

**ВЛИЯНИЕ КОРНЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ  
БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (S, Mg, Ca, B, Zn)  
НА СОДЕРЖАНИЕ ФОСФОРА И КАЛИЯ В ЛИСТЬЯХ  
ЧАЙНОГО РАСТЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВЛАЖНЫХ  
СУБТРОПИКОВ РОССИИ**

**Великий А.В.**

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

*Великий А.В. [orcid.org/0000-0001-7612-3021](https://orcid.org/0000-0001-7612-3021)*

В условиях сочинского Черноморского побережья в длительном полевом опыте на культуре чая изучено влияние почвенного внесения мезо- и микроудобрений (S, Mg, Ca, B, Zn) в сочетании с оптимальными дозами NPK-удобрений на накопление фосфора и калия в растениях. По многолетним данным (2011–2022 гг.) установлено, что их содержание в листьях и флешах чая в первую очередь отражает достаточный уровень обеспеченности почв и растений фосфором и калием при регулярном внесении фосфорно-калийных удобрений. Содержание фосфора и калия в зрелом листе чая в течение вегетации в среднем изменялось в пределах 0,48–0,63 % и 1,93–2,35 % (соответственно), без существенных различий по вариантам опыта, с тенденцией повышения к концу вегетации. Содержание фосфора и калия в растущих побегах чая (3-листных флешах) в течение вегетации в среднем в 2 и 1,2 раза больше, чем в зрелых листьях. Так содержание фосфора, при несущественных различиях по вариантам опыта, изменялось в диапазоне 0,93–1,15 %; повышенное содержание отмечено в мае, в период наиболее интенсивного роста побегов. Содержание калия в чайных флешах в среднем варьировало в диапазоне 2,41–2,73 %, без отличий от контроля (фон NPK); отмечена тенденция повышения при внесении бора, серы, кальция и смеси элементов (Zn, B, Mg) к концу вегетации. На более высокоурожайных вариантах с применением мезо- и микроэлементов выносятся на 14,5–27,7 % больше фосфора и калия, чем на варианте с внесением только макроудобрений, что, однако полностью компенсировалось внесением фосфорно-калийных удобрений. Установлена достоверно значимая прямая корреляция содержания танина в чайном сырье с содержанием калия и обратная с содержанием фосфора в майский период сбора урожая.

**Ключевые слова:** чай, химический состав листьев, фосфор, калий, микроэлементы.

**Введение.** Химические элементы играют важную роль в жизни растений. Однако их содержание в растении и его отдельных органах довольно изменчиво и сильно варьирует как в элементном, так и в количественном диапазоне. Это зависит от видовых и сортовых биологических особенностей растений, их физиологического состояния, от стадий развития, как растения, так и изучаемого вегетативного или генеративного органа. Также влияние оказывают абиотические условия произрастания растений (метеорологические факторы, тип почвы и уровень содержания в ней подвижных форм элементов) и антропогенные факторы (агротехника выращивания культуры, виды и дозы вносимых удобрений, сроки и способы их внесения) [2, 3, 4, 5, 10, 15].

На совместном исследовании этих факторов, а также валового содержания питательных элементов в растении и подвижных форм этих элементов в почве основывается химическая диагностика минерального питания растений [13], которая при своевременном проведении позволяет скорректировать выполнение агротехнических мероприятий для получения высоких урожаев хорошего качества у различных сельскохозяйственных культур. Большой набор элементов в составе чайного сырья, а также широкий диапазон варьирования их концентраций усложняет задачу высокоточной комплексной диагностики, а также анализ и стандартизацию качества чая в связи с элементным составом [23, 24].

Молодые листовые побеги (флешы) – главный продукт, получаемый на чайных плантациях, для их производства чайные растения нуждаются в значительных количествах питательных элементов, особенно таких макроэлементов, как азот (N), фосфор (P) и калий (K) [10, 22]. В нашем черноморском регионе для оценки обеспеченности почв и растений чая основными макроэлементами и некоторых микроэлементов успешно применяется «листовая диагностика» по валовому анализу зрелых активно функционирующих листьев и флешей [9, 10]. Из основных элементов минерального питания растения чая наиболее требовательны к азоту и остро реагируют как на его недостаток, так и на избыток, при этом если недостаток азота приводит к снижению урожая, то избыток – к снижению показателей качества [9, 10]. О роли фосфорных и калийных удобрений в формировании урожая и качества чая в мире имеются разные мнения, говорящие как о положительном их влиянии, так и об отрицательном. В исследованиях было показано, что фосфор изменяет метаболизм минералов и метаболитов в чайных растениях, и поэтому влияет на урожайность и качество чая [16, 17]. Калий участвует в синтезе аминокислот, кофеина, а также может значительно улучшить экстракцию веществ водой [20]. При этом в других экспериментах сообщ-

