

Раздел 6.

АГРОХИМИЯ И ПОЧВОВЕДЕНИЕ

УДК 631.4+631.8+633.72(470+213.1)

doi: 10.31360/2225-3068-2022-83-198-214

**ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ФОСФОРОМ ПОЧВ
МНОГОЛЕТНИХ АГРОЦЕНОЗОВ ЧАЯ В УСЛОВИЯХ
ВЛАЖНЫХ СУБТРОПИКОВ РОССИИ**

Козлова Н.В., Керимзаде В.В.

*Федеральный исследовательский центр
«Субтропический научный центр Российской академии наук»,
г. Сочи, Россия, e-mail: kozlovanvagro@yandex.ru*

Представлена ретроспективная оценка обеспеченности почв чайных плантаций фосфором по данным почвенно-агрохимических обследований чаепроизводящих хозяйств г. Сочи. Плантации, заложенные в 1950-е годы, к 1987–1992 гг. содержали в среднем 380–450 мг/кг подвижных P_2O_5 , что оптимально для культуры и выше естественного уровня в 2,5–3,0 раза. К 1994–1997 гг. обеспеченность достигла высокого/сверхвысокого уровня (650–900 мг/кг в слое 0–20 см), 3–4-кратно превысив естественный. В 2004–2006 гг. многие плантации имели признаки «зафосфаченности» с избыточно-высоким содержанием P_2O_5 (1 300–1 800/900–1 200 мг/кг в слоях 0–20/20–40 см), в 8–12 раз выше естественного. Это являлось следствием интенсивного применения минеральных удобрений в 1970-х – начале 1990-х гг. При этом плантации, заложенные в 1980-е годы, имели среднюю обеспеченность почв (250–400/150 мг/кг). В 2009 и в 2018–2022 гг. почвы длительно возделываемых плантаций, несмотря на отсутствие системного применения удобрений с середины 1990-х, всё ещё имели очень высокую или избыточную обеспеченность фосфором (от 700–800 до 900–1 200 мг/кг в слое 0–20 см); встречались и явно «зафосфаченные» почвы. Но по данным разных лет для конкретных участков прослеживалось падение концентрации подвижных фосфатов (1 700 → 900 → 500 мг/кг) в отсутствии свежих поступлений. Плантации, заброшенные более 25 лет назад, имели низкую обеспеченность почв (200–250/50–100 мг/кг P_2O_5). Изменение обеспеченности почв фосфором в зависимости от доз и длительности применения удобрений, а затем в их отсутствии демонстрируют результаты специального полевого опыта: «зафосфачивание» почвы (1 200–1 300/800–950 мг/кг в слое 0–20/20–40 см) в результате внесения 120 и 180 кг д.в./га, с резким ростом содержания подвижных фосфатов в верхнем слое за 5–7 лет и через 20 лет глубоже; в отсутствие удобрений падение содержания в 1,5–2,0 раза за 8–9 лет.

Ключевые слова: подвижный фосфор, кислые почвы, чайные плантации, влажные субтропики, минеральные удобрения, экстенсивное и интенсивное возделывание, зафосфачивание.

Введение. Фосфор является важным элементом, необходимым для роста растений и получения высоких урожаев. В отличие от других элементов питания он способен быстро поглощаться почвами с образованием труднорастворимых соединений, фиксация может достигать 500–1 800 мг P_2O_5 на 1 кг почвы [4]. После насыщения верхних горизонтов почвы весь комплекс подстилающих горизонтов способен задерживать фосфорные соединения из поступающих растворов. В результате необратимой фиксации фосфор практически не теряется из почвы, накапливаясь в больших количествах, что рано или поздно приводит к «зафосфачиванию». Низкая физиологическая доступность труднорастворимых соединений обостряет дефицит фосфора для растений. Он проявляется в большей мере на кислых почвах, в том числе, на сильно выветренных кислых почвах тропиков и субтропиков с высоким содержанием свободных оксидов и гидроксидов железа и алюминия, которые интенсивно связывают нативный и внесённый с удобрениями фосфор в недоступные растениям формы [4]. Известкование кислых почв во многих случаях является решением проблемы доступности фосфора. Вместе с тем изучаются аспекты толерантности сельскохозяйственных культур к Al и повышения эффективности фосфора, включая генетически обоснованную способность растений переносить стресс P-дефицита на кислых почвах [16].

Чай (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) – многолетняя монокультура, широко культивируемая в тропических и субтропических регионах мира, особенно в странах Азии, Африки и Латинской Америки, которая эффективно возделывается только на кислых/сильнокислых почвах, исключает известкование почв и при этом провоцирует дополнительное их подкисление [1, 7, 14, 15]. Биологическая особенность чайного растения, связанная с активным поглощением и концентрацией алюминия, способствует биогенному накоплению Al в верхних слоях почвы, что наряду с ростом количества подвижного алюминия при повышении кислотности почвы увеличивает связывание фосфора в труднорастворимые Al-P-комплексы [3].

Несмотря на высокую фиксацию фосфора в кислых почвах, чайные растения достаточно устойчивы к P-дефициту в связи с высокой эффективностью внутреннего использования [20], а также способностью усиливать мобилизацию слаборастворимых фосфатов за счёт выделения корнями органических соединений, подкисляющих ризосферную зону [19, 22]. Ведётся поиск клонов чая с более активной экссудацией корней и высоким подкислением ризосферы, более эффективными микоризными ассоциациями [22]. Несмотря на то, что фосфор требуется чайному растению в относительно небольших количествах, внесение фосфорных удобрений важно на ранней стадии развития растения для формирования

корневой системы и скелетной древесины. Также в ряде работ показано, что дефицит фосфора приводит к нарушению метаболизма в растениях, снижению дегустационных и биохимических показателей качества чая: снижению концентрации водного экстракта, танина, общего содержания полифенолов, свободных аминокислот, флавоноидов [13, 18].

Закладка промышленных чайных плантаций в зоне влажных субтропиков России была начата в 1936–1940 годах, а основные массивы высажены в 50-х годах XX века [2]. В период интенсификация отрасли чаеводства в 1970–80-х годах технология возделывания культуры [11] включала внесение высоких доз минеральных удобрений в том числе и фосфорных (100–150 кг д.в./га), которые при совместном внесении с азотными и калийными удобрениями обеспечивали высокую урожайность чайных плантаций. Однако, вследствие длительного внесения фосфорных удобрений в дозах, существенно превышавших вынос фосфора урожаем чайного листа (10–29 кг/га P_2O_5 при урожайности 4–9 т/га [5]), происходило значительное накопление его запасов и даже «зафосфачивание» почв, при этом эффективность применения P-удобрений заметно снижалась [5, 6, 9].

