

УДК 001.8:631.41+631.48

ВЛИЯНИЕ ЦИНКОСОДЕРЖАЩИХ УДОБРЕНИЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ
КИСЛОТНОСТИ В РИЗОСФЕРЕ ЧАЯ (*CAMELLIA SINENSIS L.*) СОРТА КОЛХИДА В
УСЛОВИЯХ СУБТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ

Рогожина Е.В.

Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение Науки Федеральный
Исследовательский Центр Субтропический Научный Центр РАН
г. Сочи, Россия
Сочи, Россия. e-mail: RogojinaEW@yandex.ru

Представлены результаты сравнительного изучения кислотности бурых лесных кислых почв чайных плантаций влажных субтропиков России в ризосфере и внекорневой зоне в течение двух вегетационных периодов под влиянием сульфата цинка в дозе 4,3 кг д.в./га на фоне макроудобрений в сравнение с контролем (N240P70K90 кг д.в./га). Отмечена тенденция подкисления относительно контроля в ризосфере (в среднем на 0,25 единиц) и во внекорневой почве (в среднем на 0,1 единицу) в результате внесения микроудобрений с цинком. Отмечено увеличение кислотности (в среднем на 0,6 единиц) почв двух локусов обоих вариантов в постстрессовый период (после засухи). Показано, что в период активного влияния удобрений (май) изменение кислотности в ризосфере обоих вариантов имело нестабильный характер ($\pm 0,1$ единица), а в период физиологического покоя (февраль) или депрессии (август) – кислотность незначительно снижалась (менее 0,1 единицы). Отмечено повышение кислотности в ризосфере под влиянием сульфата цинка осенью (октябрь), что, возможно, связано с влиянием микроудобрений на функциональную активность растительно-микробной системы.

Ключевые слова: бурые лесные кислые почвы, чайная плантация, цинкосодержащие удобрения, кислотность ризосферы и внекорневой почвы.

Введение. Кислотность почвенного раствора важный экологический, а в зоне ризосферы (до 3 мм от корня) еще и физиологический показатель, отражающий интенсивность выделения корнями растения подкисляющих экссудатов (неорганические ионы HCO_3^- , H^+ ; CO_2 , низкомолекулярные органические и жирные кислоты) [20]. Микроорганизмы, ассоциированные с растением, также способны влиять на pH среды, изменяя его как в кислую (в результате «дыхания»), так и в нейтральную сторону в результате выделения метаболитов, что является механизмом устойчивости к существованию в условиях высокой концентрации протонов H^+ и Al^{3+} [16; 17; 18]. Все эти адаптационные процессы характерны для агроэкосистемы чая (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) [3; 4; 12; 13; 22; 23]. Чай возделывается на кислых почвах, с применением физиологически кислых минеральных удобрений, что приводит к снижению pH и повышению содержания алюминия в почве и растении [8]. С целью повышения урожайности культуры чая и адаптации к стресс-факторам (в первую очередь летнему гидротермическому стрессу, характерному для зоны с влажно-субтропическим климатом) исследуют влияние микроудобрений, содержащих важные биогенные элементы, в том числе цинк, входящий в состав целого ряда ферментативных систем живых клеток [9]. При длительной эксплуатации чайной плантации почвы обедняются подвижным цинком и его внесение становится необходимым [6; 7]. Одновременно цинк является высокотоксичным тяжелым металлом (ТМ), оказывающим воздействие как на растение, так и на активность почвенных микроорганизмов [10; 19; 25]. Ранее

было установлено влияние цинкосодержащих удобрений на численность основных групп микробоценоза ризосферы чая, приводящее к снижению численности прокариот (сапротрофных бактерий, актиномицетов), обладающих низкой резистентностью к фактору кислотности [11]. Таким образом, изменение кислотности в ризосфере чая является отражением целого комплекса адаптационных процессов в системе чайное растение-почва-микроорганизмы: экссудации корнями и состава экссудатов, деятельности микроорганизмов; влияния удобрений, их взаимодействия, влияния климатических факторов. В связи с этим целью исследований являлось изучение кислотности в ризосфере чайного растения в сравнение с внекорневой зоной под влиянием цинкосодержащих микроудобрений на протяжении вегетационного периода.