щается, что на фоне высокой обеспеченности почв длительно удобряемых чайных плантаций подвижными формами фосфора и калия, нет явных закономерностей влияния удобрений, содержащих эти элементы, на урожайность и качество чая [10].

Чайные плантации зачастую чрезмерно удобряются макроэлементами (NPK) для усиления роста и повышения урожайности, что приводит к нарушению баланса и режима питательных элементов в почве, к подкислению чаепригодных почв и изменению подвижности химических элементов, а в результате к снижению обеспеченности растений многими жизненно необходимыми мезо- и микроэлементами (Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn) [10]. Несбалансированное поступление питательных веществ из почвы подавляет синтез биохимических компонентов чайных флешей и ведёт к снижению качества чайного сырья [18]. Для устранения возможного дисбаланса в питании растений и восполнения почвенных запасов применяется внесение важнейших биогенных мезо- и микроэлементов, как в почву, так и в виде листовых подкормок [3, 6, 10, 14]. Как это влияет на поступление базовых биогенных макроэлементов (фосфора, калия) в растения чая, остаётся недостаточно изученным.

**Целью исследований** являлось изучение влияния мезо- и микроудобрений (S, Mg, Ca, B, Zn), вносимых в почву на фоне оптимальных доз макроудобрений, на накопление фосфора и калия в листьях и молодых побегах чая в условиях влажных субтропиков России.

**Объекты и методы исследований.** Мелкоделяночный полевой опыт по изучению микроэлементов заложен в 2003 г. на чайной плантации, посаженной районированным сортом 'Колхида' в 1983 г. (координаты участка 43°69'N, 39°64'E; ЗАО «Дагомысчай», пос. Уч-Дере, Лазаревский район г. Сочи). Площадь исследуемых делянок – 10 м<sup>2</sup>, делянки в опыте представлены в трёхкратной повторности. Общая площадь опыта (включающая опытные и защитные ряды) составляет 0,05 га. Опыт проводится на бурых лесных кислых окультуренных почвах (согласно [7]).

Схема опыта (в кг д.в./га):

- 1) контроль – фон N240P70K90;
- 2) сульфат магния (MgSO<sub>4</sub>) – Mg60,
- 3) кристаллическая сера (S 1 000), оба эти варианта с 2015 года изучаются в последствии;
- 4) сульфат цинка (ZnSO<sub>4</sub>) – Zn4,3, с 2017 года изучается в последствии, в связи с увеличением подвижного цинка в почве в 2–4 раза;
- 5) борная кислота (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) – B6;
- 6) смесь Zn + B + Mg (4,3, 6, 60, соответственно);
- 7) кальцийсодержащий природный материал (40–50 % CaO) вносится в количестве 250 кг/га [3].

Каждый год эти вещества вносили на едином фоне N240P70K90 кг д.в./га в весенний период с заделкой в верхний слой почвы. Дозы мезо- (Mg, Ca) и микроэлементов (Zn, B) подобраны с учётом результатов, полученных в полевых опытах в условиях Западной Грузии [6, 14].