В связи с экологическими последствиями интенсивного применения удобрений на чайных плантациях (таких как подкисление почв, выбросы закиси азота и эвтрофикация водоёмов) специалисты разных стран всё чаще говорят о необходимости пересмотра норм удобрений [7, 12, 14, 15]. Так в Китае, чайные плантации с чрезмерными количествами внесённых удобрений составили более 30 %, среди них на 50 % была отмечена передозировка фосфорными и калийными удобрениями [20]. При длительном внесении высоких доз удобрений отмечается изобилие доступного фосфора в почве по всей глубине (0–90 см) и резкий рост количества легкоподвижных фосфатов ($CaCl_2$ -P) при содержании доступного фосфора >75 мг/кг, что увеличивает риск его выщелачивания, т. е. непродуктивных потерь [15, 21]. В связи с этим в качестве новой передовой практики вводится применение низкофосфорных удобрений, что не снижает урожайность, но повышает качество чая и безопасность для экосистемы; растущий ряд стран-производителей чая присоединяются к программам выращивания органического чая [12, 14].

Современная усовершенствованная зональная система диагностики минерального питания чая и применения удобрений в субтропиках России предусматривает невысокие дозы внесения фосфора для поддержания оптимального уровня обеспеченности почв под чаем, а также исключение фосфорных удобрений в случае избыточно высокого уровня содержания [7, 8, 10]. Так в специальных опытах было установлено,

что ежегодное применение фосфора в дозах 60 кг д.в. /га даже на фоне высоких доз азотных удобрений и высокой продуктивности плантаций является достаточным для бездефицитного баланса элемента и поддержания высокого уровня обеспеченности почв применительно к чаю (400–500 мг/кг в верхнем почвенном слое) [6, 7].

Начиная с середины 1990-х начался период, характеризующийся резким снижением общего уровня применения минеральных удобрений в сельском хозяйстве России, в том числе и в чаеводстве. Внесение удобрений на чайных плантациях стало носить бессистемный эпизодический характер, часто ограничивались внесением только азотных удобрений (наиболее эффективно стимулирующих урожайность), а в отдельных хозяйствах пришли к полному отказу от применения минеральных удобрений под эгидой «органического земледелия».

Цель исследования. В связи с этим представляет интерес общая оценка (ретроспективный анализ) уровня обеспеченности фосфором почв влажно-субтропической зоны России, занятых чайными плантациями, в различные периоды существования отрасли чаеводства, чему и посвящена данная работы.

Объекты и методы исследования. В работе использованы данные почвенно-агрохимических обследований, проведённых сотрудниками лаборатории агрохимии и почвоведения ФИЦ СНЦ РАН (ранее ВНИИЦиСК) на производственных чайных плантациях основных чаепроизводящих предприятий г. Сочи (ЗАО «Дагомысчай», АО «Солохаульский чай», АО «Мацестинский чай» и др.) в разные временные периоды: 1988–1992, 1994–1997, 2004–2009, 2018–2022 гг. Оценка изменения уровня их обеспеченности подвижным фосфором велась относительно среднего уровня, характерного для зональных почв естественных лесных массивов, а также оптимального уровня обеспеченности почв применительно к культуре чая (400–500/200–250 мг/кг в слое 0–20/20–40 см, согласно градаций [10]).

Для демонстрации характера изменений обеспеченности почв фосфором в зависимости от доз и длительности применения фосфорных удобрений, а затем в их отсутствии использованы данные многолетнего мониторинга в рамках полевого опыта с удобрениями (пос. Уч-Дере, ЗАО «Дагомысчай»). Многофакторный опыт (МФУ-опыт) заложен на бурой лесной кислой почве (на элюво-делювии кислых глинистых сланцев – аргиллитов), являющейся одной из основных чаепригодных почв зоны, на чайной плантации сорта ‘Колхида’ 1983 г. посадки. В период 1986–2011 гг. ежегодно производилось внесение удобрений согласно схеме опыта, которая включала 16 различных сочетаний доз NPK (в градациях 0, 1, 2, 3 одинарные дозы). Фосфорные удобрения изучались в диапазоне от 0 до 180 кг д.в./га (одинарная доза 60 кг д.в./га);

суммарное количество внесённого фосфора за весь период составило 1,6–3,1–4,7 т д.в./га при одинарных-двойных-тройных дозах, соответственно. Они сочетались с калийными удобрениями (0–50–100–150 кг д.в./га) и различными дозами азотных удобрений, одинарные дозы которых росли по мере развития плантации с шагом 70–90–120–200 кг д.в./га (в 1986–1989–1992–1999–2000 гг.), а диапазон в целом составил от 0 до 600 кг д.в./га. В 2012 г. опыт был законсервирован, внесение удобрений полностью прекращено, начат мониторинг обеспеченности почв основными элементами питания (в т. ч. фосфором) на фоне последствия удобрений.

Содержание подвижного фосфора во всех случаях определяли по методу Ониани (экстракция 0,1 н H_2SO_4), применяемого для анализа кислых почв субтропической зоны. Статистическая обработка данных и их визуализация произведены с использованием программы Microsoft Excel. В диаграммах представлено среднее \pm стандартное отклонение.

Результаты и их обсуждение. В структуре почвенного покрова влажно-субтропической зоны Краснодарского края наиболее используемыми для возделывания чая являются различные подтипы бурых лесных почв (кислые, кислые оподзоленные, слабонасыщенные) на которых было заложено более 70 % всех плантаций, а также бурые лесные глееватые почвы и желтозёмы (ненасыщенные оподзоленные) [1]. Естественный уровень обеспеченности данных почв подвижными фосфатами колеблется в зависимости от месторасположения, почвенной разновидности, почвообразующих пород. Так по обобщённым данным [1] бурые лесные кислые почвы на туфах и порфиритах содержали $650 \pm 70/520 \pm 60$ мг подвижных P_2O_5 на 1 кг почвы (в слоях 0–20/20–40 см); на лимонитизированных аргиллитах – $26 \pm 3/16 \pm 2$ мг/кг; на элювии песчаника – $270 \pm 20/220 \pm 30$ мг/кг, тяжелоглинистые и среднеглинистые на делювии аргиллитов – 200/180 и 160/50 мг/кг; бурые лесные глееватые тяжелоглинистые и легкоголинистые на аргиллитах – 170/120 и 65/75 мг/кг. В лесном массиве, граничащем с МФУ-опытом (пос. Уч-Дере), нативные бурые лесные кислые почвы на элюво-делювии аргиллитов содержали подвижного фосфора в среднем $130 \pm 30/90 \pm 20$ мг/кг (в слоях 0–20/20–40 см), судя по многочисленным отборам проб в разные годы. При дальнейшем обсуждении, в случае больших обобщений или отсутствия более конкретных данных, примем в качестве среднего естественного уровня обеспеченности среднее содержание подвижных P_2O_5 (150/100 мг/кг) в наиболее широко распространённых чаепригодных почвах на кислых глинистых сланцах (аргиллитах).

