

Глава 8.

АГРОХИМИЯ И ПОЧВОВЕДЕНИЕ

УДК 631.415.2:633.72(213.1:470.62)

doi: 10.31360/2225-3068-2019-69-173-183

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ
ПРИ МНОГОЛЕТНЕМ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЧАЯ
В СУБТРОПИКАХ РОССИИ**

Козлова Н. В.

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур»,
г. Сочи, Россия, e-mail: agro-pochva@vniisubtrop.ru*

Представлен анализ 27-летнего массива данных длительного полевого многофакторного опыта с удобрениями (НРК) на культуре чая. Показана многолетняя динамика изменений кислотно-основного и азотного статуса бурых лесных кислых почв в связи с нагрузкой азотными удобрениями, балансом азота и урожайностью плантаций. Определены оптимальные дозы азотных удобрений, позволяющие при многолетнем режиме применения достичь разумный компромисс между экономической целесообразностью и экологической обоснованностью. Показано, что дозы азота 70–90–120–200 кг д.в./га (в течение 3–4–7–13 лет, соответственно) обеспечили получение достаточно высокой продуктивности плантаций (и качества сырья) при поддержании среднего уровня обеспеченности и бездефицитного баланса азота; агрогенная ацидизация почв не превысила допустимую среднюю степень в то же время повысив их потенциальное плодородие для чая.

Ключевые слова: чайная плантация, бурые лесные кислые почвы, азотные удобрения, легкогидролизуемый азот, кислотно-основные свойства, ацидизация, многолетний мониторинг.

Для поддержания актуального плодородия почв и высокой продуктивности чайных плантаций необходимым фактором является регулярное применение минеральных удобрений, в первую очередь, азотных. Именно азот, являющийся регулятором активности внутренних стимуляторов роста растений, играет особую роль для листосборной культуры чая. При этом он, как правило, находится в первом минимуме в ряду элементов питания, поскольку чаепригодные почвы субтропической зоны России исходно бедны азотом, а переходящий из года в год его запас в них не формируется (в отличие от фосфора и калия). Создание достаточного уровня легкодоступного азота в почве для реализации потенциальной продуктивности растений, а также компенсация довольно

высоких потерь азота почвой при выращивании чая, определяют необходимость и эффективность ежегодного внесения легкодоступных минеральных форм азота в виде удобрений.

В то же время азотные удобрения (физиологически кислые) являются ведущим фактором подкисления (ацидизации) исходно кислых почв [3, 6, 13, 14], столь характерного для длительно эксплуатируемых чайных плантаций [1, 8, 13, 14]. С точки зрения роста плодородия почв и продуктивности ацидо- и алюмофильной культуры чая ацидизация почв, проявляющаяся в росте гидролитической и обменной кислотности, содержания подвижного алюминия, снижении содержания и степени насыщенности почв основаниями, может расцениваться положительно. Низкая и средняя степень ацидизации являются допустимыми, согласно разработанных норм [7] (при этом повышающими уровень плодородия почв для чая). Высокая степень ацидизации сопряжена с существенными изменениями целого комплекса свойств почвы (гумусного, гранулометрического, минералогического и элементного составов, биологической активности), нарушением её равновесного генетически обусловленного состояния [2, 7, 10], что расценивается как деградационный тренд с позиции экологии почв.

Для почв чайных плантаций, как многолетней монокультуры, возделываемой на постоянном месте в течение нескольких десятков лет, вопросы рационального и экологически безопасного применения удобрений особенно важны. В связи с этим изучение динамики изменений почвенных свойств, связанных с нагрузкой азотными удобрениями, с точки зрения соотношения уровня плодородия почв (и продуктивности плантаций) со степенью их агрогенной ацидизации в режиме многолетнего мониторинга представляет интерес для обоснования оптимального режима применения азотных удобрений в субтропической зоне России.