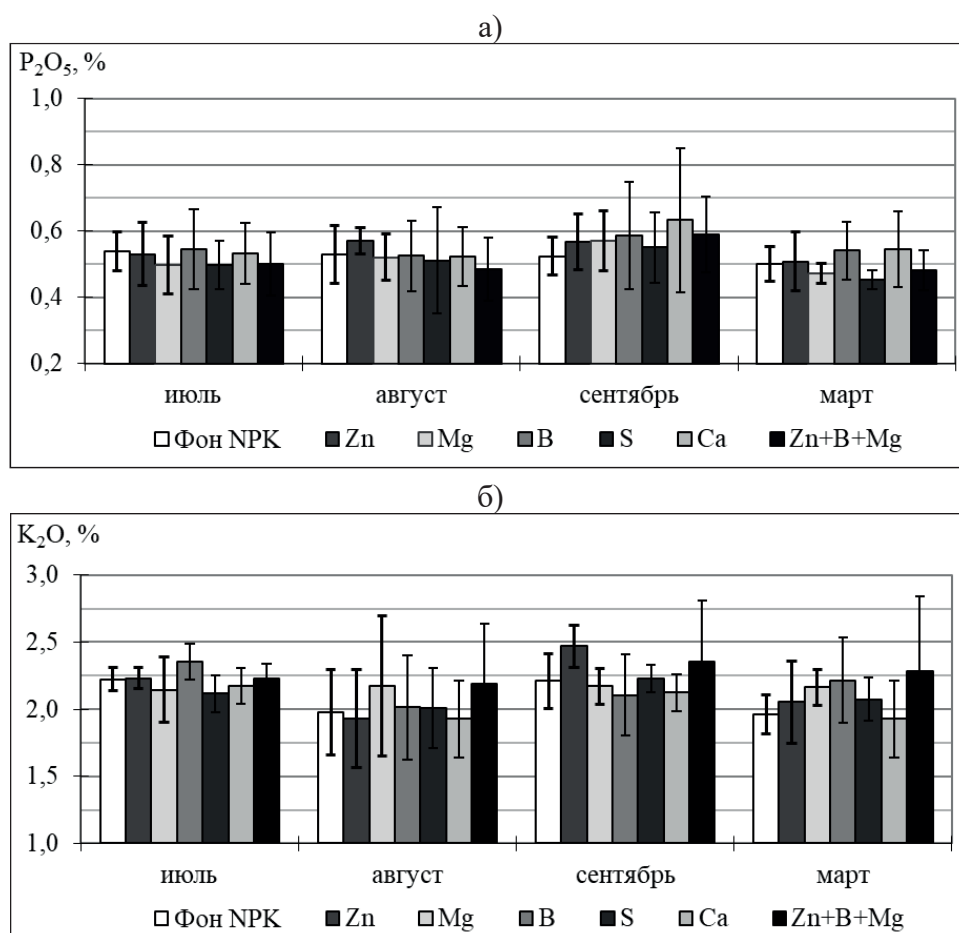
Образцы зрелых листьев (1–2-й от недоразвитого рыбьего на ростовом побеге текущего года) и чайного сырья (3-листные флешы) отбирали в течение вегетационных периодов 2011–2022 гг. Физиологически зрелые листья отбирали, начиная с 3-месячного возраста (июль) и заканчивая 10-месячным (март следующего года); 3-листные флешы отбирали в течение листосборного периода, в основные волны роста, при подходе их к сбору. Химический состав листьев и флешей определяли классическим методом после кислотного озоления растительных образцов смесью кислот  $H_2SO_4$  и  $HClO_4$  [1]. Далее фосфор определяли колориметрически по стандартной методике на приборе УСФ-01 (Россия), калий – методом атомно-абсорбционной спектроскопии (в режиме эмиссии) на приборе КВАНТ – АФА (Россия) [1, 11]. Обобщение данных, полученных в период 2011–2022 гг., проведено с помощью методов статистической обработки в программе Microsoft Excel. В диаграммах представлено среднее  $\pm$  стандартное отклонение.

**Результаты и их обсуждения.** Обобщение многолетних данных показало, что среднее содержание фосфора в зрелых листьях чая в течение вегетационного периода преимущественно составляло 0,48–0,55 %, некоторое повышение характерно к концу вегетации – до 0,52–0,63 % в сентябре (рис. 1а). Существенных различий между вариантами опыта и периодами вегетации не выявлено. Вариабельность показателей по вариантам опыта составляла от 5–10 до 15–20 % (в отдельных случаях до 30 %). Можно отметить тенденцию снижения содержания фосфора в листьях чая на вариантах с магнием, серой и смесью элементов (цинка, бора, магния) относительно контроля – фонового внесения NPK и других вариантов (с внесением цинка, бора, кальция) (рис. 1а; см. июль, август, март). При повышенном в целом содержании фосфора в листьях в сентябре, наиболее высоким оно было на вариантах с бором, кальцием и смесью элементов (рис. 1а).

