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 10.31676/2073-4948-2018-54-246-253

ФОСФАТНЫЙ РЕЖИМ БУРЫХ ЛЕСНЫХ КИСЛЫХ ПОЧВ СУБТРОПИКОВ РФ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЧАЙНЫХ ПЛАНТАЦИЙ С РАЗЛИЧНОЙ НАГРУЗКОЙ УДОБРЕНИЯМИ

Резюме. В условиях 16-вариантного полевого опыта с удобрениями (NPK) на культуре чая в течение 27 лет изучалась динамика обеспеченности фосфором бурых лесных кислых почв влажных субтропиков России. Характер изменений (степень и скорость) представлен графически, регрессионными и корреляционными зависимостями, аппроксимирующими функциями. Доза фосфорных удобрений 60 кг д.в./га при длительном систематическом внесении в сочетании с необходимыми дозами NK, обеспечивала уровень содержания подвижных фосфатов 40-60 мг/100 г (оптимальный) и бездефицитный баланс фосфора в агросистеме. Внесение 120-180 кг д.в./га фосфора привело к 2-3-кратному росту содержания подвижных фосфатов (в 0-20 см), со средней скоростью 30-40 мг/100 г за 10 лет или 25-30 мг/100 г на каждую тонну фосфора, внесенного с удобрениями. «Зафосфачивание» почв выражалось пропорциональным ростом валового фосфора. В отсутствии фосфорных удобрений высокая урожайность чая обеспечивалась созданным предпосадочным запасом фосфора (при некотором его истощении), эффективном в последействии.

Ключевые слова: бурые лесные кислые почвы, чайная плантация, минеральные удобрения, фосфор, баланс элемента, многолетняя динамика.

Summary. The dynamics of phosphorus supply of brown forest acidic soils in the humid subtropics of Russia under conditions of a long-term field experiments with 16 NPK-fertilizers combinations on tea culture was studied for 27 years. The trend of the changes (degree and speed) is represented graphically, by regression and correlation dependencies, approximating functions. A dose of phosphorus fertilizers of 60 kg/ha, with long-term systematic application in combination with the sufficient doses of NK-fertilizers, provided a content of mobile phosphate in soil at an average level of 40-60 mg/100 g (optimal) and a non-deficit phosphorus balance in the agrosystem. The application of 120-180 kg/ha of phosphorus fertilizers led to a 2-3 fold increase in the content of mobile phosphates (in the 0-20 cm soil layer), with an average rate of 30-40 mg/100 g for 10 years or 25-30 mg/100 g per ton of applied P fertilizers. “Overphosphating” of soils was expressed by proportional growth of total phosphorus. In the absence of phosphorus fertilizers, the high yield of tea was provided by the created pre-plant phosphorus reserve (with some depletion), effective in aftereffect.

Keywords: brown forest acidic soils, tea plantation, mineral fertilizers, phosphorus, nutrient balance, long-term dynamics.

Введение

Фосфор, как структурный элемент энергетических компонентов клетки, является важным компонентом в минеральном питании чайного растения, особенно в молодом возрасте. При том, что его ежегодный вынос с урожаем невысок по сравнению с другими элементами (N, K) и составляет 12,5-26 кг/га P_2O_5 при урожайности 5000-8000 кг/га зеленого чайного листа, фосфор в наибольшем количестве концентрируется в чайном растении (особенно в корнях и стеблях) и закрепляется в биомассе полновозрастных плантаций в количестве около 1800 кг/га [1]. Фосфорные удобрения на чайных плантациях в советский период развития отрасли традиционно применялись в высоких дозах – 100-150 кг д.в./га [2]. Это привело к существенному росту содержания фосфора в почвах длительно эксплуатируемых чайных плантаций, часто к их выраженному «зафосфачиванию» и снижению эффективности фосфорных удобрений, нарушению фосфатного режима почв и режимов ряда других биогенных элементов [3-6]. Высокая степень поглощения фосфора является важной особенностью бурых лесных кислых почв и одной из важных особенностей фосфора, отличающей его от других элементов питания. В связи с этим понимание многолетней динамики изменения фосфатного режима почв чайных плантаций в зависимости от нагрузки удобрениями (различных сочетаний видов и доз, длительности применения) важно для управления их плодородием и целесообразного применения фосфорных удобрений в условиях субтропической зоны России.