Объекты и методы исследования. Исследования проводили на базе многофакторного полевого опыта с удобрениями в 1986–2012 гг., на чайной плантации интенсивного сорта 'Колхида', 1983 г. закладки (Сочи, п. Уч-Дере, ЗАО «Дагомысчай»). Почва бурая лесная кислая – одна из основных зональных чаепригодных почв. Изучалось 16 вариантов различных сочетаний доз NPK (в градациях 0, 1, 2, 3 одинарные дозы). Размер опытных делянок – 50 м², повторность 2-кратная. Одинарные дозы азота изменялись по мере развития растений с шагом 70–90–120–200 кг д.в./га (в 1986–1989–1993–2000 гг.). Общий диапазон изучаемых доз азота составил 0–600 кг д.в./га, что соответствует диапазону доз, рекомендованных зональной технологией [11] и применяемых в практике чаеводства в разных странах мира (от 36–40 кг д.в./га во Вьетнаме до 800 кг д.в./га – в Японии)

[14]. Общее количество азота, внесённого с удобрениями за 27-летний период исследований составило 3,8–7,6–11,4 т д.в./га (при применении 1–2–3-х доз азотных удобрений, соответственно). Фосфорные и калийные удобрения изучались в диапазоне Р 0-180 и К 0-150; одинарные дозы были постоянными – Р60 и К50 кг д.в./га.

Анализировали многолетнюю динамику обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом при применении различных доз азотных удобрений, с учётом урожайности модельных плантаций (вариантов опыта) и хозяйственного баланса азота, а также динамику изменения кислотно-основных свойств почвы в связи с дозами и общим количеством внесённого азота удобрений. Массив экспериментальных данных обрабатывали по группам вариантов с 0–1–2–3-ми дозами азотных удобрений (в сочетании с различными дозами РК) в сравнении с исходными показателями и контролем (000 – без удобрений) в программе Microsoft Excel (при Р = 0,95). В диаграммах представлено среднее \pm стандартное отклонение.

Результаты и их обсуждение. Многолетний мониторинг содержания легкогидролизуемого азота в почвах по вариантам опыта позволил установить, что при внесении одинарных доз азотных удобрений, растущих в ходе опыта от 70 до 200 кг д.в./га, в основном поддерживался средний уровень обеспеченности (7–9 мг/100 г в слое 0–20 см) и лишь в итоге был достигнут близкий к высокому уровень (9–11 мг/100 г) (рис. 1 и 2, варианты группы N1), согласно разработанным градациям [9]. Средний многолетний профицит баланса азота составлял около 100 кг/га в год, а средняя многолетняя урожайность – 40–47 ц/га, что было в 2–2,5 раза выше урожайности модельных плантаций без внесения азотных удобрений (20–28 ц/га) [8]. Внесение азотных удобрений в двойных и тройных дозах на этапе молодой плантации (140–180 и 210–270 кг д.в./га) поддерживало содержание легкогидролизуемого азота на среднем и близком к высокому, уровнях (рис. 1 и 2, варианты группы N2 и N3). Увеличение дозировки азота для полновозрастных плантаций до 240, 400 (N2) и 360, 600 (N3) кг д.в./га дало постепенный рост содержания легкогидролизуемого азота в почве до 10–12 и затем 14–16 мг/100 г, что оценивалось согласно градаций [9] как высокий уровень обеспеченности. Профицит баланса азота в таких агросистемах составлял около 200 и 350 кг/га в год, т. е. был в 2 и 3–4 раза выше по сравнению с одинарными дозами, а средняя многолетняя урожайность оказалась выше не более чем в 1,5 раза и составила 52–58 ц/га [8], что указывало на непроизводительные расходы азота при несопоставимом приросте урожайности. Динамика азотного фонда почв чайных плантаций в многофакторном полевом опыте с удобрениями подробно рассмотрена в отдельной публикации [5].