Среднее содержание калия в зрелых листьях чая в течение вегетационного периода в основном находилось в диапазоне 2,00–2,35 % (в отдельных случаях до 2,47 %), некоторое снижение отмечено в августе – до 1,93–2,17 %, что может быть связано с началом цветения чайных растений (рис. 1б). Вариабельность показателей по вариантам опыта в основном составляла 5–20 %, в отдельных случаях доходя до 30 %. Как и по содержанию фосфора, существенных различий по содержанию калия

между вариантами опыта и периодами вегетации не установлено. Несколько более высокий его уровень в листьях чая опытной плантации отмечен в сентябре, в особенности на вариантах с внесением Zn и смеси элементов (Zn, B, Mg) (рис. 1б).

В общем, количество фосфора (0,48–0,63 %) и калия (1,93–2,35 %) в листьях чайных растений на всех вариантах опыта оценивалось, соответственно, как среднее и высокое (рис. 1а и 1б), согласно действующим градациям по обеспеченности растений чая [9]. Влияние исследуемых в опыте микроэлементов на накопления листьями чая фосфора и калия на фоне применения макроэлементов не было чётко выражено.



**Рис. 1.** Среднее содержание фосфора и калия в листьях чая сорта ‘Колхида’ по вариантам опыта (2011–2022 гг.): июль, август, сентябрь, март – 3-, 4-, 5- и 10-месячный возраст листа, соответственно

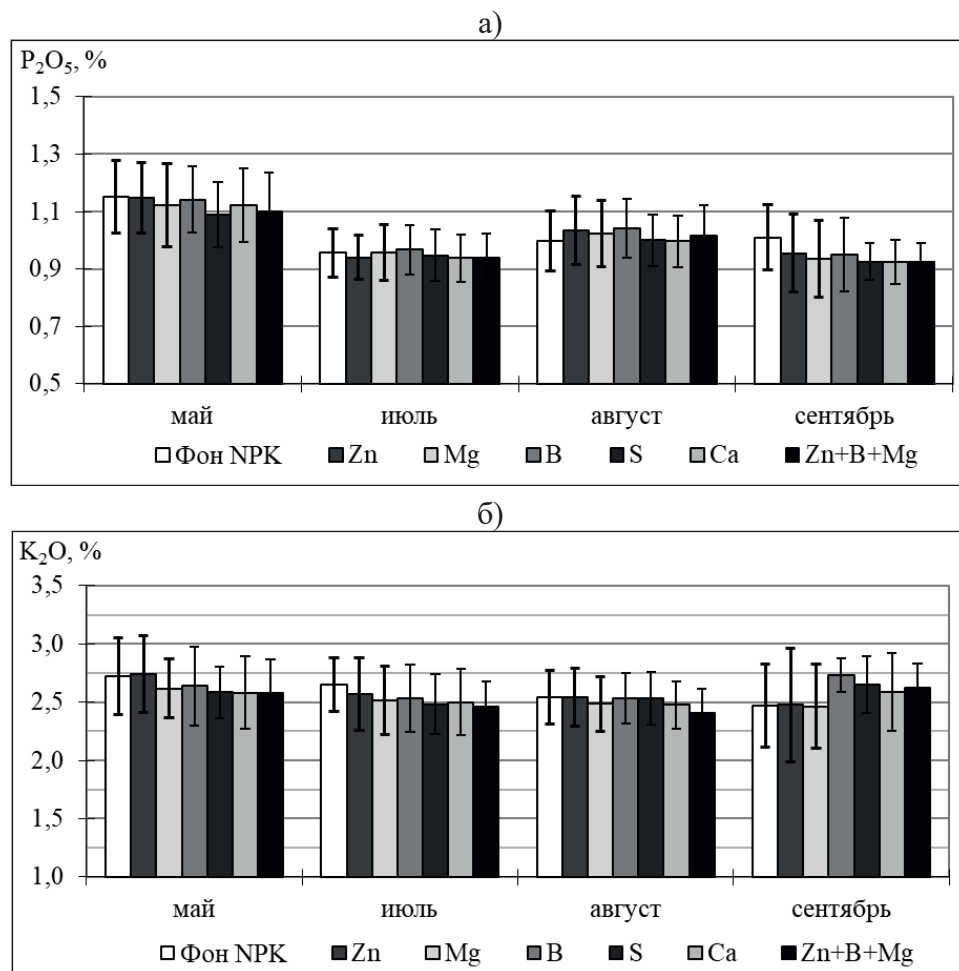
**Fig. 1.** The average content of phosphorus and potassium in tea leaves of ‘Kolkhida’ cultivar according to the experimental variants (2011–2022): July, August, September, March – 3, 4, 5 and 10 months of leaf age, respectively

