

СОДЕРЖАНИЕ МЕДИ В ЛИСТЬЯХ ЧАЯ (*CAMELLIA SINENSIS* (L.) O. KUNTZE) СОРТА КОЛХИДА НА ФОНЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ СУБТРОПИКОВ РФ

Великий Андрей Васильевич¹, Малюкова Людмила Степановна²

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр РАН»
354002, Краснодарский край, Сочи, ул. Яна Фабрициуса, д. 2/28

¹ – н. с. лаб. агрохимии и почвоведения; e-mail: kriptozoorxon@mail.ru

² – д. б. н., гл. н. с. лаб. агрохимии и почвоведения, проф. РАН; e-mail: MalukovaLS@mail.ru

Элементный состав чая – один из важных показателей его качества, как в пищевкусном, так и в токсикологическом отношении, учитывая высокое содержание в нем многих элементов, которые в высоких концентрациях относят к токсичным, в частности меди (Cu). В полевом опыте (2012–2017 гг.) в условиях Черноморского побережья (г. Сочи), изучено влияние корневого внесения макро- (N, P, K, Ca, Mg) и микроэлементов (Zn, B) на содержание и накопление меди в чайном сырье (в 3-листных флешах) и зрелых листьях чая в различные годы и периоды вегетации. Содержание меди в зрелых листьях значительно варьировало по годам (от 6 до 23 мг/кг) и определялось почвенными и метеорологическими условиями, а также возрастом листа. В ювенильных побегах (3-листных флешах) содержание меди было выше (в 1,5 раза), чем в зрелых листьях и зависело от метеоусловий (годовая динамика), а также периодов сбора и силы роста (сезонная динамика). На фоне корневого применения удобрений, содержащих Ca, Zn и B в течение ряда лет отмечено снижение содержания меди в ювенильных побегах и зрелых листьях чая, что было обусловлено их более высокой силой роста в этих вариантах, где урожайность была в среднем на 20 % выше, чем в контрольном варианте, а также механизмами конкурентного поглощения и передвижения элементов.

Ключевые слова: чай, удобрения, металлы, медь, зрелый лист, ювенильный побег, сезонная и годовая динамика.

Во многих странах (и в нашей стране в том числе) чай давно стал практически незаменимым популярным напитком и одним из важных пищевкусных продуктов. Его многофункциональность определяется сложным комплексом биологически активных веществ, среди которых: фенольные соединения, алкалоиды, эфирные масла, незаменимые аминокислоты, углеводы, минеральные соли, витамины, пектиновые вещества, пигменты, ферменты и др. [1]. Содержание специализированных компонентов, определяющих вкус, аромат и качество чая в целом, зависит от многих факторов, среди которых, наибольшее значение имеют регион выращивания [2, 3], сезонные изменения [4–7], генетические вариации [8, 9], технология производства [10], а также элементный состав [11–13]. При этом элементный состав определяет не только пищевкусные свойства чая, но и его безопасность для человека при употреблении напитка, поскольку в нем присутствуют многие элементы (Cu, Ni, Cd, Zn, Pb, Hg), относящиеся к разряду токсичных. Среди этой группы элементов особый интерес в аспекте содержания и накопления в растениях чая, представляет медь, которая в породах и почвах субтропической зоны России, по нашим данным [14], присутствует в количестве (70–90 мг/кг), превышающем среднее содержание для

почв мира (60 мг/кг) [15]. К тому же многие чайные плантации зоны размещены на почвах, ранее использовавшихся под плодовые насаждения, на которых применяли медьсодержащие фунгициды, что привело к локальному накоплению меди до критических значений (более 150 мг/кг) [11, 16]. При длительном культивировании чая, как правило, происходит подкисление почв, что приводит к повышению подвижности меди и в результате ее содержание и биодоступность увеличиваются [11, 17]. Однако следует отметить, что высокая концентрация меди в почвах и питательных растворах, как показали исследования, оказывает отрицательное влияние на функциональное состояние растений, проявляющееся в усилении процессов липопероксидации [18, 19]. Поэтому актуальным является исследование диапазонов варьирования содержания меди в зрелых листьях и ювенильных побегах чайного растения, а также влияние различных видов удобрений на биодоступность и дальнейшую реутилизацию этого элемента.