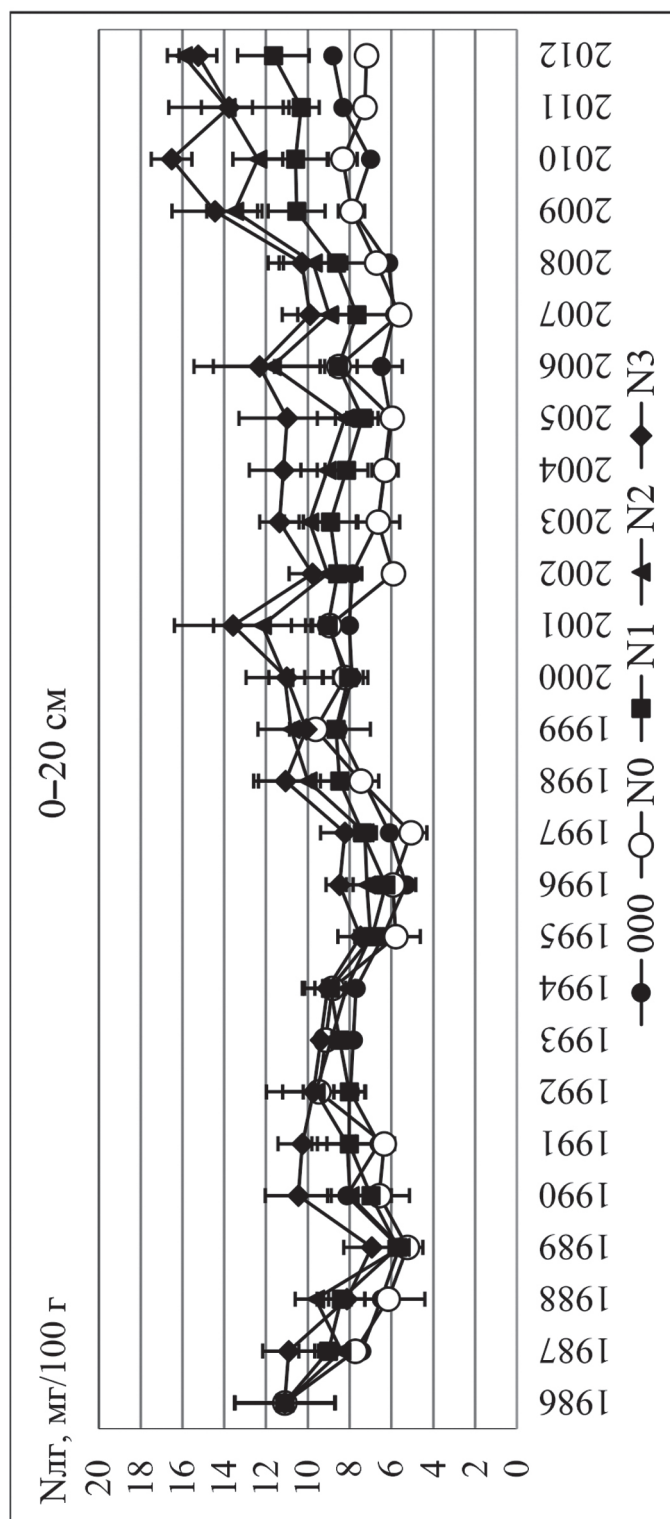


Рис. 1. Динамика обеспеченности почв модельных чайных плантаций легкогидролизуемым азотом в зависимости от доз азотных удобрений (усредненные данные по группам вариантов с 1-2-3 дозами N, в сочетании с разными РК)