Как показали исследования элементного состава чайного сырья, проведённые в период 2011–2022 гг., средние значения содержания фосфора в 3-листной флешке изменялись в диапазоне 0,93–1,15 %, при несущественных различиях по вариантам опыта (рис. 2а). Вариабельность показателей составляла 7–14 %. При этом можно отметить в общем, для всех вариантов повышенное содержания фосфора в мае, что может быть связано с наиболее активным ростом чайных побегов в этот период, а также поступлением легкодоступных фосфатов с удобрениями в конце марта – начале апреля.

Среднее содержание калия в 3-листных флешках растений чая было также достаточно стабильно в течение вегетации и находилось в диапазоне 2,41–2,73 %, без существенных отличий вариантов опыта с внесением мезо- и микроэлементов от контроля (фоновое внесение NPK), при вариабельности показателей 9–15 %. Отмечена тенденция повышенного содержания калия в сентябре на вариантах с применением серы, кальция и смеси элементов (совместное внесение цинка, бора и магния), но в особенности бора (рис. 2б).

Содержание фосфора и калия в 3-листных чайных флешках в течение вегетации в среднем в 2 и 1,2 раза больше, чем в зрелых листьях, что обусловлено приоритетным обеспечением растущих побегов питательными элементами.

Отсутствие существенных различий по вариантам опыта по содержанию фосфора и калия как в зрелых листьях чая, так и в молодых побегах (флешках) обусловлено достаточной фосфатной и калийной обеспеченностью почвы и растений при регулярном применении фосфорно-калийных удобрений (следовательно, с отсутствием явного дефицита). Так как в период проведения эксперимента в почве опытной чайной плантации содержание подвижного фосфора поддерживалось на уровне 300–700 мг/кг, подвижного калия – 300–500 мг/кг почвы). Также это объясняется способностью растений регулировать потребление биогенных элементов в необходимых количествах, определенных их видовой и сортовой спецификой, не допуская их избыточного поступления [2]. В частности, целый ряд исследований свидетельствует о том, что растения чая благодаря своим биологическим особенностям, вне зависимости от количества фосфатов в почве, способны регулировать его потребление, поддерживая концентрацию в тканях и органах на определённом уровне в зависимости от фазы развития и вегетации [2, 8, 10]. В том числе отмечается высокая устойчивость растений чая к дефициту фосфора, эффективность внутреннего его использования, способность усиливать мобилизацию почвенных фосфатов [19, 21].



**Рис. 2.** Среднее содержание фосфора и калия в 3-листных флешах чая сорта 'Колхида' в течение листосборного периода (2011–2022 гг.)

**Fig. 2.** The average content of phosphorus and potassium in 3-leaf flushes of 'Kolkhida' cultivar during the leaf-collecting period (2011–2022)

Изучение химического состава чайных флешей и урожайности по вариантам опыта, позволило определить средний ежегодный вынос фосфора и калия с урожаем (табл. 1). За период 2011–2022 гг. средний урожай чая сорта 'Колхида' варьировал в диапазоне 4 495–5 986 кг/га. Многолетняя вариабельность показателей с учётом проявления благоприятных и неблагоприятных метеорологических явлений составила 44–50 %. На вариантах с внесением цинка, кальция, бора, совместного применения смеси элементов (Zn + B + Mg) было получено достоверное увеличение урожая в сравнении с контролем на 700–1 400 кг/га (или на 15–30 %). Повышение урожайности пропорционально отразилось



и на выносе элементов. На более высокоурожайных вариантах с применением мезо- и микроэлементов выносятся на 14,5–27,7 % больше фосфора и калия, чем на варианте с внесением только макроудобрений (табл. 1). При этом следует отметить, что вынос фосфора (12–15 кг/га) и калия (30–39 кг/га) полностью компенсируется внесением 70 кг  $P_2O_5$ /га и 90 кг  $K_2O$ /га с удобрениями.