Несмотря на исходно низкую обеспеченность подвижными фосфатами основных чаепригодных почв субтропической зоны России, преимущественно глинистый состав данных почв, их физико-химические

свойства, высокое содержание алюминия и железа обуславливают их высокую потенциальную способность к поглощению фосфатов удобрений, что будет выражаться в изменении фосфатного режима почв, т. е. общего количества и соотношения различных фракций, в том числе, в увеличении содержания подвижных форм фосфора.

Масштабное обследование плантаций чаепроизводящих хозяйств г. Сочи в 1987–1992 и 1994–1997 годах показало, что интенсивное применение удобрений (в т. ч. фосфорных 100–150 кг д.в./га) в период 1970-е – начало 1990-х гг., согласно принятой тогда зональной технологии возделывания чая [11], привело к значительному обогащению почв фосфором, в том числе, к росту содержания подвижных фосфатов, в первую очередь в верхнем почвенном слое.

Так содержание подвижного фосфора в почве большинства участков сельхозпредприятия «Дагомысчай» в 1987–1992 гг. составляло в среднем 380–450 мг/кг в слое 0–30 см [1] (рис. 1), т. е. достигло оптимального уровня обеспеченности применительно к культуре чая, превысив в 2,5–3,0 раза естественный уровень (в среднем 150/100 мг/кг, поскольку плантации «Дагомысчай» в основном заложены на бурых лесных кислых и кислых оподзоленных почвах на аргиллитах).

По данным 1994–1997 гг. [1] обеспеченность подвижным фосфором почв под чайными плантациями на элювии песчаников в среднем более чем в 3 раза превышала естественный уровень его содержания для данных почв (270/220 мг/кг в 0–20/20–40 см), а на аргиллитах в 4 раза (принимая за их средний естественный уровень 150/100 мг P_2O_5 /кг) и достигла высокого и сверхвысокого уровня для культуры чая (650–900 мг/кг в слое 0–20 см) (рис. 1). Высокий и сверхвысокий уровень обеспеченности, в 4–5 раза превосходящий естественный, выявлен и на плантациях уч-ка «Гришкина» предприятия «Солохаульский чай». Еще более высокой (избыточной) обеспеченностью подвижным фосфором характеризовалась чайная плантация «Кошмана», которая была заложена в 1901 г. в селе Солох-Аул (Солохаульский чай) и эксплуатируется до настоящего времени. Однако существенная разница в содержании фосфатов в верхнем (1 200 мг/100 г) и нижележащем слое (350 мг/кг) говорит о том, что процесс насыщения фосфором верхнего почвенного слоя ещё не был вполне завершён, и не распространился ещё на нижележащие горизонты. По-видимому, несмотря на солидный возраст плантации, применение фосфорных удобрений (тем более в высоких дозах) шло не очень продолжительно. Такая же картина наблюдалась на участке «Коллекционный» (Уч-Дере, Дагомысчай), заложенном в середине 1980-х гг.

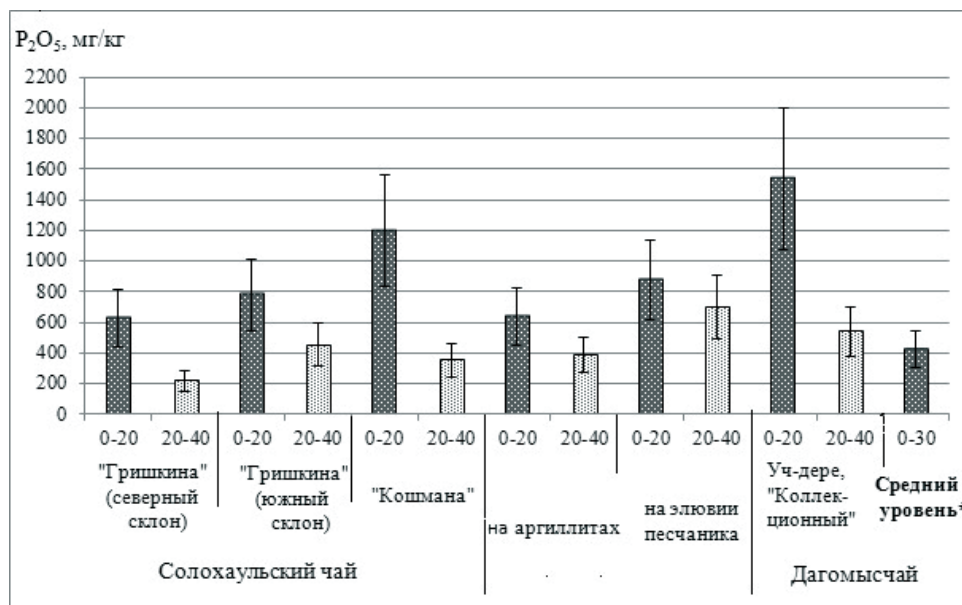


Рис. 1. Обеспеченность почв подвижным фосфором на ключевых участках чайных плантаций сельхозпредприятий «Дагомысчай» и «Солохаульский чай» в 1994–1997 гг., в почвенном слое 0–20/20–40 см (* – средний уровень для большинства плантаций «Дагомысчай» в 1987–1992 гг.)

Проведённые в период 2004–2006 гг. почвенно-агрохимические исследования на ряде ключевых участков ЗАО «Дагомысчай» показали, что длительно эксплуатируемые чайные плантации, заложенные в 1950-е годы («Общий двор», «Верхний хутор», «Грузинский») характеризовались избыточно-высокой обеспеченностью почв подвижным фосфором (рис. 2). Его содержание достигло 1 300–1 800/900–1 200 мг/кг, что в 8–12 раз превышало естественный уровень не только в слое 0–20 см, но и в слое 20–40 см, свидетельствуя о полном насыщении фосфором и самого верхнего и нижележащего горизонта (возможно и более глубоких слоев, в большей или меньшей степени), и отражало выраженную «зафосфаченность» почв.