Методика. Исследования были проведены в полевом опыте на плантации чая сорта Колхида. Опыт был заложен в 2003 г. в районе Черноморского побережья Краснодарского края (пос. Уч-Дере, Сочи, Краснодарский край, 43,69° с. ш., 39,64° в. д.). Климат региона – влажный субтропический с

1. Агрохимические свойства и содержание подвижной меди в почвах, апрель 2012 г.

Вариант	pH _{KCl}	N _{дг} , мг/кг	P ₂ O ₅	K ₂ O	Cu
Контроль	3,28 ± 0,02	55 ± 10	855 ± 55	319 ± 20	6,3 ± 0,10
Zn	3,30 ± 0,01	119 ± 20	487 ± 43	361 ± 15	3,5 ± 0,10
B	3,35 ± 0,05	89 ± 15	380 ± 37	393 ± 10	2,2 ± 0,01
Mg	3,72 ± 0,12	116 ± 25	271 ± 25	298 ± 12	6,3 ± 0,10
S	3,26 ± 0,01	75 ± 11	817 ± 49	298 ± 15	7,7 ± 0,03
Ca	3,44 ± 0,05	106 ± 21	562 ± 37	500 ± 17	3,6 ± 0,10
Zn + B + Mg	3,71 ± 0,12	128 ± 23	469 ± 40	276 ± 11	9,3 ± 0,30

среднегодовой температурой в пределах 12,8–16,5°C, и годовым количеством 1313–2098 мм. Почвы бурые лесные кислые согласно [20], сформированы на кислых бескарбонатных породах (глинистых сланцах). В соответствии с WRB почвы классифицировались как Cambisols [21]. Исходно породы и почвы характеризовались высоким содержанием валовой меди от 34 до 91 мг/кг [14], превышающим кларк элемента в 1,5 раза. В почвах чайных плантаций в связи с применением медьсодержащих пестицидов выявлялись локальные зоны с повышенным валовым содержанием меди до 150 мг/кг [17]. Подвижность меди в этих почвах также возрастала в сравнении с естественными почвами [11], что обусловлено их подкислением [22, 23].

Схема опыта (кг д.в./га): 1) контроль (фон) – N240P70K90; 2) сернокислый магний – Mg 60, последствие с 2015 г.; 3) сернокислый цинк – Zn 4,3, последствие с 2017 г.; 4) борная кислота – B 6; 5) смесь элементов (Mg 60 + Zn 4,3 + B); 6) кри-

сталлическая сера – S 1000, последствие с 2015 г.; 7) кальцийсодержащий материал – CaO 100. Площадь опытной делянки 10 м². Повторность 3-кратная. Микроудобрения вносили в поверхностный слой почвы на фоне макроудобрений (N240 P70 K90); контролем служил фон – N240 P70 K90.

В вариантах опыта проводили отбор зрелых листьев и 3-листных флешей в течение вегетации (март, май, июль, август) в период 2012–2017 гг. В 2012 г. проведен отбор почвенных проб в слое 0–20 см для определения основных агрохимических свойств почвы и содержания подвижной меди. Валовое (общее) содержание меди в растительных пробах определяли после кислотного озоления образцов смесью кислот (H₂SO₄ с добавлением HClO₄) по Гинзбург К.Е., Щегловой Г.М., Вульфус Е.А. [24] методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе КВАНТ – АФА (Россия) при следующих параметрах: длина волны 324,6 нм, ширина щели 0,5 мм, ток ЛПК 8–10 мА. Содержание подвижной меди в почве определяли в экстрак-

2. Диапазоны варьирования и среднее содержание меди в зрелых листьях чая по периодам вегетации, мг/кг (2012–2017 гг.)

Вариант	Март		Июль		Август	
	Диапазон Среднее	V, %	Диапазон Среднее	V, %	Диапазон Среднее	V, %
Контроль	10,0–16,6 13,3 ± 4,7	35	8,1–22,9 14,3 ± 6,4	45	6,5–17,8 14,6 ± 5,4	37
Zn	6,3–14,1 10,2 ± 5,5	54	8,2–15,1 10,9 ± 3,1	29	5,9–14,4 10,7 ± 3,6	33
Mg	6,1–15,4 10,8 ± 6,6	61	7,9–9,5 8,5 ± 0,9	11	6,6–11,5 9,3 ± 2,5	27
B	5,9–17,2 11,1 ± 5,7	79	5,5–11,0 10,4 ± 4,7	45	6,2–22,7 11,7 ± 4,9	42
S	7,3–17,5 11,9 ± 5,9	66	7,0–14,4 9,9 ± 4,0	40	6,5–16,0 11,4 ± 4,7	42
Ca	6,9–14,6 10,7 ± 5,4	51	6,9–14,4 11,4 ± 0,8	42	6,6–14,8 13,7 ± 3,5	25
Zn+B+Mg	5,5–11,0 8,3 ± 3,9	47	7,8–11,5 9,8 ± 1,9	19	6,3–11,5 9,5 ± 2,8	30

Примечание: V – коэффициент вариации.

