение ещё более высоких доз азота – до 800 кг д.в./га (Япония) [3].

Однако длительное применение высоких доз азотных удобрений, повышая урожайность плантаций и обеспеченность почв (и растений) азотом, провоцирует развитие acidизации почв и связанного с ней комплекса деградиционных процессов [4, 5]. Установлено, что на каждую тонну азота (д.в./га), внесенного с удобрениями, снижение pH_{KCl} в слое 0-20 см составляет 0,07-0,1 единицы [6]. С другой стороны, при отсутствии азотных удобрений резко падает как продуктивность плантаций, так и уровень доступного азота в почве. Ещё деструктивнее на агроэкосистему сказывается их длительное полное отсутствие, что, к сожалению, встречается в современном чаеводстве РФ.

Изучение динамики формирования азотного статуса почв при различных режимах эксплуатации чайных плантаций необходимо для эффективного регулирования почвенного плодородия и продуктивности культуры, экономически и экологически обоснованного применения удобрений в условиях субтропической зоны России. При этом наиболее достоверные и информативные данные могут быть получены в строго контролируемых условиях специального полевого опыта с фиксированными нагрузками удобрениями, где каждый вариант представляет собой модельную мини-агроэкосистему.

Опыт был заложен на молодой плантации чая интенсивного сорта Колхида (1983 г. посадки), в наиболее высокобонитетной (согласно литературным данным [7]) по почвенно-климатическим условиям подзоне чаеводства, на бурой лесной кислой почве (г. Сочи, п. Уч-Дере, ЗАО «Дагомысчай»). В течение 27 лет (1986-2012 гг.) изучали 16 вариантов различных сочетаний доз NPK (в градациях 0, 1, 2, 3 единичные дозы): 000, 022, 002, 020, 111, 133, 113, 131, 200, 220, 202, 222, 331, 313, 311, 333. Повторность 2-кратная, размер опытных делянок – 50 м². Единичные дозы азотных удобрений росли по мере развития плантаций с шагом 70-90-120-200 кг д.в./га в 1986-1989-1993-2000 гг.; для фосфорных и калийных удобрений не изменялись – 60 и 50 кг д.в./га, соответственно. В целом диапазон изучаемых доз составил от 0 до N 600, P 180, K 150 кг д.в./га. Анализировались многолетние данные по содержанию в почве легкогидролизуемого азота (по Тюрину и Кононовой, согласно литературным данным [8]), ежегодно контролируемого в слоях 0-20 и 20-40 см в ранневесенний период. Он представляет собой совокупность минеральных (нитратных

и аммонийных) и органических легкогидролизуемых форм, является диагностическим показателем почвенного плодородия для многолетней культуры чая [1]. Динамику показателей оценивали в сравнении с исходным содержанием и контролем (000 – без удобрений). Обработку данных вели методами корреляционного и регрессионного анализов, описательной статистики в программах Microsoft Excel, «Агрохимия» (при $P = 0,95$). В диаграммах представлено среднее $\pm$ стандартное отклонение. Учитывали также хозяйственный баланс азота в модельных агросистемах по данным Л. С. Малюковой [9].

Ведущая роль азотных удобрений в повышении уровня обеспеченности почв чайных плантаций легкогидролизуемым азотом подтверждена существенными связями, где коэффициенты корреляции и коэффициенты перед дозами азота в уравнениях регрессии растут по мере роста доз и длительности внесения азотных удобрений в опыте (табл. 1).

Таблица 1.

Регрессионная и корреляционная связь содержания легкогидролизуемого азота (мг/100 г) в почвах модельных чайных плантаций с дозами NPK

Период, гг.	Уравнения регрессии (для слоя 0-20 см)	R^2	Коэффициенты корреляции		
			N	P	K
1987-1989	$N_{лг} = 6,55 + \mathbf{0,97 N} - 0,19 K^2 - 0,20 NP + 0,34 PK$	0,93	0,82	0,44	0,12
1990-1993	$N_{лг} = 7,42 + \mathbf{0,30 N}^2$	0,76	0,82	0,16	0,37
1994-1997	$N_{лг} = 6,51 + \mathbf{0,57 N}$	0,68	0,83	0,28	0,19
1998-2000	$N_{лг} = 8,10 + \mathbf{0,95 N}^2$	0,70	0,83	0,06	0,11
2001-2004	$N_{лг} = 7,34 + \mathbf{1,48 N}$	0,80	0,90	0,10	0,14
2005-2008	$N_{лг} = 6,07 + \mathbf{2,25 N} - 0,35NP - 0,25NK + 0,29 PK$	0,92	0,89	0,09	0,24
2009-2012	$N_{лг} = 8,03 + \mathbf{3,28 N} - 0,34 NK$	0,96	0,96	0,15	0,06

Примечание: NPK – 0, 1, 2, 3 одинарные дозы удобрений; $F_{факт.} > F_{теор.}$

В связи с этим динамика показателей в многолетнем ряду (рис. 1) и с разбивкой по 3-4-летним этапам исследования (рис. 2) представлена и обсуждается по группам вариантов с различными дозами азотных удобрений (в сочетании с PK): без азотных удобрений (N0), одинарными (N1), двойными (N2), тройными (N3).