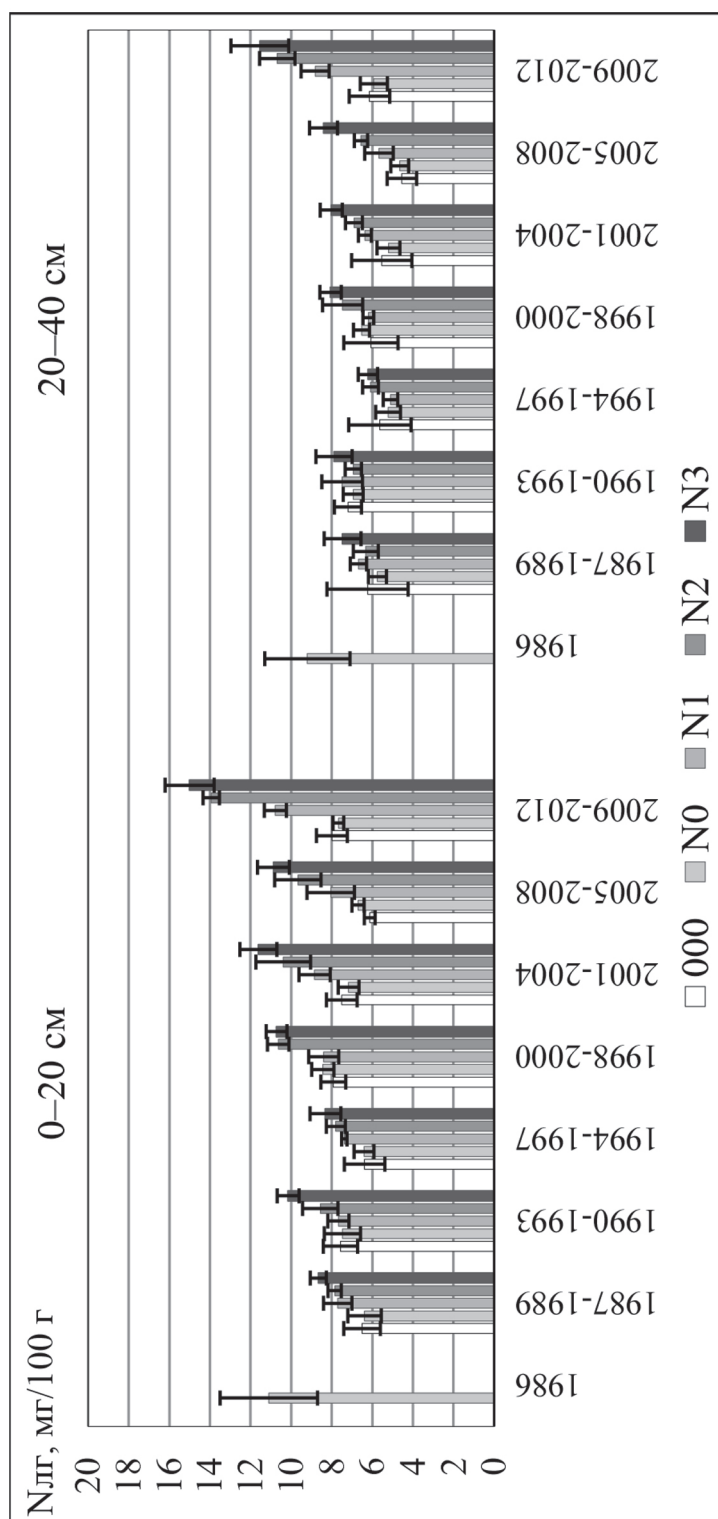


Рис. 2. Среднее содержание легкогидролизуемого азота в почве на фоне различных доз азотных удобрений (в сочетании с РК) по периодам исследования

Также следует отметить, что параллельное изучение качества чайного сырья в рамках данного опыта показало, что биохимические показатели (содержание танина и экстрактивных веществ снижались по мере роста доз азотных удобрений; было установлено, что наиболее приемлемыми с точки зрения соотношения урожайности и качества для полновозрастных плантаций являются дозы до 200–240 кг д.в. N/га [12].

Изучение многолетней динамики изменения кислотности почв в связи с дозами и общим количеством внесённых азотных удобрений показало, что при применении одинарных доз азота снижение показателей pH_{KCl} в слое 0–20 см составило в среднем 0,5 единицы за 27-летний период; гидролитическая кислотность возросла на 6–9 мг-экв/100 г; содержание подвижного алюминия увеличилось в среднем на 30 мг/100 г; содержание обменных кальция и магния снизилось на 4–5 мг-экв/100 г, а степень насыщенности основаниями – на 16–23 % (рис. 3 и табл. 1, варианты группы N1). Уровень потенциального плодородия почв (по показателям кислотности основного состояния) за период исследований возрос с исходно низкого до среднего, согласно существующим грациям [9] (табл. 2). При этом степень ацидизации почв, оцениваемая по отклонению значений от фоновых (контрольных), согласно разработанной методике [7] (табл. 3), по совокупности показателей была средней.

Таблица 1

**Итоговые изменения
кислотно-основных свойств почв модельных чайных плантаций
за период исследований, 1986–2012 гг.**

Показатель, единицы измерения	Среднее по участку, 1986 г.	Контроль НОРОКО, 2012 г.	Диапазоны средних значений для вариантов по группам, 2012 г.		
			N 1	N 2	N 3
Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г	16,9 ±1,1 17,8 ±1,5	16,0 ±1,0 16,9 ±1,4	22–25 20–22	29–32 28–31	31–33 30–32
Подвижный алюминий, мг/100 г	31,5 ±8,1 42,3 ±6,3	34,2 ±7,9 44,0 ±6,7	74–77 58–75	102–120 98–126	95–130 100–120
Сумма обменных Са и Mg, мг-экв/100 г	15,8 ±1,6 13,9 ±2,0	12,8 ±1,6 11,4 ±2,4	7,9–9,0 8,6–9,8	2,2–3,6 3,0–5,4	2,0–3,1 3,0–3,9
Насыщенность основаниями, %	51,2 ±2,9 48,3 ±4,3	44,4 ±4,4 40,1 ±6,6	21–28 29–31	7–11 9–16	6–10 10–13

Примечание: в верхней строке значения для слоя 0–20 см, в нижней – для 20–40 см.