3. Диапазоны и среднее содержание меди в 3-листных флешах чая по периодам вегетации, мг/кг (2012–2017 гг.)

Вариант	Май		Июль		Август	
	Диапазон Среднее	V, %	Диапазон Среднее	V, %	Диапазон Среднее	V, %
Контроль	12,5–18,8 15,6 ± 4,4	28	13,6–28,6 19,9 ± 7,8	39	21,5–19,1 20,1 ± 1,3	6
Zn	11,3–17,4 14,3 ± 4,3	30	12,5–22,3 17,1 ± 5,0	29	16,8–21,0 19,0 ± 2,1	11
Mg	14,1–18,8 16,5 ± 3,5	20	12,3–16,4 14,3 ± 3,00	21	16,3–21,5 20,4 ± 3,6	18
B	12,6–17,4 15,0 ± 3,4	22	12,2–24,1 19,6 ± 10,2	36	15,8–22,0 19,6 ± 3,1	17
S	12,2–17,7 15,0 ± 3,9	26	13,2–16,7 15,0 ± 2,6	17	17,6–22,5 20,3 ± 2,5	12
Ca	11,5–18,6 15,1 ± 5,0	33	12,6–25,0 17,7 ± 6,5	37	16,6–22,2 18,8 ± 3,0	16
Zn+B+Mg	12,3–19,2 15,7 ± 4,7	31	12,6–17,9 15,3 ± 3,7	24	16,7–19,5 19,4 ± 2,6	13

Примечание: V – коэффициент вариации.

те ААБ (с pH 4,8) методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе КВАНТ – АФА. Агрохимические свойства почв определяли по стандартным методикам: pH_{сол.} – потенциометрически (ионметр pH-121), азот легкогидролизуемый – по Тюрину и Кононовой, подвижные фосфор и калий – по Ониани (экстракция 0,1 н. H₂SO₄) [24]. Данные обрабатывали с помощью описательной статистики в программе Microsoft Excel (при p ≤ 0,05).

Результаты и обсуждение. Изучение содержания и особенностей накопления меди в листьях чая проводили в опытных вариантах, почвы которых существенно различались по агрохимическим свойствам (табл. 1). Наиболее кислой реакцией почвенного раствора характеризовался контрольный вариант, а также варианты с применением серы, цинка и бора. Внесение в почву магния и кальция снижало почвенную кислотность в среднем на 0,2–0,5 единиц pH. Содержание легкогидролизуемого азота варьировало по вариантам опыта, при этом наименьшим значением характеризовался контрольный вариант. Содержание подвижных фосфатов в исследуемых почвах в целом было очень высоким, что обусловлено длительным ежегодным применением фосфорных удобрений. При этом было отмечено значительное варьирование этого показателя по вариантам опыта, связанное, по-видимому, с формированием микроочагов при внесении и последующим перераспределением удобрений между почвенными частицами. На перераспределение и фиксацию (хемосорбцию) фосфатов могут оказывать влияние почвенные процессы, обусловленные применением других видов

удобрений [25, 26]. Так, установленное снижение содержания фосфатов на фоне применения кальция и магния, объясняется образованием слаборастворимых соединений [26]. Выявленное снижение содержания подвижных фосфатов в вариантах с применением бора и цинка требует дополнительных исследований, позволяющих выявить взаимовлияние этих соединений в почвах.

Содержание подвижной меди в почвах чайной плантации было достаточно высоким и в среднем превышало ПДК (3 мг/кг), что согласуется с ранее полученными данными и является агрогеохимической особенностью почв садовых агроценозов [11]. Содержание меди в вариантах с применением цинка, бора и кальция было самым низким в опыте (табл. 1). При этом в почвах других вариантов (Mg, S, совместное применение Zn+B+Mg) содержание подвижной меди было близко к содержанию в контрольном варианте. Содержание подвижной меди в почвах регулируется многими факторами, среди которых наибольшее значение имеет органическое вещество, подвижные фосфаты, pH почвенной среды и др. [27, 28].