Объекты и методы исследования. Исследования проводились на базе полевого опыта с мезо- и микроудобрениями. Опыт заложен в 2003 году на чайной плантации сорта Колхида (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) 1983 года посадки (ЗАО «Дагомысчай», п. Уч-Дере, г. Сочи, Лазаревский район, 0,3 га, 43,69° N, 39,64° E). Изучали агрогенно-измененные бурые лесные кислые почвы [5; 26]. Отбирали почвенные образцы в течение 2-х вегетационных периодов 2014-2015 гг (февраль-май-август-октябрь). Изучали вариант с внесением сульфата цинка в поверхностный слой почвы в дозе 4,3 кг д.в./га на фоне макроудобрений N240P70K90 кг д.в./га. Макро- и микроудобрения вносили в апреле, в июне осуществляли подкормку азотом. Контролем служил вариант без внесения цинка (N240P70K90 кг д.в./га). Фоновое содержание подвижных форм цинка (3,2 мг/кг)[6]. Смешанные образцы корней чая с прилегающей к ней почвой и почвы свободной от корней были отобраны с соблюдением условий стерильности с глубины 10-20 см. Этот слой (горизонт A₁) был выбран как наиболее подверженный агрогенному воздействию (внесение удобрения) и при этом в меньшей степени содержащий растительные остатки (по сравнению с поверхностным горизонтом A₀). Для исследований, согласно общепринятым методикам по изучению прикорневой зоны растений [14; 15], использовался слой почвы 1 мм, непосредственно примыкающий к корням (корневая зона ризосферы) и почва свободная от корней (расстояние от корня более 3-5 мм).

Кислотность почвенного раствора рН_{КС1} была определена потенциометрически в суспензии при соотношении почва : раствор 1н KCl равном 1 : 2,5 (ионометр рН-121) [1]. Полевая влажность определена весовым методом.

Результаты и их обсуждение.

Исследования проводили во влажно-субтропической зоне Черноморского побережья Краснодарского края, где средняя многолетняя температура варьирует в пределах 12,8-16,5°C, годовое количество осадков 1313-2098 мм. В августе отмечается температурный максимум и дефицит осадков. Динамика среднесуточной температуры и количества осадков по месяцам за два года исследования (по данным метеостанции г. Сочи <http://www.pogodaiklimat.ru/history/37099.htm>) представлены на рис. 1.