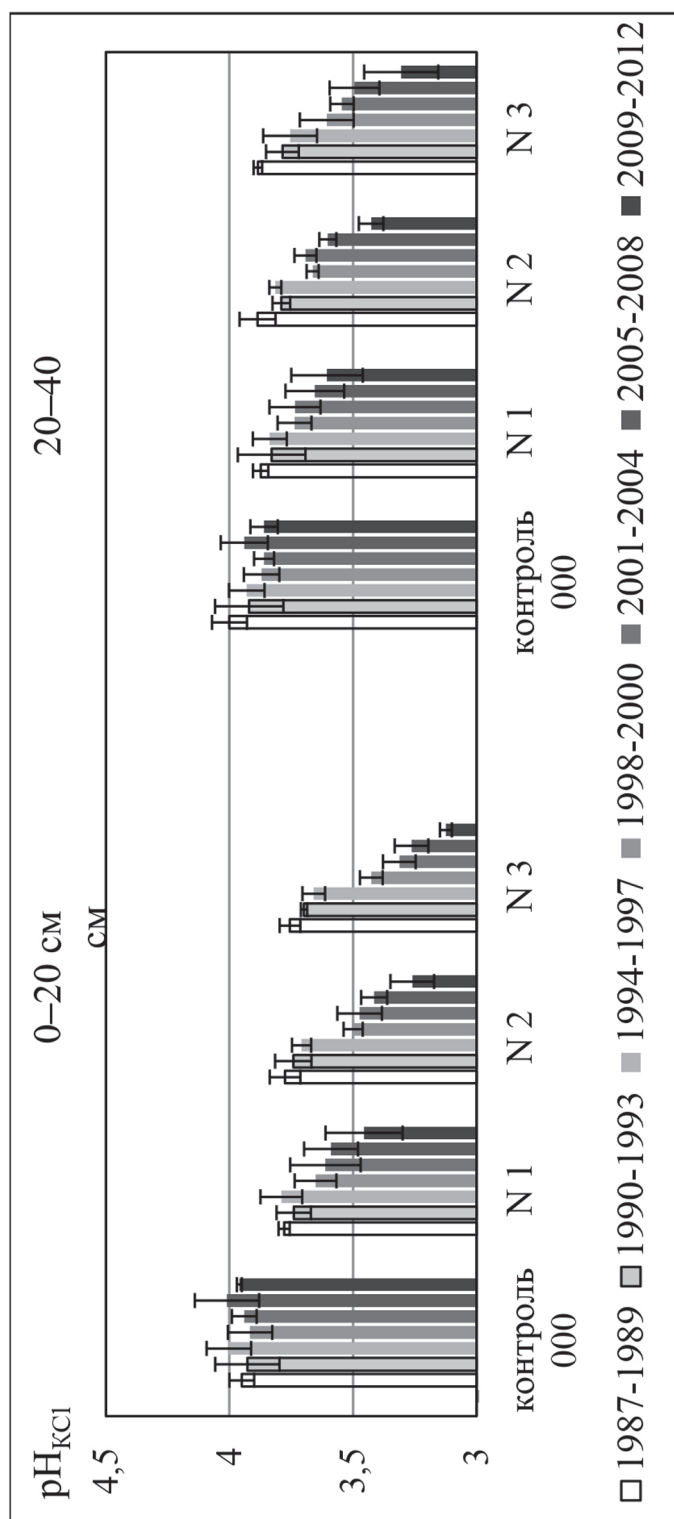


Рис. 3. Динамика снижения показателей рН в зависимости от доз и длительности применения азотных удобрений (усредненные данные по группам вариантов с 1-2-3 дозами N, в сочетании с разными РК)

На вариантах с двойными и тройными дозами азотных удобрений за 27-летний период произошли следующие изменения (в слое 0–20 см): снижение pH_{KCl} в среднем на 0,7–0,9 единицы, но в ряде случаев более чем на 1 единицу; рост гидролитической кислотности на 13–17 мг-экв/100 г и содержания подвижного алюминия на 60–100 мг/100 г; снижение содержания суммы обменных кальция и магния на 9–13 мг-экв/100 г и степени насыщенности основаниями более чем на 30 % (рис. 3 и табл. 1, варианты группы N2 и N3). То есть их длительное применение привело к acidизации почв в сильной степени, что было отмечено уже через 5–6 лет после перехода на дозу 400 кг д.в.N/га (для N2) и после 8 лет внесения 360 кг д.в.N/га (для N3) [3], хотя при этом потенциальное плодородие почв по кислотно-основным показателям достигло высокого уровня, согласно соответствующим градациям [7, 9] (табл. 2, 3).