Содержание меди в зрелых листьях опытных растений чая в различные годы и периоды вегетации колебалось в диапазоне значений от 6 до 23 мг/кг (табл. 2) и не выходило за пределы средних значений для большинства растений – от 0,5 до 30 мг/кг [27] в том числе и чая [3–5]. Выявленный диапазон варьирования концентрации меди в листьях в динамике нескольких лет может быть обусловлен особенностями поглощения растениями меди в различных почвенных и метеорологических условиях, а также возрастом зрелого листа

и состоянием растений при отборах. При этом в годы, которые характеризовались засушливым летним периодом (2015, 2018 гг.) и, соответственно, низкой влажностью почвы, ожидаемого общего снижения концентрации меди в растениях не было установлено (рис. 1).

В динамике вегетационного периода отмечено более высокое содержание меди в зрелых листьях 4–5-месячного возраста (июль–август) в сравнении с прошлогодними листьями (март) (табл. 2, рис. 2). Эта особенность поглощения и накопления меди в растущих листьях растений связана с известными закономерностями передвижения веществ в растениях в соответствии с осмотическим концентрационным градиентом между молодыми и более зрелыми частями растений [27, 28]. Содержание меди в 3-листных флешах опытных растений в период исследования (учитывая различия по годам, периодам вегетации и вариантам опыта) находилось в интервале от 11 до 29 мг/кг (табл. 3), что также согласуется с данными, полученными ранее в этом опыте [7, 17]. Исследования подтверждают известный факт о значительно более высоком содержании меди в молодых побегах в сравнении со зрелыми листьями, что было отмечено и другими исследователями [4, 17].

В сезонной динамике для всех вариантов опыта прослеживалось увеличение содержания меди

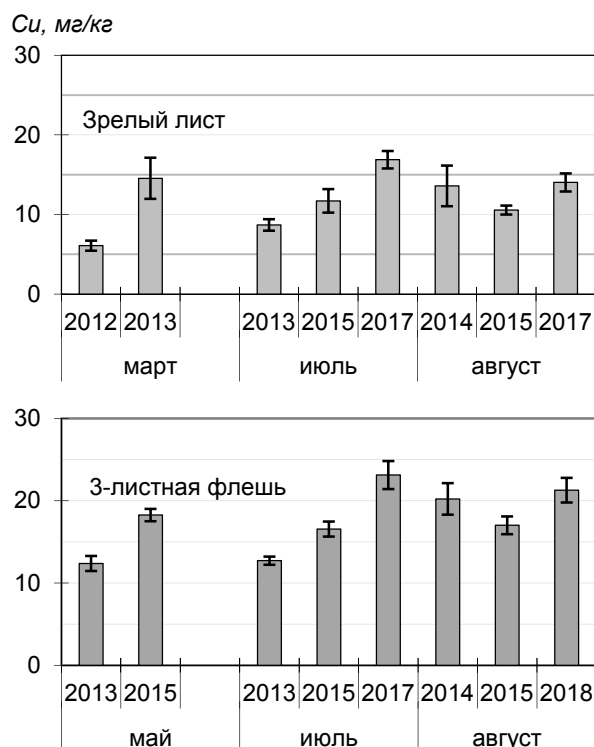


Рис. 1. Содержание меди (усредненные данные по вариантам опыта) в листьях чая в различные годы (2012–2018 гг.).