В то же время более молодые плантации, закладка которых производилась интенсивным сортом 'Колхида' в 1980-е годы ('Колхида', 'Молодая Колхида', 'Пластунка-2') содержали подвижный фосфор в гораздо меньшем количестве – в среднем 250–400/150 мг/кг (в слое 0–20/20–40 см), что соответствовало среднему уровню обеспеченности почв применительно к культуре чая (согласно разработанным градациям [10]), при этом превышало средний естественный уровень обеспеченности зональных почв в 2–2,5 раза.

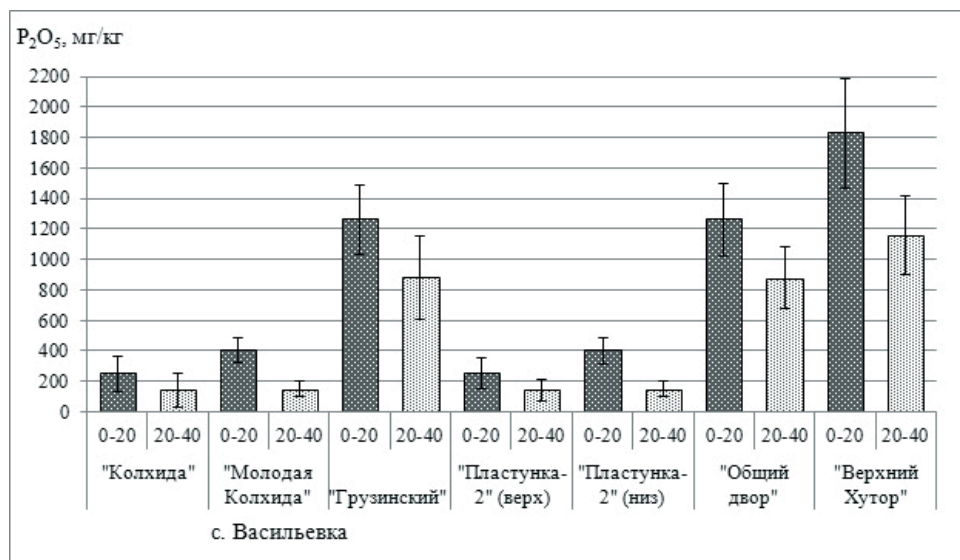


Рис. 2. Обеспеченность почв подвижным фосфором на ключевых участках чайных плантаций ЗАО «Дагомысчай» в 2004–2006 гг. (почвенный слой 0–20/20–40 см)

В 2009 г. было произведено довольно масштабное почвенно-агрохимическое обследование ключевых участков чайных плантаций основных чаепроизводящих хозяйств зоны (ЗАО «Дагомысчай», АО «Солохаульский чай», АО «Мацестинский чай»), заложенных преимущественно в 1950-х годах (за исключением плантаций «Кошмана» и «Коллекционный»). При этом в каждом случае обследовались почвы лесных массивов, расположенных рядом; содержание подвижных фосфатов в слое 0–20 см здесь составило 100–190 мг/кг.

Почвы чайных плантаций большинства обследованных участков (рис. 3) имели значительно более высокую (в 6–8 раз) обеспеченность фосфором (от 850 до 1 200 мг/кг) в сравнении с естественным уровнем. Такое содержание следует оценить, как избыточное для культуры чая, поскольку оно более чем в 2–3 раза выше, чем «высокое» по установленным градациям [10]. Обследованные плантации предприятия «Солохаульский чай» по сравнению с другими имели более низкую обеспеченность подвижными фосфатами, которая тем не менее была в 3,5–4,0 раза выше естественного уровня и по градациям обеспеченности почв для культуры чая оценивалась как очень высокая. При этом в сравнении с данными 1994–1997 гг. (рис. 1) обеспеченность плантации «Кошмана» (Солохаульский чай) снизилась более чем в 1,5 раза (с 1 200 до 700 мг подвижных P₂O₅ на кг почвы), а плантации на участке «Коллекционный» (Уч-Дере,

Дагомысчай) – в 2 раза (с 1 700 до 900 мг/кг). Это может говорить не столько о потере запасов фосфора в целом, сколько о переходе их в малодоступные формы в отсутствие свежих поступлений легкоподвижных фосфатов из удобрений.

В отличие от других плантаций, эксплуатация которых не прерывалась, участок «За складом» (Мацестинский чай) не эксплуатировался более 20 лет и зарос лесом, затем вновь был расчищен и введён в эксплуатацию без применения минеральных удобрений, поскольку предприятие к этому времени уже ориентировалось на «органическое земледелие». Обеспеченность почвы подвижным фосфором оказалась здесь низкой (130 мг/кг), не превышающей естественный уровень (рис. 3).

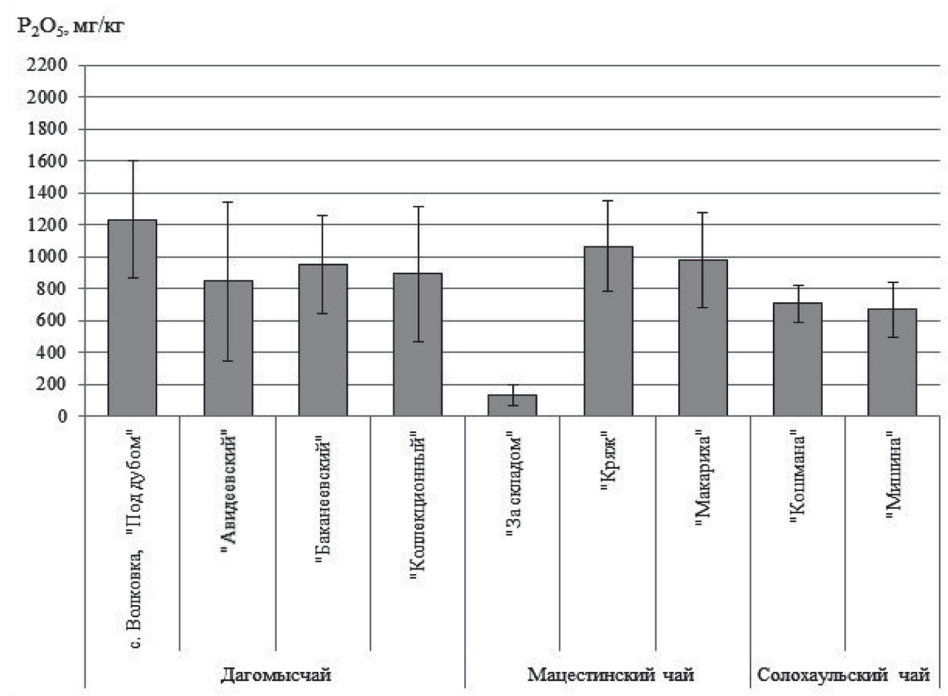


Рис. 3. Обеспеченность подвижным фосфором почв ряда ключевых участков чайных плантаций ЗАО «Дагомысчай», АО «Солохаульский чай», АО «Мацестинский чай» в 2009 г. (почвенный слой 0–20 см)