Таблица 2

**Уровни потенциального плодородия почв
применительно к культуре чая по показателям кислотно-
основного состояния, для слоя 0–40 см [9]**

Показатель	Уровень плодородия		
	низкий	средний	высокий
pH_{KCl}	3,9–4,2	3,5–3,8	3,1–3,4
Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г	15–19	20–24	25–35
Подвижный алюминий, мг/100 г	< 30	30–59	60–140
Сумма обменных Ca и Mg, мг-экв/100 г	11–14	8–10	3–7
Степень насыщенности основаниями, %	36–43	20–35	10–19

Таблица 3

**Степень acidизации почвы
по отклонению кислотно-основных показателей
от фонового (контрольного) уровня, для слоя 0–20 см [7]**

Изменение показателя	Низкая	Средняя	Высокая
Снижение pH_{KCl} на единицы pH	< 0,2	0,2–0,4	> 0,4
Рост гидролитической кислотности, на мг-экв/100 г	< 5	5–10	> 10
Рост содержания подвижного алюминия, на мг/100 г	< 10	10–25	> 25
Снижение суммы обменных Ca и Mg, на мг-экв/100 г	< 5	5–8	> 8
Снижение степени насыщенности основаниями, на %	< 10	10–20	> 20

Было установлено, что скорость снижения pH_{KCl} на 0,1 единицы в слое 0–20 см составила 5–6 лет при внесении одинарных доз азота, 3–4 года – на фоне двойных доз, менее чем 3 года – тройных доз; на каждую внесённую тонну д.в. N/га pH_{KCl} снижался на 0,07–0,1 единицы; в слое 20–40 см изменения проявлялись позднее и в 1,5–2 раза слабее [3]. Снижение pH_{KCl} на 0,1 единицу в среднем соответствовало: росту гидролитической кислотности на 1,66 мг-экв/100 г, обменной кислотности и подвижного алюминия на 0,88 мг-экв/100 г; снижению суммы обменных кальция и магния на 0,93 мг-экв/100 г и степени насыщенности оснований на 3,82 % [4].

Заключение. Таким образом, проведённые исследования показали, что в режиме многолетнего возделывания культуры чая, наиболее эффективными и целесообразными при регулярном ежегодном внесении являются следующие дозы азотных удобрений (кг д.в./га): 70–90 – на молодых плантациях, в первые 6–8 лет после закладки; затем в течение 6–7 следующих лет – 120 и начиная с 15-летнего возраста – 200, для хорошо развитых полновозрастных плантаций. Поддерживая азотный статус почв на среднем уровне и бездефицитный баланс азота в агроэкосистеме, они обеспечивали достаточно высокую продуктивностью плантаций и качество сырья, при этом способствовали ацидизации почв в допустимой средней степени, повысив исходно низкий уровень плодородия почв по кислотно-основным показателям до среднего. То есть именно данная схема применения азотных удобрений (в сочетании с необходимыми дозами фосфорно-калийных) позволила достичь разумный компромисс и оптимальный баланс между экономической целесообразностью и экологической обоснованностью. Применение в 2–3 раза более высоких доз азотных удобрений способствовало росту плодородия почв до высокого уровня, как по обеспеченности азотом, так и по кислотно-основным характеристикам, однако значительный профицит хозяйственного баланса азота при несопоставимом приросте урожайности плантаций определил их экономическую нецелесообразность. Агрогенная ацидизация почв, проявившаяся при этом в сильной степени, даёт ограничение с точки зрения экологии почв.

Библиографический список

1. Беседина Т.Д. Агрогенная трансформация почв Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа при использовании под субтропические культуры: дис. ... д-ра с.-х. наук. – Сочи, 2004. – 313 с.
2. Козлова Н.В. Состояние бурых лесных кислых почв чайных плантаций при длительном применении минеральных удобрений в субтропиках России: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2008. – 24 с.

3. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Скорость агрогенной acidизации бурых лесных почв чайных плантаций в условиях влажных субтропиков России // Плодоводство и ягодоводство России. – 2017. – Т. 51. – С. 259-267. – ISSN 2073-4948.
4. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Взаимосвязи изменений кислотно-основных свойств бурых лесных кислых почв при агрогенной acidизации под культурой чая // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2018. – Вып. 66. – С. 160-167. – doi: 10.31360/2225-3068-2018-66-160-167
5. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Динамика азотного фонда бурых лесных почв влажных субтропиков России в многофакторном полевом опыте с удобрениями на культуре чая // Плодоводство и ягодоводство России. – 2018 – Т. 53. – С. 138-146. – ISSN 2073-4948.
6. Козлова Н.В., Малюкова Л.С. Влияние длительного применения минеральных удобрений на кислотно-основное состояние бурых лесных кислых почв чайных плантаций субтропиков России // Агрехимия. – 2007. – № 9. – С. 3-9. – ISSN 0002-1881.
7. Козлова Н.В., Малюкова Л.С. Методический подход к оценке бурых лесных кислых почв чайных плантаций субтропиков РФ по степени агрогенных изменений // Актуальные вопросы плодоводства и декоративного садоводства в начале XXI века: мат-лы междунар. науч.-практ. конф., посвящённой 120-летию основания института и 80-летию основания сада-музея «Дерево Дружбы», Сочи, 22-26 сентября 2014 г. – Сочи: ВНИИЦиСК, 2014. – С. 413-422. – ISBN 978-5-904533-21-2.
8. Малюкова Л.С. Оптимизация плодородия почв и применения минеральных удобрений при выращивании чая в России. – Сочи: ВНИИЦиСК, 2014. – 416 с. – ISBN 978-5-904533-22-9.
9. Малюкова Л.С., Козлова Н.В. Методические рекомендации по комплексной почвенно-растительной диагностике минерального питания чая. – Сочи: ВНИИЦиСК, 2010. – 37 с. – ISBN 978-5-904533-05-2.
10. Малюкова Л.С., Рындин А.В., Козлова Н.В. Особенности агрогенной трансформации бурых лесных кислых почв чайных плантаций // Вестник РАСХН. – 2008. – № 4. – С. 26-27. – ISSN 0869-3730.
11. Методические указания по технологии возделывания чая в субтропической зоне Краснодарского края / под ред. Т.П. Алексеева и др. – Сочи: Мин. сель. хоз., НИИГСиЦ, «Краснодарский чай», 1977. – 80 с.
12. Пругула З.В., Малюкова Л.С., Козлова Н.В. Влияние минеральных удобрений на биохимические показатели качества чайного листа сорта 'Колхида' в условиях субтропиков России // Агрехимия. – 2011. – № 3. – С. 33-40. – ISSN 0002-1881.
13. Wang Hui, Xu Ren-Kou, Wang Ning, Li Xing-Hui. Soil Acidification of Alfisols as Influenced by Tea Cultivation in Eastern China // Pedosphere. – 2010. – Vol. 20. – Issue. 6. – P. 799-806. – ISSN 1002-0160/CN 32-1315/P.
14. Owuor P.O., Othieno C.O., Kamau D.M., Wanyoko J.K. Effects of long-term fertilizer use on a high-yielding tea clone AHPS15/10: 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. – ISSN 0972-544X.

**OPTIMIZING NITROGEN
FERTILIZER APPLICATION WITHIN A LONG-TERM TEA CULTIVATION
IN THE SUBTROPICS OF RUSSIA**

Kozlova N. V.

*Federal State Budgetary Scientific Institution
"Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops",
c. Sochi, Russia, e-mail: agro-pochva@vniisubtrop.ru*

The analysis of a 27-year data package of a long-term field multifactorial experiment using fertilizers (NPK) on tea culture is presented. The paper shows a long-term dynamics of changes in acid-base and nitrogen status of acid brown forest soils due to the load of nitrogen fertilizers, nitrogen balance and yield of plantations. The optimal doses of nitrogen fertilizers are determined, allowing us to achieve a reasonable compromise between economic and environmental feasibility in a multi-year mode of application. It is shown that nitrogen dose 70–90–120–200 kg/ha (for 3–4–7–13 years, respectively) provided a sufficiently high productivity of plantations (including the quality of raw material) while maintaining a medium availability and a neutral balance of nitrogen; agrogenic acidization of soils has not exceeded the allowable average degree, at the same time increasing their potential fertility for tea plants.

Key words: tea plantation, acid brown forest soils, nitrogen fertilizers, easily hydrolyzed nitrogen, acid-base properties, acidization, long-term monitoring.