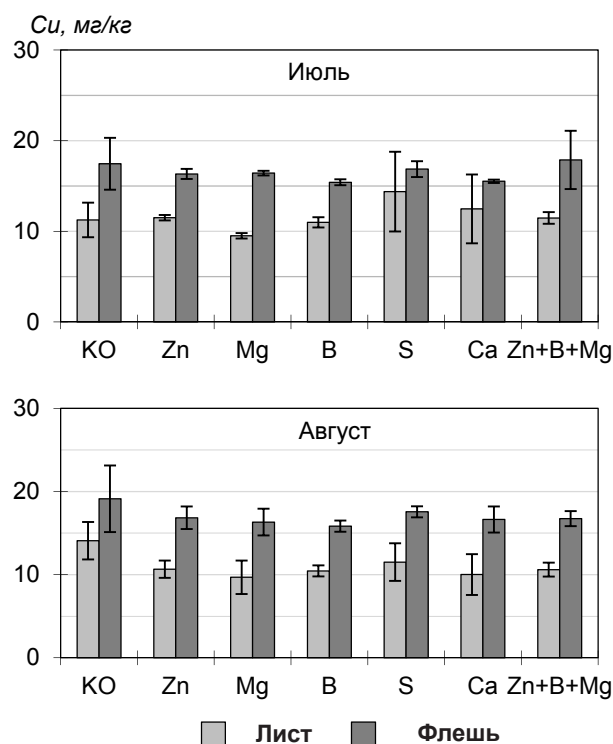


Рис. 2. Содержание меди в листьях чая по вариантам опыта в различные листосборные периоды (волны роста), 2015 г. (разбросы обозначают стандартные отклонения в вариантах опыта).

в составе 3-листных флешей от мая к августу (к концу чаесборочного периода), что может быть обусловлено менее выраженной силой роста молодых побегов в условиях недостаточной водообеспеченности в летний период. При этом концентрация меди в ювенильных побегах имела прямую корреляцию ($r=0,73$) с ее концентрацией в зрелых листьях в каждый срок отбора. В целом, наиболее высокое содержание меди в ювенильных побегах и зрелых листьях было отмечено в растениях контрольного варианта (табл. 1, рис. 2), в сравнении с другими вариантами. Выявленная закономерность может быть обусловлена антагонизмом или конкурентным торможением вносимых с удобрениями катионов (или анионов), которые кроме того, могут влиять на проницаемость плазмалеммы при передвижении из зрелых листьев в молодые побеги [27–29]. Так, по нашим данным, содержание подвижной меди в почвах вариантов с применением цинка, бора и кальция было значительно ниже контрольного варианта (табл. 1), что могло ограничить поглощение и накопление этого элемента растениями. Для высокоурожайных вариантов (с применением бора, цинка, кальция и смеси элементов) возможен эффект вторичного разбавления за счет ускоренного роста листьев и молодых побегов (табл. 4).

**4. Урожайность чая (т/га)
на фоне применения удобрений**

Варианты	Годы					
	2012	2013	2014	2015	2017	2018
Контроль	2,6	9,1	6,5	2,9	4,5	4,6
S	1,4	7,0	6,3	2,6	4,1	4,9
Mg	2,1	8,6	6,7	2,6	4,1	5,1
Zn	2,3	10,0	7,3	2,9	5,1	6,3
B	2,7	11,6	8,4	3,0	5,3	6,5
Zn+B+Mg	2,7	11,4	9,6	3,2	5,3	6,3
Ca	2,2	11,7	8,2	4,0	5,7	6,2
<i>HCP</i> _{0,05}	0,5	1,2	1,1	0,9	0,9	1,2

Также известен антагонизм поступления и дальнейшего перемещения меди в растениях с такими элементами, как цинк и алюминий [19]. Снижение кислотности почв вследствие применения известково-содержащих соединений (вариант с кальцийсодержащим природным материалом) также приводило к осаждению меди, снижая ее концентрацию в почвенном растворе, что отмечали и другие исследователи [27, 28]. В целом в литературе имеется достаточно много данных, в том числе и противоречивых, относительно антагонизма и синергизма меди с другими катионами и анионами [19, 27, 28]. Однако единые закономерности выявлены только для относительно небольшой группы соединений: цинк, кальций, магний, фосфаты [19, 28]. В целом следует отметить, что антагонизм ионов продиктован необходимостью растений формировать оптимальные соотношения пар элементов в частности и химического состава растений в целом. К тому же, для меди по сравнению с другими элементами характерна невысокая скорость поглощения из почвы и передвижения по различным частям растения [28].

Заключение. Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что содержание меди в зрелых листьях (6–23 мг/кг) и ювенильных побегах (11–29 мг/кг) чая сорта Колхида зависело от почвенно-метеорологических условий, возраста и функционального состояния растений. В динамике вегетационного периода отмечено более высокое содержание меди в зрелых листьях в июле-августе, а молодых побегах – в августе. При корневом применении цинка, бора и кальция отмечена тенденция уменьшения концентрации меди в ювенильных побегах и зрелых листьях чая, обусловленная силой роста побегов и механизмами конкурентного поглощения и передвижения элементов. Установлена прямая корреляционная связь ($r=0,73$) между концентрацией меди в зрелых листьях и молодых побегах, указывающая на вероятность вторичной реутилизации этого элемента.