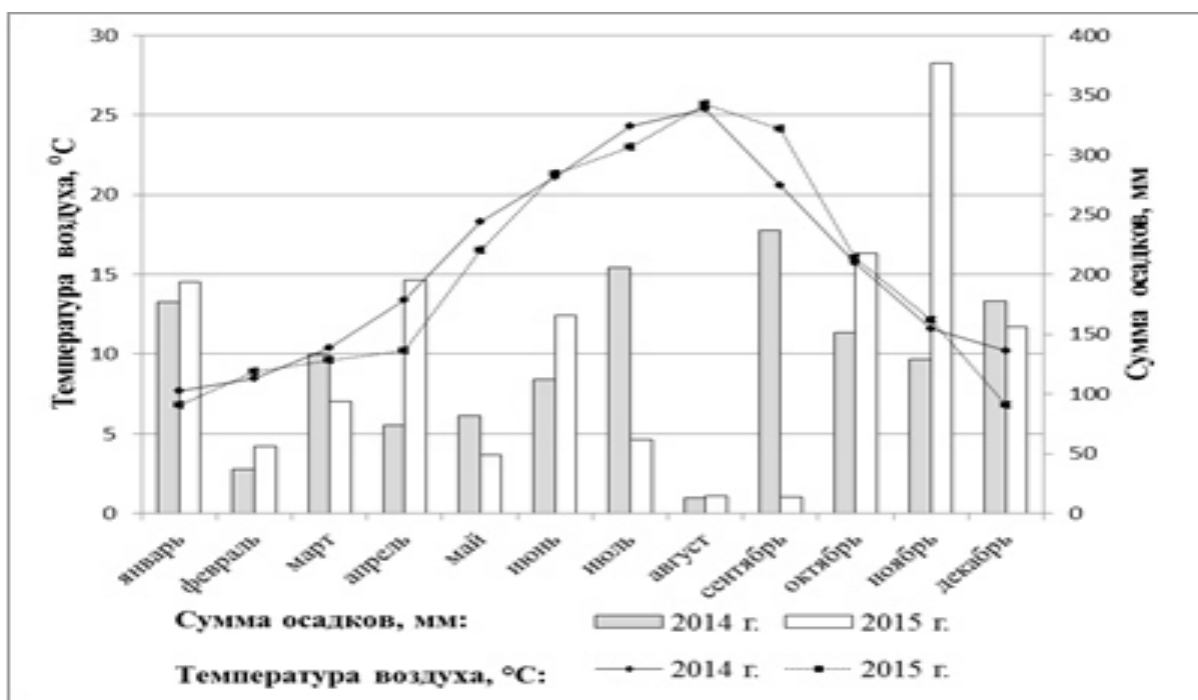


Рис. 1 Среднемесячные дневные температуры воздуха и суммы осадков в г. Сочи

2015 год в сравнении с 2014 годом характеризовался более ранним началом летнего гидротермического стресса (июль), что отразилось на влажности почвы в августе (в среднем на 10,5 % ниже, чем в августе 2014 года) (табл. 1).

Таблица 1

Влажность почвенных образцов (%) различных локусов по вариантам опыта в годовой динамике (слой 10-20 см)

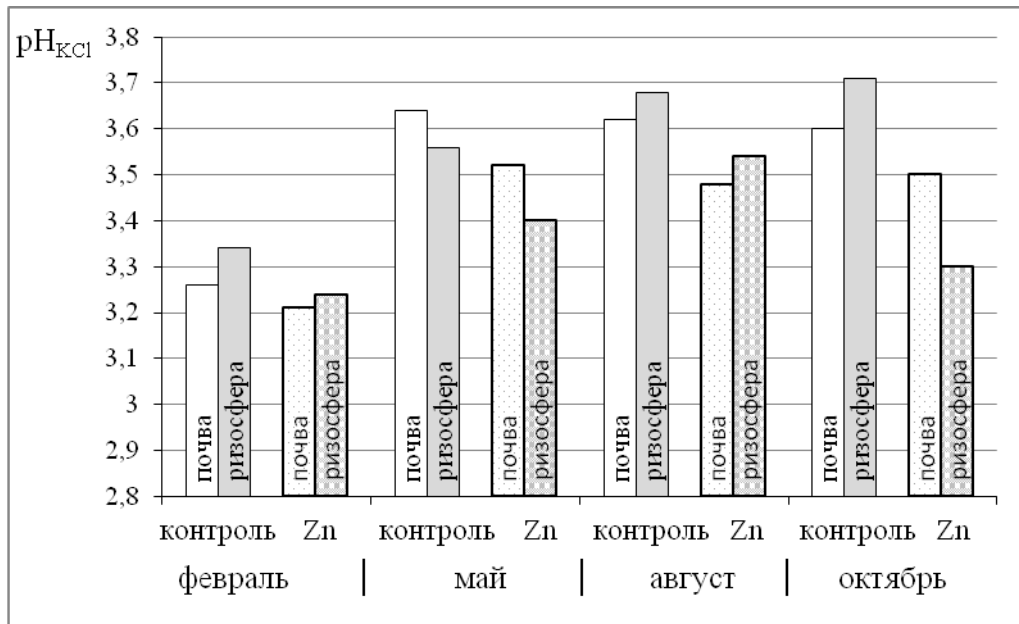
Год	Почвенные локусы	Вариант	Месяц			
			февраль	май	август	октябрь
2014	ризосфера	контроль	34	35	35	36
		цинк	37	37	47	31
2015	ризосфера	контроль	38	36	29	40
		цинк	39	37	32	37
	внекорневая зона	контроль	31	38	28	33
		цинк	42	36	31	32

Можно отметить, что в обоих вариантах в целом наблюдалось увеличение влажности в ризосфере, в сравнение с почвой свободной от корней, что отмечали и другие авторы [27]. Объяснение этому явлению связывают с накоплением в ризосфере высокомолекулярных полисахаридов, увеличивающих способность почвы удерживать влагу [20]. Полисахариды выделяются как корнем растения, образуя тонкий слой на его поверхности (муцигель), так и микроорганизмами, как один из механизмов, обеспечивающих устойчивость к кислым почвам и токсичности ионов Al^{3+} и H^+ .