Перед закладкой плантации, после окультуривания почвы обеспеченность основного корнеобитаемого слоя (0-40 см) легкогидролизуемым азотом была в среднем на уровне 9-11 мг/100 г. В течение первых 10-12 лет опыта на этапе развития молодой чайной плантации происходило общее снижение

его содержания, более или менее выраженное в зависимости от доз азотных удобрений (рис. 1). Это связано с большой потребностью в азоте при формировании растущей биомассы молодых растений, отчуждении и закреплении его в скелетных частях, которая лишь частично удовлетворялась даже тройными дозами азота.

Рис. 1. Динамика обеспечения почв модельных чайных плантаций легкогидролизующим азотом в зависимости от доз азотных удобрений.

Рис. 2. Среднее содержание легкогидролизующего азота в почве на фоне различных доз азотных удобрений по периодам исследования.

В дальнейшем в почве контрольного варианта (000) и вариантов без внесения азотных удобрений (группа N0) содержание легкогидролизующего азота варьировало в среднем в диапазоне 6-8 и 4-6 мг/100 г (в 0-20 и 20-

40 см, соответственно), т. е. на уровне в 1,5-2 раза ниже исходного (рис. 1, 2). Отсутствие дополнительного поступления азота с удобрениями определило его отрицательный хозяйственный баланс и низкую продуктивность таких модельных плантаций (табл. 2) при недостаточном азотном питании.

Таблица 2.

Хозяйственный баланс азота по вариантам опыта за период 1986-2010 гг., кг/га (1 – общий; 2 – среднегодовой) [9]

Вариант, код NPK	Урожай		Вывос		Поступление		Баланс	
	1	2	1	2	1	2	1	2
000 контроль	52133	1961	587	26	0	0	-587	-26
002	61411	2222	693	27	0	0	-693	-27
020	74183	2821	859	35	0	0	-859	-35
111	130129	4727	1621	66	3590	144	1970	78
113	109371	4022	1354	48	3590	144	2236	96
200	148439	5241	1878	78	7180	287	5302	209
222	147905	5289	1847	75	7180	287	5333	212
311	149776	5499	1911	81	10770	431	8859	350
333	163187	5838	2072	83	10770	431	8698	348

При внесении одинарных доз азотных удобрений (растущих в ходе опыта от 70 до 200 кг д.в./га) в почве поддерживалось содержание легкогидролизуемого азота на уровне 7-9 и 5-7 мг/100 г (в 0-20 и 20-40 см) и лишь на заключительном этапе эксперимента достигло исходного уровня 9-11 мг/100 г (рис. 1, 2). Профицит хозяйственного баланса азота в таких агросистемах составлял менее 100 кг/га в год, а средняя урожайность и валовой сбор превосходили контроль в 2-2,5 раза (табл. 2) [9].

Внесение азотных удобрений в двойных и тройных дозах уже на этапе молодой плантации (соответственно 140-180 и 210-270 кг д.в./га) поддерживало содержание легкогидролизуемого азота на более высоком уровне – 8-10 и 6-8 мг/100 г (в 0-20 и 20-40 см). Для полновозрастных плантаций дозировки азотных удобрений выросли до 240-400 (N2) и 360-600 (N3) кг д.в./га. Это обеспечило постепенный рост содержания азота до 10-12 мг/100 г, а в итоге – до 14-16 мг/100 г в почвенном слое 0-20 см (рис. 1, 2), что оценивалось как высокий уровень обеспеченности. Однако при росте урожайности не более чем в 1,5 раза по сравнению с одинарными дозами, отмечался 2-4-кратный рост профицита баланса азота (табл. 2) [9], что указывало на его непроизводительные расходы. При повышении содержания легкогидролизуемого азота,

четко прослеживалось увеличение в его составе доли минеральных форм (с преобладанием аммиачной) – до 52-70 % по сравнению с 40-45 % в почвах без внесения азотных удобрений [10]. При этом содержание минерального азота увеличивалось и в нижележащих слоях, что говорит как о возросшем уровне доступного азота, так и повышенной опасности его потерь.

Влияние доз и длительности применения азотных удобрений на степень и скорость изменения обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом более наглядно видно по динамике отклонения показателей от контрольного уровня (вар-т 000) (рис. 3, 4).

Рис. 3. Динамика формирования различий с контролем по содержанию легкогидролизуемого азота в почве в зависимости от доз азота

Рис. 4. Средние отличия содержания легкогидролизуемого азота в почве модельных плантаций от контроля, по периодам исследования

Линии аппроксимации демонстрируют относительно постоянный уровень превышения показателей по сравнению с контролем для всех удобряемых

азотом вариантов в течение первого десятилетия возделывания молодой чайной плантации (рис. 3). При этом наиболее высоким (около 2,5 мг/100 г) он ожидаемо был на фоне тройных доз. В дальнейшем ход линий показывает нарастающие темпы накопления азота после перехода на дозы 240 (N2) и 360 (N3) кг д.в./га в 1993 г. и тем более 400 (N2) и 600 (N3) кг д.в./га в 2000 г. На фоне одинарных доз азота некоторый рост отличий с контролем проявляется только после перехода на дозу 200 кг д.в./га в 2000 году. Итоговые различия с контролем по группам вариантов N1–N2–N3 за 27-летний период в среднем составили 3 – 6 – 7 и 2,5 – 4,5 – 5,5 мг/100 г в слоях 0-20 и 20-40 см (рис. 4) при общем количестве внесенных азотных удобрений 3,8 – 7,6 – 11,4 т д.в./га соответственно.