**Таблица 1. Средний ежегодный вынос фосфора и калия урожаем чая**  
**Table 1. The average annual removal of phosphorus and potassium by tea harvest**

Вариант	Средняя урожайность	Вынос по периодам сбора урожая				Суммарный вынос
		май	июль	август	сентябрь	
	кг/га	$P_2O_5$ , кг/га				
Фон NPK	4 572	7,0	2,6	2,3	0,6	12,5
Zn	5 276	7,7	3,2	2,6	0,8	14,4
Mg	4 543	6,5	2,8	2,2	0,6	12,2
B	5 986	8,5	3,5	3,2	0,8	16,0
S	4 495	6,0	2,6	2,2	0,9	11,7
Ca	5 691	8,1	3,3	3,0	0,7	15,0
Zn + B + Mg	5 858	7,5	3,6	3,1	1,1	15,2
		$K_2O$ , кг/га				
Фон NPK	4 572	16,5	7,3	5,9	1,5	31,2
Zn	5 276	18,5	8,6	6,5	2,2	35,7
Mg	4 543	15,3	7,4	5,3	1,6	29,6
B	5 986	19,7	9,2	7,7	2,8	39,3
S	4 495	14,1	6,7	5,7	2,6	29,1
Ca	5 691	18,6	8,7	7,4	1,9	36,5
Zn + B + Mg	5 858	17,5	9,4	7,3	3,0	37,3

Сопряжённый анализ химического (элементного) и биохимического состава чайного сырья помог выявить и оценить возможные связи параметров качества чая с содержанием фосфора и калия в 3-листной флешки (табл. 2). Достоверно значимыми являлись прямая связь танина с содержанием калия и обратная связь танина с фосфором во флешки в майский период сбора урожая (табл. 2). На обратную связь танина и фосфора указывали и другие исследователи [10, 12]. В июльский период таких связей с фосфором и калием не установлено (табл. 2).



**Таблица 2. Корреляционные связи элементного и биохимического состава 3-листной флеша чая в различные периоды сбора****Table 2. Correlations of elemental and biochemical composition of 3-leaf tea flushes at different harvest periods**

Месяц	май		июль	
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Показатели				
Экстрактивные вещества	0,06	-0,44	0,32	0,19
Танин	-0,72	0,82	0,04	-0,17

**Заключение.** Таким образом, в ходе многолетних исследований выявлено, что при внесении различных мезо- и микроэлементов на едином фоне оптимальных доз NPK-удобрений содержание фосфора и калия в зрелых листьях чая и 3-листных флешах (чайном сырье) довольно стабильно и существенно не различается по вариантам опыта. Это связано с достаточной фосфатной и калийной обеспеченностью почвы и растений при регулярном применении фосфорно-калийных удобрений и с биологической способностью растений регулировать потребление данных элементов в необходимых количествах. Содержание фосфора и калия в зрелом листе чая в среднем находилось в диапазонах 0,48–0,63 % и 1,93–2,35 %, соответственно. Содержание фосфора в 3-листных флешах чая в среднем колебалось в диапазоне 0,93–1,15 %, при этом можно отметить тенденцию его повышенного содержания в мае, в период наиболее активного роста побегов. Содержание калия в чайных флешах варьировало в диапазоне 2,41–2,73 %, с тенденцией повышения при внесении некоторых биогенных элементов (серы, кальция, смеси Zn + B + Mg, но в особенности бора) к концу листосборного периода в сентябре. Выявлено, что на более высокоурожайных вариантах с применением мезо- и микроэлементов на фоне оптимальных доз NPK выносятся на 14,5–27,7 % больше фосфора и калия, чем на варианте с внесением только макроудобрений, что, однако полностью компенсируется внесением РК-удобрений. Содержание калия и фосфора в 3-листных флешах влияло на качество чайного сырья. Установлена достоверно значимая прямая корреляционная связь содержания танина с содержанием калия и обратная с содержанием фосфора в майский период сбора урожая.

*Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ФИЦ ШЦ РАН FGRW-2021-0010, № государственной регистрации 122032400081-5*

Список литературы/References

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975; 656 с. [Agrochemical methods of soil research. M.: Nauka, 1975; 656 p. (In Rus)].
2. Барбер С.А. Биологическая доступность питательных веществ в почве. М.: ВО «Агропромиздат», 1988; 314 с. [Barber S.A. Bioavailability of nutrients in soil. M.: VO Agropromizdat, 1988; 314 p. (In Rus)].
3. Белоус О.Г. Микроэлементы на чайных плантациях субтропиков России. Краснодар: КГАУ, 2006; 164 с. [Belous O.G. Trace elements on tea plantations of subtropical Russia. Krasnodar: KGAU, 2006; 164 p. (In Rus)].
4. Великий А.В., Козлова Н.В. Содержание цинка в листьях и флешах растений чая (*Camelliasinensis* (L) O. Kuntze) при применении Zn-содержащих удобрений в условиях субтропиков РФ, Вестник АПК Ставрополя. 2019; 2(34) : 39-42. [Velikiy A.V., Kozlova N.V. Zinc content in leaves and flushes of tea plants (*Camelliasinensis* (L) O. Kuntze) when using Zn-containing fertilizers in the subtropics of the Russian Federation. Bulletin of the Agroindustrial complex of Stavropol. 2019; 2(34) : 39-42. (In Rus)]. DOI: 10.31279/2222-9345-2019-8-34-39-42.
5. Великий А.В., Малюкова Л.С. Содержание меди в листьях чая (*Camelliasinensis* (L.) O. Kuntze) на фоне применения различных видов удобрений в условиях субтропиков РФ, Проблемы агрохимии и экологии. 2020; 4 : 24-29. [Velikiy A.V., Malyukova L.S. Copper content in tea leaves (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) against the background of the use of various types of fertilizers in the subtropics of the Russian Federation, Problems of agrochemistry and ecology. 2020; 4 : 24-29. (In Rus)]. DOI: 10.26178/AE.2020.70.43.004.
6. Дараселия М.К., Воронцов В.В., Гвасалия В.П., Цанав В.П. Культура чая в СССР. Тбилиси: Мецниереба, 1989; 558 с. [Daraselia M.K., Vorontsov V.V., Gvasalia V.P., Tsanova V.P. Tea culture in the USSR. Tbilisi: Metsniereba, 1989; 558 p. (In Rus)]. ISBN: 5-520-00355-6.
7. Классификация и диагностика почв. М.: Колос, 1977. 223 с. [Classification and diagnostics of soils. Moscow: Kolos, 1977; 223 p. (In Rus)].
8. 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. [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(In Rus)]. ISSN: 2225-3068.
9. Малюкова Л.С. Козлова Н.В. Методические рекомендации по комплексной почвенно-растительной диагностике минерального питания чая. Сочи: ВНИИЦиСК, 2010; 37 с. [Malyukova L.S. Kozlova N.V. Methodological recommendations for complex soil-plant diagnostics of mineral nutrition of tea. Sochi: ARSRIFandOC, 2010; 37 p. (In Rus)]. ISBN: 978-5-904533-05-2.
10. Малюкова Л.С. Оптимизация плодородия бурых лесных почв и применения минеральных удобрений при выращивании чая в России. Сочи: ВНИИЦиСК, 2014; 416 с. [Malyukova L.S. Optimization of the fertility of brown forest soils and the use of mineral fertilizers in tea cultivation in Russia. Sochi: ARSRIFandOC, 2014; 416 p. (In Rus)]. ISBN: 978-5-904533-22-9.
11. Методические указания по определению микроэлементов в почвах, кормах и растениях методом атомно-абсорбционной спектроскопии. М.: ЦИНАО, 1985; 95 с. [Guidelines for the determination of trace elements in soils, feeds and plants by atomic absorption spectroscopy. Moscow: TsINAO, 1985; 95 p. (In Rus)].
12. Пritула З.В. Малюкова Л.С., Козлова Н.В. Влияние минеральных удобрений на биохимические показатели качества чайного листа сорта 'Колхида' в условиях субтропиков России, Агрохимия. 2011; 3: 33-40. [Pritula Z.V. Malyukova L.S., Kozlova N.V. Influence of mineral fertilizers on biochemical quality indicators of 'Colchis' tea leaf in the subtropical conditions of Russia, Agrochemistry. 2011; 3 : 33-40. (In Rus)].
13. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур. М.: ВО «Агропромиздат», 1990. 235 с. [Tserling V.V. Diagnostics of nutrition of agricultural crops. M.:

VO Agroproizdat, 1990. 235 p. (In Rus)].