Методика и объекты исследований

Корректную оценку темпов возможных изменений уровня обеспеченности почв фосфором при разных схемах удобрения чая позволяет сделать анализ 27-летнего массива данных многофакторного полевого опыта с удобрениями. В период 1986-2012 гг. на чайной плантации сорта Колхида, заложенной в 1983 г. на бурой лесной кислой почве (г. Сочи, пос. Уч-Дере, ЗАО «Дагомысчай») изучалось 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 м^2. Фосфорные удобрения изучались в диапазоне от 0 до 180 кг д.в./га, с единичной дозой 60 кг д.в./га. Единичные дозы калийных удобрений составляли 50 кг д.в./га; для азотных удобрений они росли по мере развития плантации (кг д.в./га): 1986-1988 – 70; 1989-1992 – 90; 1993-1999 – 120; 2000-2011 – 200.

Обобщали данные по содержанию подвижного фосфора (по методу Ониани [7]) в слоях почвы 0-20 и 20-40 см в ранневесенний период, который является диагностическим показателем почвенного плодородия для многолетней культуры чая [1]. Обработку данных вели методами корреляционного и регрессионного анализов, описательной статистики в программах Microsoft

Excel, «Агрохимия» (при Р = 0,95). В таблицах и диаграммах представлено среднее ± стандартное отклонение. Учитывали изменения содержания валового фосфора, различных форм и фракций элемента, фосфатной буферности, определенные на разных этапах исследования для наиболее контрастных по нагрузке удобрениями вариантов опыта [3, 8, 9], а также хозяйственный баланс фосфора по вариантам опыта [10].

Результаты исследований и их обсуждение

Корреляционный и регрессионный анализ многолетнего блока данных по содержанию подвижного фосфора в почвах модельных чайных плантаций (вариантов опыта) подтвердил, что формирование их фосфатного фонда связано в первую очередь с дозами фосфорных удобрений (табл. 1).

Таблица 1.
Связь содержания подвижного фосфора (P_2O_5, 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	P_2O_5 = 35,98 + 7,34 P – 0,92 NK	0,79	-0,05	0,84	0,07
1990-1993	P_2O_5 = 30,28 + 23,89 P	0,83	0,03	0,91	0,07
1994-1997	P_2O_5 = 30,71 + 39,07 P – 3,83NP – 3,74 PK	0,94	-0,07	0,89	-0,01
1998-2000	P_2O_5 = 39,38 + 6,76 P^2	0,76	0,01	0,88	0,13
2001-2004	P_2O_5 = 36,12 + 26,06 P	0,76	0,09	0,87	0,10
2005-2008	P_2O_5 = 31,32 + 33,14 P – 3,83 NP	0,89	0,01	0,91	0,07
2009-2012	P_2O_5 = 35,83 + 41,20 P – 5,06 NP	0,85	0,01	0,88	0,10

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

В связи с этим динамика изменения показателей в многолетнем ряду (рис. 1) и по 3-4-летним периодам исследования (рис. 2) представлена по группам вариантов опыта с одинаковым влияющим фактором – дозой фосфора (в сочетании с различными дозами NK): нулевой – без фосфорных удобрений, одинарной, двойной, тройной (далее Р0, Р1, Р2, Р3).

Исходный уровень содержания фосфатов в почве опытного участка (в среднем около 32-38 мг/100 г в слое 0-40 см), значительно повышенный по сравнению с фоновой лесной почвой (5-8 мг/100 г), был достигнут при окультуривании почвы перед закладкой плантации. В ходе дальнейших исследований прослеживалось его постепенное снижение в почве контрольного варианта (000) – в 1,5-2 раза за 27-летний период (рис. 1, 2).