Литература:

1. 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. – V. 4. – № 3. – P. 56–88. ISSN 1927-0887. – DOI:10.5539/jfr.v4n3p56.
2. Borse B.B., L. Jagan Mohan Rao, S. Nagalakshmi, N. Krishnamurthy Fingerprint of black teas from India: identification of the regio-specific characteristics // Food Chemistry. – 2002. – V. 79. – № 4. – P. 419–424. – DOI. org/10.1016/S0308-8146(02)00191-7.
3. Goncalves Dias Diniz P.H., Pistonesi M.F., Alvarez M.B., Fernandez Band B.S., Ugulino de Araujo M.C. Simplified tea classification based on a reduced chemical composition profile via successive projections algorithm linear discriminant analysis (SPA-LDA) // Journal of Food Composition and Analysis. – 2015. – № 39. – P. 103–110. – DOI: 10.1016/j.jfca.2014.11.012.
4. Белоус О.Г. Микроэлементы на чайных плантациях субтропиков России. – Краснодар: КубГАУ, 2006. – 164 с.
5. Ercisli S., Orhan E., Ozlem S., Sengul M., Gungor N., Orhan E. Seasonal variation of total phenolic, antioxidant activity, plant nutritional elements, and fatty acids in tea leaves (*Camellia sinensis* var. *sinensis* clone Derepazari 7) grown in Turkey // Pharmaceutical biology. – 2008. – V. 46. – P. 10–11.
6. Притула, З.В., Малукова Л.С., Козлова Н.В. Особенности влияния комплекса экологических факторов на биохимические показатели качества чая сорта Колхида в условиях субтропиков России // Субтропическое и южное садоводство России. – Сочи. – 2009. – Вып. 42. – Т. 2. – С. 86–101. – ISSN: 2225-3068.
7. Притула З.В., Великий А.В., Малукова Л.С. Влияние мезо- и микроудобрений на качество чайного сырья в условиях Черноморского побережья России // Плодоводство и ягодоводство России: сб. науч. работ ВСТИСП. – М. – 2014. – Т. 38. – №2. – С. 52–58. – ISSN: 2073-4948.
8. Yongzhen Pang, I. Sarath B Abeysinghe, Ji He, Xianzhi He, David Huhman, K. Mudith Mewan, Lloyd W. Sumner, Jianfei Yun and Richard A. Dixon Functional characterization of proanthocyanidin pathway enzymes from tea (*Camellia sinensis*) and their application for metabolic engineering // Plant Physiology. – 2013. – №161 (3). – P. 1103–16. – DOI:10.1104/pp.112.212050.
9. Zubova M. Yu., Nikolaeva T.N., Nechaeva T.L., Malyukova L.S., Zagorskina N.V. About the content of pigments, phenolic compounds and antiradical activity of young tea shoots (*Camellia sinensis* L.) // Khimija Rastitel'nogo Syr'ja. – 2019. – № 4. – С. 249–257. – ISSN: 1029-5151.
10. Малукова Л.С., Цюко Т.Г., Притула З.В., Воронова О.Б., Гуцаева К.С., Великий А.В. Состав и содержание флавоноидов в готовом чае, выращенном в условиях Черноморского побережья Краснодарского края // Сб. научных статей по материалам X Международного симпозиума «Фенольные соединения: функциональная роль в растениях» – М.: PRESS-BOOK.RU. – 2018. – № 3. – С. 272–277. – ISBN: 978-5-6040654-5-7.
11. Малукова Л.С. Состояние микроэлементов (Mn, Cu, Zn) в бурых лесных почвах чайных плантаций Черно-

морского побережья Краснодарского края»: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 1998 – 30 с.

12. Добежина С.В. Влияние минеральных удобрений на агрохимические свойства почв и продуктивность культуры чая в условиях Краснодарского края Москва: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 1998. – 17 с.

13. Рындина А.В., Малокова Л.С., Цюпко Т.Г., Воронова О.Б., Гуцаева К.С. Особенности элементного состава Краснодарского чая сорта Колхида // Новые технологии, 2018, №4, С. 224-229. – ISSN: 2072-0920.

14. Малокова Л.С., Малинина М.С. Особенности поведения металлов (Mn, Zn, Cu) в бурой лесной кислой почве под чайной плантацией в условиях влажных субтропиков России // Агрохимия. – 2001. – № 3. – С. 62–68. – ISSN: 0002-1881.