В период 2018–2022 гг. было проведено почвенно-агрохимическое обследование ряда чайных плантаций, как находящихся в эксплуатации, так и заброшенных в разное время (рис. 4). Оно показало, что ряд длительно эксплуатирующихся плантаций (такие как «Магнолия» Да-

гомысчай; «Калиновое озеро-1» Хоста-чай) по-прежнему характеризуются избыточно высокой обеспеченностью почв подвижным фосфором (в среднем 1 200–1 400/950–1 050 мг/кг в слое 0–20/20–40 см). Это может свидетельствовать если не о регулярном, то о периодическом применении фосфорных удобрений на этих участках в период с середины 1990-х годов до настоящего времени, поддерживающих ранее созданный высокий уровень обеспеченности как в слое 0–20, так и 20–40 см (скорее всего и в более глубоких слоях). Такое содержание и соотношение в почвенных слоях аналогично «зафосфаченным» почвам плантаций середины 2000-х гг. (рис. 2).

Плантация в районе с. Волковка (рис. 4) выделялась среди других обследованных участков гораздо более высоким содержанием подвижных P_2O_5 в верхнем почвенном слое по сравнению с нижележащим, что говорит скорее о недавнем возобновлении применения удобрений, чем о системном их внесении.

На примере участка «Коллекционный» (Уч-Дере, Дагомысчай) по данным обследований 1994–1997, затем 2009 и 2018–2022 годов можно проследить последовательное падение уровня обеспеченности почвы подвижным фосфором (с 1 700 до 900, затем до 500 мг/кг), являющееся результатом прекращения системного применения минеральных удобрений. Как уже отмечалось выше, это скорее всего связано с постепенным переходом подвижных фосфатов в труднодоступные формы соединений элемента.

Обследование заброшенных плантаций (Мацестинский чай «Абазинка-1» и «Абазинка-2»; Хоста-чай, «Калиновое озеро-2») показало, что их эксплуатация была прекращена более 25 лет назад и, по-видимому, ещё в относительно молодом возрасте (судя по развитию скелетных ветвей растений чая и по габитусу выросших деревьев). В связи с этим и уровень обеспеченности почвы фосфором как правило низкий (200–250/50–100 мг/кг), близкий к естественному уровню (рис. 4). Но на одном из участков («Абазинка-1») все-таки прослеживается применение когда-то фосфорных удобрений, поскольку содержание подвижных фосфатов здесь превышает естественный уровень в 2–3 раза.

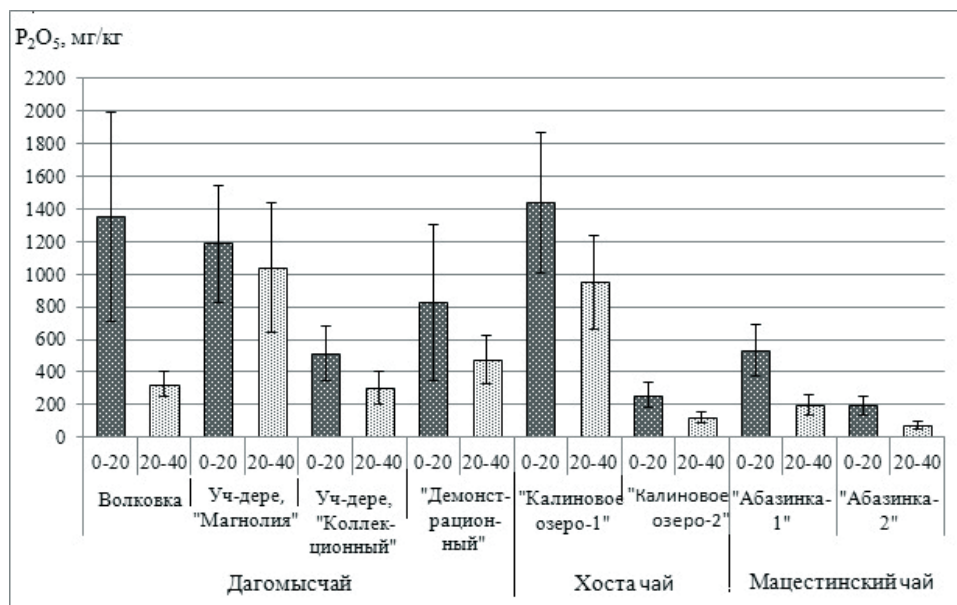


Рис. 4. Обеспеченность подвижным фосфором почв ряда участков чаепроизводящих хозяйств в 2018–2022 гг. (почвенный слой 0–20/20–40 см)

Обсуждая обеспеченность почв чайных плантаций фосфором в разные периоды их эксплуатации следует обязательно отметить очень высокую вариабельность показателей в пределах каждого из обсуждаемых участков. Это связано с неравномерностью внесения удобрений (как правило взброс в поверхностный слой почвы), с малой подвижностью фосфатов в кислых почвах и быстрой их фиксацией в очагах попадания удобрений. Кроме того, к сожалению, при обсуждении производственных плантаций нет возможности связать обеспеченность почв фосфором с конкретным количеством внесённых удобрений или с длительностью их отсутствия. В данном случае приходится ориентироваться лишь на общую ситуацию с применением удобрений в различные периоды существования отрасли чаеводства.