14. Шавишвили Л.М. Влияние магния и микроэлементов В, Zn, Со и Мо на некоторые физиолого-биохимические процессы чайного растения. Автореф. канд. дис.. Тбилиси, 1973. [Shavishvili L.M. Influence of magnesium and trace elements В, Zn, Со and Мо on some physiological and biochemical processes of the tea plant. Abstract of the cand. dis.. Tbilisi, 1973. (In Rus)].

15. Ягодин Б.А., Смирнов П.М., Петербургский А.В. Агрохимия. М.: Агропроиздат, 1989. 639 с. [Yagodin B.A., Smirnov P.M., Petersburgsky A.V. Agrochemistry. M.: Agroproizdat, 1989. 639 p. (In Rus)].

16. 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.

17. 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.

18. Ma L., Chen H., Shan Y., Jiang M., Zhang G., Wu L., Ruan J., Lv J., Shi Y., Pan L. Status and suggestions of tea garden fertilization on main green tea-producing counties in Zhejiang province, *J. Tea Sci*. 2013; 33 : 74-84. ISSN: 1000-369X.

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. Ruan J., Ma L., Shi Y. Potassium management in tea plantations: its uptake by field plants, status in soils, and efficacy on yields and quality of teas in China, *J. Plant Nutr. Soil Sci*. 2013; 176 : 450-459. DOI: 10.1002/jpln.201200175.

21. 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.

22. Sun L., Liu Y., Wu L., Liao H. Comprehensive analysis revealed the close relationship between N/P/K status and secondary metabolites in tea leaves, *ACS Omega*. 2019; 4 : 176-184. DOI: 10.1021/acsomega.8b02611.

23. Szymczycha-Madeja A.S., Welna M., Pohl P. Elemental analysis of teas and their infusions by spectrometric methods, *Trends in Analytical Chemistry*. 2012; 35 : 165-181.

24. Yashin A.Y., Nemzer B.V., Combet E., Yashin Y.I. Determination of the chemical composition of tea by chromatographic methods: a review, *Journal of Food Research*. 2015; 4(3) : 56-88. ISSN: 1927-0887.

**THE EFFECT OF ROOT APPLICATION  
OF BIOGENIC ELEMENTS (S, Mg, Ca, B, Zn)  
ON THE PHOSPHORUS AND POTASSIUM CONTENT  
IN TEA LEAVES IN HUMID SUBTROPICAL  
CONDITIONS OF RUSSIA**

**Veliky A.V.**

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

In the conditions of Sochi Black Sea coast, in a long-term field experiment on tea crop, the effect of meso- and microfertilizers (S, Mg, Ca, B, Zn) application in combination with NPK fertilizers at optimal doses on the accumulation of phosphorus and potassium in plants was studied. According to long-term data (2011–2022), it was found that their content in tea leaves and flushes primarily reflects a

sufficient level of soils and plants' supply with phosphorus and potassium with regular application of phosphorus-potassium fertilizers. The content of phosphorus and potassium in mature tea leaves during the growing season varied on average between 0.48–0.63 % and 1.93–2.35 % (respectively), without significant differences in the experimental variants, with a tendency to increase by the end of the growing season. The content of phosphorus and potassium in growing tea shoots (3-leaf flushes) during the growing season is on average 2 and 1.2 times higher than in mature leaves. Thus, phosphorus content, with insignificant differences in the experimental variants, varied in the range of 0.93–1.15 %; the increased content was recorded in May, during the period of the most intensive shoot growth. Potassium content in tea flushes varied on average in the range of 2.41–2.73 %, without differences from the control (background NPK); there was a tendency to increase with the addition of boron, sulfur, calcium and mixed elements (Zn, B, Mg) by the end of the growing season. In higher-yielding variants with meso- and microelements, 14.5–27.7 % more phosphorus and potassium are taken out than in the variant with the introduction of only macrofertilizers, which, however, was fully compensated by the introduction of phosphorus-potassium fertilizers. A significant direct correlation of the tannin content in tea raw materials with the potassium content and the reverse with the phosphorus content in May harvest period was established.

**Key words:** tea, chemical composition of leaves, phosphorus, potassium, microelements.