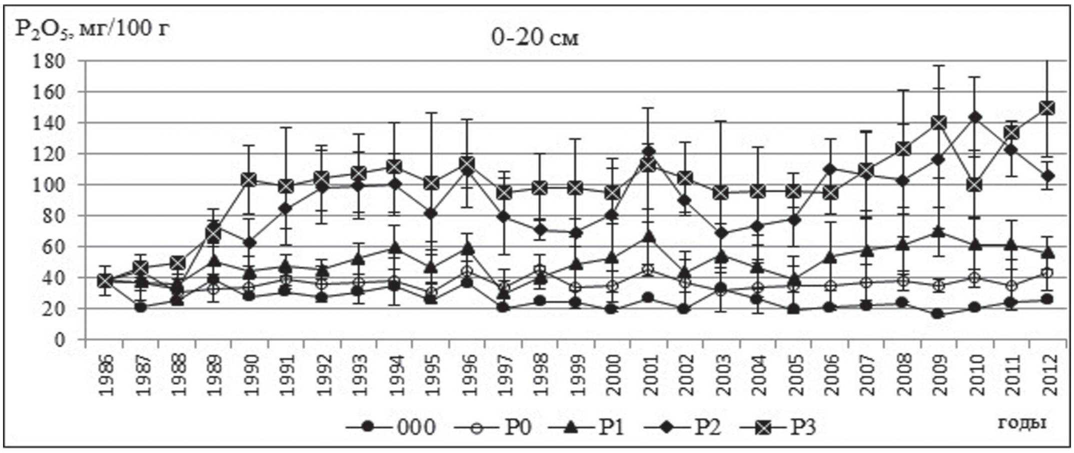

Рис. 1. Многолетняя динамика содержания подвижного фосфора в почвах модельных чайных плантаций на фоне различных доз фосфорных удобрений (в сочетании с различными дозами NK).

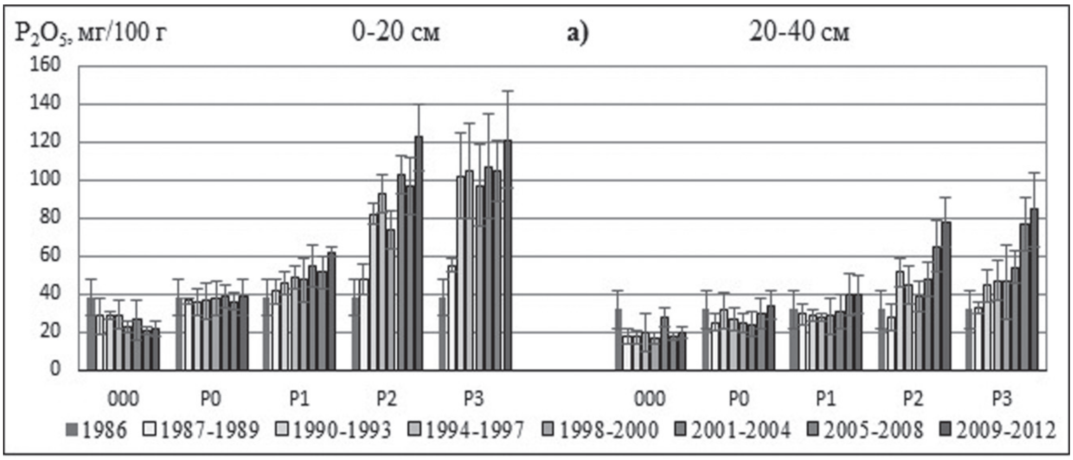

Рис. 2. Изменение обеспеченности почв подвижными фосфатами в зависимости от доз и длительности применения фосфорных удобрений: а) фактическое содержание; б) отличие от исходного *(*средние по периодам*)*.

При длительном интенсивном азотном и азотно-калийном питании, без внесения фосфорных удобрений, в верхнем почвенном слое (0-20 см) поддерживался исходный уровень содержания подвижного фосфора (рис. 1, 2 для группы вар-тов P0) за счет его биогенной аккумуляции при высокой продуктивности плантаций и большом объеме биомассы шпалерной обрезки и опада. Но в более глубоком слое (20-40 см) прослеживалось истощение запасов фосфора в результате его потребления корневыми системами растений (рис. 2). Высокая урожайность чая обеспечивалась запасом фосфора, сформированном при окультуривании почв. Это подтверждает высокую сорбционную емкость и буферную способность бурых лесных кислых почв по отношению к фосфору; эффективность фосфорных удобрений в их последействии и возможность десорбции фосфора, а также целесообразность периодического внесения повышенных доз в запас. Однако в целом в агроценозе высокопродуктивных чайных плантаций при длительном отсутствие фосфорных удобрений формируется дефицитный баланс фосфора (табл. 2, для вар-тов группы P0).

Таблица 2.
Хозяйственный баланс фосфора в вариантах опыта с различными дозами удобрений за 1986-2010 гг., кг/га [10]

Вариант, код NPK	Урожай		Вынос		Поступление		Баланс	
	1	2	1	2	1	2	1	2
000	52133	1961	141	5	-	-	-141	-5
200	148439	5241	463	17	-	-	-463	-17
202	180302	6698	568	23	-	-	-568	-23
111	130129	4727	396	15	1500	60	1104	45
311	149776	5499	445	17	1500	60	1055	43
220	175858	6516	558	23	3000	120	2442	97
222	147905	5289	454	17	3000	120	2546	103
131	117329	4365	358	15	4500	180	4142	165
331	188951	7000	569	23	4500	180	3931	157