Более чёткое представление о формировании уровня обеспеченности почв подвижным фосфором в связи с длительностью и дозами фосфорных удобрений, а также потом в их отсутствии на протяжении длительного периода дают многолетние данные специального опыта (МФУ-опыт в разделе «Объекты и методы исследования»). Было установлено [17], что ежегодное внесение фосфорных удобрений в дозе 60 кг д.в./га (в сочетании с азотными и калийными удобрениями) в течение 26 лет привело в среднем к 1,5-кратному повышению содержания подвижных фосфатов

относительно исходного уровня, который в результате окультуривания почвы перед закладкой плантации достигал 380/320 мг/кг (в слое 0–20/20–40 см), превысив в 3 раза естественный уровень (130/100 мг/кг). При этом рост выражен в большей мере в верхнем почвенном слое (рис. 5, для P1). Именно эта доза позволила поддерживать оптимальный (и несколько выше) для культуры чая уровень содержания подвижных фосфатов в почве (400–500 мг/кг, согласно [10]). В результате внесения двойных и тройных доз фосфорных удобрений (120 и 180 кг д.в./га) исходный уровень был превышен 3–4-кратно (а естественный – в 8–9 раз), достигнув в среднем содержания 1 200–1 300/800–950 мг/кг (в 0–20/20–40 см). При этом резкий рост содержания подвижного фосфора в верхнем почвенном слое был отмечен в первые 5–7 лет, а в нижележащем слое только почти через 20 лет применения удобрений, очевидно после насыщения фосфором верхнего слоя [6].

Следует отметить, что, судя по данным опыта и обследованных производственных плантаций, для полностью насыщенных фосфором верхних слоев почвы характерно содержание подвижных P_2O_5 в среднем в пределах 1 200–1 600 мг/кг (в зависимости от почвенной разновидности).

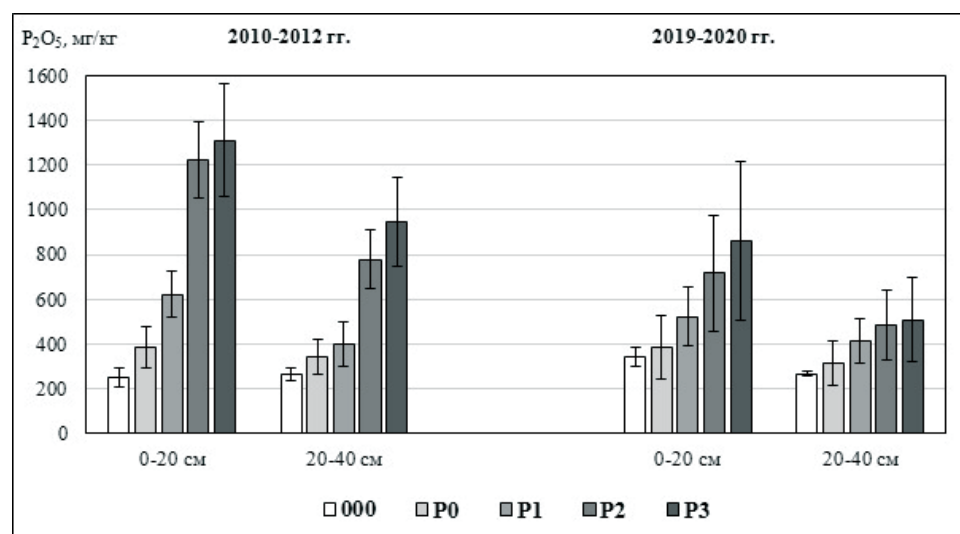


Рис. 5. Обеспеченность бурых лесных кислых почв МФУ-опыта (пос. Уч-Дере, «Дагомьсчай») подвижным фосфором в результате длительного внесения различных доз фосфорных удобрений и после их 8–9-летнего отсутствия (среднее по группам вариантов с нулевыми, одинарными, двойными, тройными дозами: P0, P1, P2, P3)

После прекращения внесения удобрений за 8–9-летний период в почве ранее не удобрявшихся фосфором вариантов, как и удобрявшихся одинарными дозами, уровень обеспеченности почв подвижными P_2O_5 существенно не изменился [17]. На вариантах, ранее удобрявшихся двойными и тройными дозами фосфорных удобрений, в отсутствие удобрений было выявлено 1,5–2-кратное снижение уровня обеспеченности почв относительно ранее достигнутого, а именно падение содержания в среднем на 450–500/300–400 мг/кг (в слое 0–20/20–40 см) (рис. 5). Однако содержание подвижного фосфора здесь всё ещё превышало исходное (до закладки опыта) в среднем в 2–2,5 раза, а естественный уровень (130/100 мг/кг) – в 5–6 раз.

Выводы. Таким образом, на примере целого ряда производственных участков чайных плантаций основных чаепроизводящих хозяйств г. Сочи («Дагомысчай», «Солохаульский чай», «Мацестинский чай», «Хоста-чай») представлен ретроспективный анализ изменения обеспеченности почв подвижным фосфором относительно их естественного уровня в нативных зональных почвах.

Показано, что в 1987–1992 гг. в результате интенсивного применения удобрений, содержание подвижного фосфора в верхнем почвенном слое большинства участков превысило в 2,5–3,0 раза естественный уровень, достигнув 380–450 мг/кг (оптимального для культуры). К 1994–1997 гг. обеспеченность почв под чайными плантациями в среднем более чем в 3–4 раза превышала естественный уровень и достигла высокого и сверхвысокого содержания подвижных P_2O_5 (650–900 мг/кг в слое 0–20 см, в ряде случаев значительно выше).

В 2004–2006 гг. многие чайные плантации, заложенные в 1950-е годы, характеризовались избыточно-высокой обеспеченностью почв подвижным фосфором (1 300–1 800/900–1 200 мг/кг), что в 8–12 раз превышало естественный уровень не только в слое 0–20 см, но и в слое 20–40 см, свидетельствуя о «зафосфаченности» почв. При этом плантации, заложенные в 1980-е годы, имели только среднюю обеспеченность почв (250–400/150 мг/кг), в 2–2,5 раза выше естественного уровня.

В 2009 и в 2018–2022 гг. почвы длительно эксплуатирующихся плантаций, несмотря на отсутствие системного применения минеральных удобрений с середины 1990-х гг. всё ещё имели очень высокую или избыточную обеспеченность фосфором (от 700–800 до 900–1 200 мг/кг в слое 0–20 см), превосходящую естественный уровень в 3,5–4 и даже 6–8 раз. В ряде случаев встречались явно «зафосфаченные» почвы (в среднем 1 200–1 400/950–1 050 мг/кг в слое 0–20/20–40 см). При этом на примере отдельных участков прослеживалось последовательное падение обеспеченности

почвы подвижным фосфором (с 1 700 до 900, затем до 500 мг/кг), что говорит не столько о потере общего запаса, сколько о переходе фосфора в малодоступные формы в отсутствие свежих поступлений. Зброшенные чайные плантации, эксплуатация которых была прекращена более 25 лет назад, имели как правило низкую обеспеченность почв подвижным фосфором (200–250/50–100 мг/кг), близкую к естественному уровню, лишь в некоторых случаях превышающую его в 2–3 раза.