15. Ярошевский А.А. Проблемы современной геохимии. Новосибирск: НГУ, – 2004. – 194 с. – ISBN: 5-94356-233-8.

16. Дьяченко В.В. Геохимия, систематика и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа. Ростов н/Д.: Комплекс, – 2004. – 267 с. – ISBN: 5-8480-0377-7.

17. Малокова Л. С. Микроэлементы в системе почва – чайное растение в условиях субтропиков России. Сочи: ГНУ ВНИЦ и СК Россельхозакадемии, – 2011. – 114 с. – ISBN: 978-5-904533-13-7.

18. Njoloma C. Application of foliar spray containing copper, zinc and boron to mature clonal tea (*Camellia sinensis*): effect on yield and quality // A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree in M.Sc. (Agric) Agronomy in the Faculty of Natural and Agricultural Sciences University of Pretoria. – 2012. – 116 pp.

19. Printz B, Lutts S, Hausman J-F, Sergeant K Copper trafficking in plants and its implication on cell wall dynamics // Front. Plant Sci. – 2016. – V. 7. – № 601. – DOI:10.3389/fpls.2016.00601

20. Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1977. – 224 с.

21. Working Group WRB. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps // World Soil Resources Reports – FAO. Rome. – 2014. – No. 106. – 181 p. – ISBN 978-92-5-108369-7.

22. Малокова Л.С., Козлова Н.В. Влияние длительного применения минеральных удобрений на кислотно-основное состояние бурых лесных кислых почв чайных плантаций субтропиков // Агрохимия. – 2007. – № 9. – С. 3–9. – ISSN: 0002-1881.

23. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Взаимосвязь изменений кислотно-основных свойств бурых лесных кислых почв субтропиков России в ходе агрогенной ацидизации под культурой чая // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2018. – Вып. 66. – С. 160–167. – DOI: 10.31360/2225-3068-2018-66-160-167.

24. Агрохимические методы исследования почв [отв. ред. А.В. Соколов]. – М.: Наука, 1975. – 759 с.

25. Гинзбург К.Е. Фосфор основных типов почв СССР. – М.: Наука, 1981. – 244 с.

26. Кудярова А.Ю. Фосфатогенная трансформация почв. Рос. акад. наук, Ин-т почвоведения и фотосинтеза. – М.: Наука, 1995. – 285 с.

27. Барбер С.А. Биологическая доступность питательных веществ в почве – М.: ВО «Агропромиздат», 1988. – 314 с. – ISBN: 5-10-001246-3.

28. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 430 с.

29. Спицына С.Ф., Томаровский А.А., Остальд Г.В. Проявление синергизма и антагонизма между ионами меди, цинка и марганца при поступлении их в растения // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 10 (120). – С. 29–32. – ISSN: 1996-4277.

Velikii A.V., Malyukova L.S.

COPPER CONTENT IN TEA LEAVES (*CAMELLIA SINENSIS* (L.) O. KUNTZE VARIETY 'KOLCHIDA' AGAINST THE BACKGROUND OF THE USE OF VARIOUS TYPES OF FERTILIZERS IN THE SUBTROPICS OF THE RUSSIAN FEDERATION

The elemental composition of tea determines not only its food-tasting properties, but also the safety for humans when using the drink, since it contains elements, many of which are toxic, in particular copper (Cu). In the field experiment, in the conditions of the Black Sea coast of Sochi, the influence of root application of macro- (N, P, K, Ca, Mg) and microelements (Zn, B) on the content and accumulation of copper in tea raw materials (3-leaf flushes and mature tea leaves) in different years and periods of vegetation were studied. The copper content in mature leaves (4.9 to 23.0 mg/kg) varied significantly over the years and depended on soil and meteorological conditions, as well as the age of the mature leaf. In juvenile shoots (3-leaf flushes) the copper content was higher (1.5 times) than in mature leaves and also depended on weather conditions (annual dynamics), waves and growth force (seasonal dynamics). Root application of Ca, Zn, B for a number of years led to a decrease in the copper content in juvenile shoots and mature tea leaves, due to a higher growth force of young shoots on these variants, confirmed by an increase in yield by an average of 20 %, as well as antagonism or competitive inhibition of cations and anions introduced with fertilizers into the soil.

Keywords: tea, metals, copper, fertilizers, mature leaf, juvenile shoot, seasonal and annual dynamics.