Примечание: 1 – общий; 2 – среднегодовой

Длительное ежегодное применение дозы 60 кг д.в./га P_2O_5 обеспечивало бездефицитный баланс фосфора в модельных агросистемах (табл. 2, для вариантов группы P1) и оптимальный для культуры чая уровень содержания подвижных фосфатов в почве (40-50 мг/100 г по критериям почвенной диагностики [1]). Кроме того, именно при применении этой дозы была установлена максимальная эффективность использования фосфорных удобрений растениями чая [4]. В итоге внесения суммарного количества фосфора 1,6 т д.в./га за период исследования обеспеченность почвы в слое 0-20 см возросла в 1,5 раза при поддержании исходного уровня в слое 20-40 см (рис. 1 и 2, для группы вариантов P1).

Внесение двойных и тройных доз фосфорных удобрений (120 и 180 кг д.в/га), при значительном профиците баланса фосфора (табл. 2, для вариантов группы P2 и P3), привело к существенному росту содержания подвижных фосфатов, как в слое 0-20 см, так и в слое 20-40 см (рис. 2, для групп вариантов Р2 и Р3). При общем количестве внесенных фосфорных удобрений 3,1 и 4,7 т д.в./га за 27-летний период средний рост обеспеченности почв относительно исходного уровня составил порядка 80-85 и 45-50 мг/100 г в слоях 0-20 и 20-40 см (рис. 2 б). При высокой вариабельности показателей (25-50% и более в пределах опытной делянки), связанной с очаговостью внесения удобрений в разброс и малой подвижностью фосфора в кислых почвах, варианты с 2-ми и 3-ми дозами не имеют достоверных различий, но в целом более высокое содержание подвижных фосфатов отмечено при внесении тройных доз (рис. 1, 2). «Зафосфачивание» выражалось в существенном росте (2-3-кратном) валового содержания фосфора, увеличением в нем доли подвижных фосфатов, снижением буферной способности почв в отношении элемента [3, 8, 9].

Средняя скорость обогащения почв фосфатами за период исследований может быть оценена с помощью аппроксимирующих функций (табл. 3). За 10 лет регулярного внесения одинарных доз фосфорных удобрений (60 кг/га д.в.) содержание подвижных фосфатов в верхнем почвенном слое в среднем повышалось на 8 мг/100 г; двойных доз (120 кг /га д.в.) – на 30 мг/100 г; тройных доз (180 кг/га д.в.) – на 40 мг/100 г. Однако на фоне доз 120 и 180 кг д.в/га отмечен резкий рост содержания подвижного фосфора в первые же годы внесения, не характерный при дозе 60 кг д.в/га (рис. 1). Обеднение почвы контрольного варианта происходило со средней скоростью 7 мг/100 г за 10 лет.

Таблица 3.
Средняя скорость изменения обеспеченности почв (0-20 см) подвижным фосфором (мг/100 г) за период 1986-2012 гг.

Группа вариантов	Аппроксимирующая линейная функция	R^2
000	$P_2O_5 = 38 - 2,31\ x$	0,72
Р1	$P_2O_5 = 38 + 2,51\ x$	0,86
Р2	$P_2O_5 = 38 + 9,93\ x$	0,82
Р3	$P_2O_5 = 38 + 11,45\ x$	0,70

Примечание: х – 3-4 летние периоды исследования; R^2 – достоверность аппроксимации.

Общий тренд изменения обеспеченности фосфором в зависимости от суммарной накопительной нагрузки фосфорными удобрениями (рис. 3) позволяет говорить о росте содержания подвижных фосфатов в среднем на 25-30 мг/100 г в слое почвы 0-20 см на каждую тонну внесенного фосфора.