Результаты длительного полевого опыта с удобрениями продемонстрировали, что внесение 120 и 180 кг д.в/га привело к 8–9-кратному повышению относительно естественного уровня, как в самом верхнем, так и в нижележащем слое (в среднем до 1 200–1 300 и 800–950 мг/кг), что свидетельствовало о «зафосфачивании» почвы. При этом резкий рост количества подвижных фосфатов произошёл в первые 5–7 лет в слое 0–20 см и только через 20 лет в слое 20–40 см. Спустя 8–9 лет после прекращения внесения удобрений содержание подвижного фосфора снизилось в 1,5–2 раза, но всё ещё превышало естественный уровень в 5–6 раз.

*Публикация подготовлена в рамках реализации
ГЗ ФИЦ СЦ РАН № FGRW-2021-0010*

Список литературы

1. Беседина Т.Д. Агрогенная трансформация почв влажных субтропиков России под культурой чая. Краснодар: КубГАУ, 2004, 169 с.
2. Дараселия М.К., Воронцов В.В., Гвасалия В.П., Цанава В.П. Культура чая в СССР. Тбилиси: Мецниереба, 1989, 558 с. ISBN: 5-520-00355-6.
3. Керимзаде В.В. Фракционный состав минеральных фосфатов бурых лесных кислых почв чайных плантаций при длительном применении минеральных удобрений: Научные исследования в субтропиках России: сб., Сочи: ВНИИЦиСК, 2013; 136–146.
4. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. М: Наука, 1985, 262 с.
5. Козлова Н.В., Малюкова Л.С. Фосфор в системе «почва- чайное растение» в условиях субтропиков России, Субтропическое и декоративное садоводство. 2010; 43-1 : 33–41.
6. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Фосфатный режим бурых лесных кислых почв субтропиков РФ при эксплуатации чайных плантаций с различной нагрузкой удобрениями, Плодоводство и ягодоводство России. 2018; 54 : 246–253. DOI: 10.31676/2073-4948-2018-54-246-253.
7. 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.
8. Малюкова Л.С., Козлова Н.В. Принцип подбора дифференцированных доз минеральных удобрений на чайных плантациях, Субтропическое и декоративное садоводство. 2012; 46-1 : 260–268.

9. Малоюкова Л.С., Козлова Н.В. Эффективность применения фосфорных удобрений при выращивании чая в условиях Черноморского побережья России, Субтропическое и декоративное садоводство. 2013; 49 : 332-340.
10. Малоюкова Л.С., Козлова Н.В., Пritула З.В. Система удобрения плантаций чая в субтропиках России. Сочи: ВНИИЦиСК, 2010, 45 с. ISBN: 978-5-904533-09-0.
11. Методические указания по технологии возделывания чая в субтропической зоне Краснодарского края. Сочи: НИИГСиЦ, 1977, 80 с.
12. Chen C.F., Hu C.Y., Liou M.L., Wu C.C., Su Y.S., Liu C.J. Application of Low-Phosphorous Fertilizers on Tea Plantations as a Novel Best Management Practice, Sustainability. 2014; 6 : 6985-6997. DOI: 10.3390/su6106985.
13. Ding Z., Jia S., Wang Y., Xiao J., Zhang Y. Phosphate stresses affect ionome and metabolome in tea plants, Plant Physiology and Biochemistry. 2017; 120 : 30-39. DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.09.007.
14. Hajiboland R. Environmental and Nutritional Requirements for Tea Cultivation, Folia horticultrae. 2017; 29(2) : 199-220. DOI: 10.1515/fhort-2017-0019.
15. Yan P., Shen C., Fan L., Li X., Zhang L., Zhang L., Han W. Tea planting affects soil acidification and nitrogen and phosphorus distribution in soil, Agriculture, Ecosystems & Environment. 2018; 254 : 20-25. DOI: 10.1016/j.agee.2017.11.015.
16. Kochian L.V., Hoekenga O.A., Pineros M.A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. Annu. Rev. Plant Biol. 2004; 55 : 459-93. DOI: 10.1146/annurev.arplant.55.031903.141655
17. Kozlova N.V., Malyukova L.S. Change in the soils' fertility level of tea agrocenoses in the transition to cultivation without mineral fertilizers in the humid-subtropical zone of Russia, E3S Web Conf. 2021; 254 : 05009. DOI: 10.1051/e3sconf/202125405009.
18. Lin Z.-H., Qi Y.-P., Chen R.-B., Zhang F.-Z., Chen L.-S. Effects of phosphorus supply on the quality of green tea, Food Chemistry. 2012; 130(4) : 908-914. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.08.008.
19. Neumann G., Römheld V. Rhizosphere Chemistry in Relation to Plant Nutrition, Mineral Nutrition of Higher Plants. 2012; 3 : 347-368. DOI: 10.1016/B978-0-12-384905-2.00014-5.
20. Salehi S.Y., Hajiboland R. A high internal phosphorus use efficiency in tea (*Camellia sinensis* L.) plants, Asian J Plant Sci. 2008; 7(1) : 30-36. DOI: 10.3923/ajps.2008.30.36.
21. Zhang J., Research on the soil nutrient characteristics of tea plantation, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018; 208 : 012079. DOI: 10.1088/1755-1315/208/1/012079.
22. Zoysa A., Loganathan P., Hedley M. Phosphorus utilisation efficiency and depletion of phosphate fractions in the rhizosphere of three tea (*Camellia sinensis* L.) clones, Nutrient Cycling in Agroecosystems; 1999; 53 : 189-201. DOI: 10.1023/A:1009706508627.

References

1. Besedina T.D. Agrogenic transformation of soils in humid subtropics of Russia under tea culture. Krasnodar: KubGAU, 2004, 169 p.
2. Daraselia M.K., Vorontsov V.V., Gvasalia V.P., Tsanova V.P. Tea culture in the USSR. Tbilisi: Metsniereba, 1989, 558 p. ISBN: 5-520-00355-6.
3. Kerimzade V.V. Fractional composition of mineral phosphates in acid brown forest soils with tea plantations at long application of mineral fertilizers: Scientific research in the subtropics of Russia: sat., Sochi: RRIF SC, 2013; 136-146.
4. Kovda V.A. Biogeochemistry of the soil cover. M.: Nauka, 1985, 262 p.