Характер изменения обеспеченности почв модельных чайных плантаций азотом в ходе полевого эксперимента может быть выражен с помощью полиномиальных аппроксимирующих функций (табл. 3). Общий тренд изменений (рис. 5) позволяет говорить о росте содержания легкогидролизуемого азота в среднем на 0,6 мг/100 г в слое почвы 0-20 см на каждую тонну азота, внесенного с удобрениями.

Рис. 5. Рост обеспеченности легкогидролизуемым азотом верхнего слоя почв (0-20 см) в зависимости от общего количества азотных удобрений (по средним в группах вариантов с 1-2-3-ми дозами азота).

Таблица 3.

Динамика изменения обеспеченности почв (0-20 см) легкогидролизуемым азотом (мг/100 г) в зависимости от доз и длительности применения азотных удобрений

Группы вариантов	Аппроксимирующая функция, (R^2)	
	Фактические показатели	Отклонение от контроля
N 1	$N_{лг} = 11 - 0,56 x + 0,02 x^2$ (0,43)	$N_{лг} = 1,19 - 0,13 x + 0,01 x^2$ (0,55)
N 2	$N_{лг} = 11 - 0,51 x + 0,02 x^2$ (0,53)	$N_{лг} = 1,43 - 0,12 x + 0,01 x^2$ (0,74)
N 3	$N_{лг} = 11 - 0,37 x + 0,02 x^2$ (0,58)	$N_{лг} = 2,52 - 0,13 x + 0,01 x^2$ (0,64)

Примечание: x – количество лет; R^2 – достоверность аппроксимации

Таким образом, в условиях многофакторного полевого опыта с удобрениями был изучен общий характер и скорость изменения обеспеченности почв азотом при разных схемах удобрения чая во влажных субтропиках России. Оценка азотного режима почв в сопряжении с продуктивностью чая и хозяйственным балансом элемента показала целесообразность длительного ежегодного внесения доз 70-90 и 120-200 кг д.в. N/га – соответственно на молодых и полновозрастных плантациях (в сочетании с необходимыми дозами РК).

Список использованной литературы

1. Малюкова Л. С., Козлова Н. В., Притула З. В. Система удобрения плантаций чая в субтропиках России. – Сочи: ВНИИЦиСК, 2010. – 45 с.
2. Алексеева Т. П. и др. Методические указания по технологии возделывания чая в субтропической зоне Краснодарского края. – Сочи: НИИ горного садоводства и цветоводства, 1977. – 47 с.
3. Owuor P. O., Othieno C. O., Kamau D. M., Wanyoko J. K. Effects of long-term fertilizer use on a high-yielding tea clone ANPS15/10: soil pH, mature leaf nitrogen, mature leaf and soil phosphorus and potassium // International Journal of Tea Science, 2011-2012. – Vol. 8(1). – P. 15-51.
4. Малюкова Л. С., Рындин А. В., Козлова Н. В. Особенности агрогенной трансформации бурых лесных кислых почв чайных плантаций // Вестник РАСХН, 2008. – № 4. – 26-27.
5. Козлова Н. В. Состояние бурых лесных кислых почв чайных плантаций при длительном применении минеральных удобрений в субтропиках России: Автореф. дисс. ... к.б. наук. – М., 2008. – 24 с.
6. Козлова Н. В., Керимзаде В. В. Скорость агрогенной ацидизации бурых лесных почв чайных плантаций в условия влажных субтропиков России // Плодоводство и ягодоводство России, 2017. – № 51. – С. 259-267.
7. Беседина Т. Д. Агрогенная трансформация почв Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа при использовании под субтропические культуры: Дисс. ... д. с.-х. наук. – Краснодар, 2004. – 313 с.

8. Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
9. *Малюкова Л. С.* Оптимизация плодородия почв и применения минеральных удобрений при выращивании чая в России. – Сочи: ВНИИЦиСК, 2014. – 416 с.
10. *Козлова Н. В., Малюкова Л. С., Керимзаде В. В.* Особенности азотного режима почв чайных плантаций субтропиков России // Субтропическое и декоративное садоводство, 2010. – Вып. 43. – Т. 1. – С. 21–33.

N. V. Kozlova, V. V. Kerimzade

Federal State Budgetary Scientific Institution «Russian Research Institute
of Floriculture and Subtropical Crops», Sochi

**DYNAMICS OF NITROGEN STOCK OF BROWN FOREST ACIDIC SOILS UNDER
TEA CULTURE IN A MULTIFACTORIAL FIELD EXPERIMENT
WITH FERTILIZERS IN HUMID SUBTROPICS OF RUSSIA**