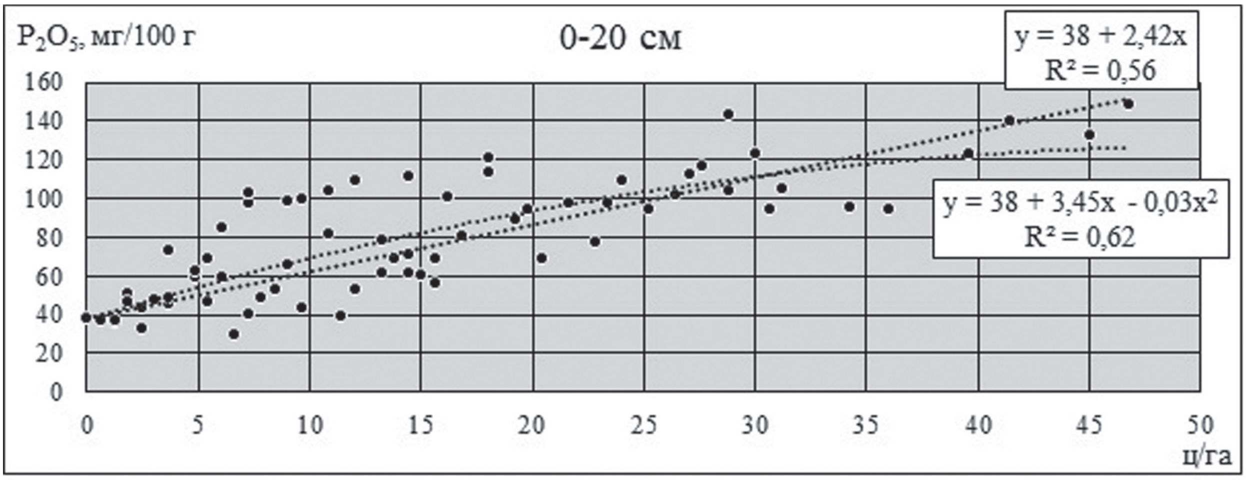

Рис. 3. Рост обеспеченности подвижным фосфором верхнего слоя почв по мере роста общего количества внесенных фосфорных удобрений (по средним в группах вариантов с 1-2-3-ми дозами фосфора).

Таким образом, в условиях многофакторного полевого опыта с удобрениями на культуре чая было установлено, что длительное систематическое внесение фосфорных удобрений в дозе 60 кг д.в./га приводит к формированию оптимального уровня подвижных фосфатов (40-50 мг/100 г и несколько выше) и обеспечивает бездефицитный баланс фосфора, что определяет целесообразность выбора этой дозы удобрений для поддержания устойчивого функционирования агроэкосистемы. Внесение фосфора в количестве 120-180 кг д.в./га приводит при длительном применении к 2-3-кратному повышению содержания подвижного фосфора – до 100-140 мг/100 г (с пропорциональным ростом валового содержания). Средняя скорость роста составляет 30-40 мг/100 г за 10 лет или 25-30 мг/100 г на каждую тонну внесенного фосфора. В отсутствии фосфорных удобрений происходит расходование фосфатного фонда почв, созданного при её первичном окультуривании; поддержание высокой продуктивности плантаций (при интенсивном азотном питании) говорит об эффективности фосфорных удобрений в последействии и возможности десорбции фосфора. Динамика изменений при различной нагрузке удобрениями выражена графически и математически (регрессионные и корреляционные зависимости, линии аппроксимации).

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.

ФГБНУ ВСТИСП

3. **Козлова Н. В., Малюкова Л. С.** Фосфор в системе почва - чайное растение в условиях субтропиков России // Субтропическое и декоративное садоводство, 2010. – Т. 43. – № 1. – С. 33-41.

4. **Малюкова Л. С., Козлова Н. В.** Эффективность применения фосфорных удобрений при выращивании чая в условиях Черноморского побережья России // Субтропическое и декоративное садоводство, 2013. – Т. 49. – С. 332-340.

5. **Беседина Т. Д.** Изменение агрохимических свойств бурых лесных почв и желтоземов под плантациями чая и фундука // Агрохимия, 2004. – № 9. – С. 39-47.

6. **Малюкова Л. С., Рындин А. В., Козлова Н. В.** Особенности агрогенной трансформации бурых лесных кислых почв чайных плантаций // Вестник РАСХН, 2008. – № 4. – 26-28.

7. Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 656 **с**.

8. **Керимзаде В. В.** Фракционный состав минеральных фосфатов бурых лесных кислых почв чайных плантаций при длительном применении минеральных удобрений // Научные исследования в субтропиках России. – Сочи, 2013. – С. 136-146.

9. **Керимзаде В. В.** Трансформация фосфатного режима бурых лесных кислых почв чайных плантаций при длительном применении минеральных удобрений на Черноморском побережье России // Субтропическое и декоративное садоводство, 2016. – Т. 57. – С. 141-149.

10. **Малюкова Л. С.** Оптимизация плодородия почв и применения минеральных удобрений при выращивании чая в России. – Сочи: ВНИИЦиСК, 2014. – 416 с.

N. V. Kozlova, V. V. Kerimzade
Federal State Budgetary Scientific Institution «Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops», Sochi

PHOSPHATE REGIME OF BROWN FOREST ACIDIC SOILS DURING THE EXPLOITATION OF TEA PLANTATIONS WITH DIFFERENT RATES OF APPLIED FERTILIZERS IN THE SUBTROPICS OF RUSSIA