5. Kozlova N.V., Malyukova L.S. Phosphorus in the soil – tea plant system in the subtropical conditions of Russia, *Subtropical and ornamental horticulture*. 2010; 43-1 : 33-41.
6. Kozlova N.V., Kerimzade V.V. Phosphate regime of brown forest acidic soils of the subtropics of the Russian Federation during the operation of tea plantations with various loads of fertilizers, *Fruit and berry growing in Russia*. 2018; 54 : 246-253. DOI: 10.31676/2073-4948-2018-54-246-253.
7. Malyukova L.S. Optimization of soil fertility and the use of mineral fertilizers in tea cultivation in Russia. Sochi: RRIF SC, 2014, 416 p. ISBN: 978-5-904533-22-9.
8. Malyukova L.S., Kozlova N.V. The principle of selection of differentiated doses of mineral fertilizers on tea plantations, *Subtropical and ornamental horticulture*. 2012; 46-1 : 260-268.
9. Malyukova L.S., Kozlova N.V. The effectiveness of the use of phosphorus fertilizers in tea cultivation in the conditions of the Black Sea coast of Russia, *Subtropical and ornamental horticulture*. 2013; 49 : 332-340.
10. Malyukova L.S., Kozlova N.V., Pritula Z.V. The system of fertilization of tea plantations in the subtropics of Russia. Sochi: RRIF SC, 2010, 45 p. ISBN: 978-5-904533-09-0.
11. Guidelines for the technology of tea cultivation in the subtropical zone of the Krasnodar Territory. Sochi: RRIF SC, 1977, 80 p.
12. Chen C.F., Hu C.Y., Liou M.L., Wu C.C., Su Y.S., Liu C.J. Application of Low-Phosphorous Fertilizers on Tea Plantations as a Novel Best Management Practice, *Sustainability*. 2014; 6 : 6985-6997. DOI: 10.3390/su6106985.
13. Ding Z., Jia S., Wang Y., Xiao J., Zhang Y. Phosphate stresses affect ionome and metabolome in tea plants, *Plant Physiology and Biochemistry*. 2017; 120 : 30-39. DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.09.007.
14. Hajiboland R. Environmental and Nutritional Requirements for Tea Cultivation, *Folia horticultrae*. 2017; 29(2) : 199-220. DOI: 10.1515/fhort-2017-0019.
15. Yan P., Shen C., Fan L., Li X., Zhang L., Zhang L., Han W. Tea planting affects soil acidification and nitrogen and phosphorus distribution in soil, *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2018; 254 : 20-25. DOI: 10.1016/j.agee.2017.11.015.
16. Kochian L.V., Hoekenga O.A., Pineros M.A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2004; 55 : 459-93. DOI: 10.1146/annurev.arplant.55.031903.141655.
17. Kozlova N.V., Malyukova L.S. Change in the soils' fertility level of tea agrocenoses in the transition to cultivation without mineral fertilizers in the humid-subtropical zone of Russia, *E3S Web Conf.* 2021; 254 : 05009. DOI: 10.1051/e3sconf/202125405009.
18. Lin Z.-H., Qi Y.-P., Chen R.-B., Zhang F.-Z., Chen L.-S. Effects of phosphorus supply on the quality of green tea, *Food Chemistry*. 2012; 130(4) : 908-914. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.08.008.
19. Neumann G., Römheld V. Rhizosphere Chemistry in Relation to Plant Nutrition, *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2012; 3 : 347-368. DOI: 10.1016/B978-0-12-384905-2.00014-5.
20. Salehi S.Y., Hajiboland R. A high internal phosphorus use efficiency in tea (*Camellia sinensis* L.) plants, *Asian J. Plant Sci.* 2008; 7(1) : 30-36. DOI: 10.3923/ajps.2008.30.36.
21. Zhang J., Research on the soil nutrient characteristics of tea plantation, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018; 208 : 012079. DOI: 10.1088/1755-1315/208/1/012079.
22. Zoysa A., Loganathan P., Hedley M. Phosphorus utilisation efficiency and depletion of phosphate fractions in the rhizosphere of three tea (*Camellia sinensis* L.) clones, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*; 1999; 53 : 189-201. DOI: 10.1023/A:1009706508627.

**PHOSPHORUS AVAILABILITY IN SOILS
OF TEA PERENNIAL AGROCEANOSES
IN THE HUMID SUBTROPICS
OF RUSSIA**

Kozlova N.V., Kerimzade V.V.

*Federal Research Centre
the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences,
Sochi, Russia, e-mail: kozlovanvagro@yandex.ru*

The paper presents a retrospective assessment of available phosphorus in the soils under tea plantations according to the soil-agrochemical surveys conducted by tea-producing farms in Sochi. Plantations established in the 1950s contained on average 380–450 mg/kg of mobile P_2O_5 by 1987–1992, which is optimal for the plant and 2.5–3 times higher than the natural level. By 1994–1997, the availability reached a high/ultra-high level (650–900 mg/kg in a layer 0–20 cm), 3–4 times higher than natural. In 2004–2006, many plantations showed signs of "overphosphating" with an excessively high content of P_2O_5 (1 300–1 800/900–1 200 mg/kg in layers 0–20/20–40 cm), 8–12 times higher than natural. This was a consequence of the intensive use of mineral fertilizers in the 1970s – early 1990s. At the same time, the plantations established in the 1980s had an average soil availability (250–400/150 mg/kg). In 2009 and in 2018–2022, the soils under long-cultivated plantations, despite the absence of systematic fertilizers application since the mid-1990s, still had a very high or excessive phosphorus supply (from 700–800 to 900–1 200 mg/kg in a layer 0–20 cm); there were also clearly "overphosphated" soils. But according to data from different years for specific sites, a drop in the concentration of mobile phosphates (1 700 → 900 → 500 mg/kg) was observed in the absence of fresh receipts. Plantations abandoned more than 25 years ago had a low soil availability (200–250/50–100 mg/kg P_2O_5). The change in the available phosphorus in soils depending on the doses and duration of fertilizers application, and then in their absence, is demonstrated by a special field experiment: soil "overphosphating" (1 200–1 300/800–950 mg/kg in a layer 0–20/20–40 cm) as a result of the introduction of 120 and 180 kg of active agent/ha, with a sharp increase in the content of mobile phosphates in the upper layer for 5–7 years and in 20 years, was deeper; in the absence of fertilizers, the content dropped by 1.5–2.0 times for 8–9 years.

Key words: mobile phosphorus, acidic soils, tea plantations, humid subtropics, mineral fertilizers, extensive and intensive cultivation, overphosphating.