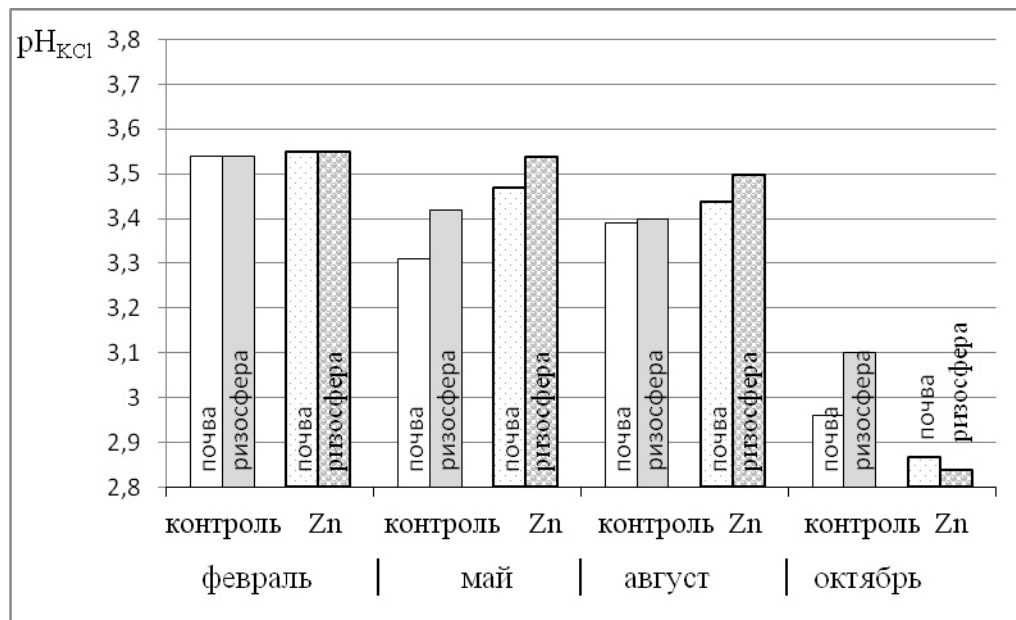
Изучение кислотности почвы сравниваемых вариантов опыта в ризосфере и во внекорневой зоне в годовой динамике в 2014 г. показало подкисление в течение всего вегетационного периода в варианте с цинком в сравнение с контролем (от 0,05 до 0,14 единиц в почве; от 0,1 до 0,41 единицы в ризосфере), а в 2015 г. – только в октябре (0,1 и 0,26 единиц в почве и ризосфере, соответственно). Более низкая влажность почвы в августе 2015 года (рис.1) не оказала значительного влияния на показатель кислотности. Максимальная кислотность была отмечена в почве обоих вариантов в октябре 2015 года (в варианте с цинком рН ниже на 0,63 и 0,56 единиц, а в контроле на 0,64 и 0,61 единицу в почве и ризосфере, соответственно, в сравнение с октябрём 2014 г.), что

связано с последствием 3-х месячной (июль-сентябрь) засухи, которая, возможно, способствовала увеличению содержания H^+ в почвенных растворах. Увеличение кислотности почв на фоне снижения влажности, было отмечено и для других типов почв [2].

Было выявлено различие диапазонов варьирования pH_{KCl} по вариантам опыта: контроль (N240P70K90) – от 2,96 до 3,64 единиц в почве и от 3,1 до 3,71 единиц в ризосфере; вариант с цинком – от 2,87 до 3,55 единиц в почве и от 2,84 до 3,55 единиц в ризосфере, что демонстрирует наличие тенденции подкисления почв в результате внесения микроудобрений.



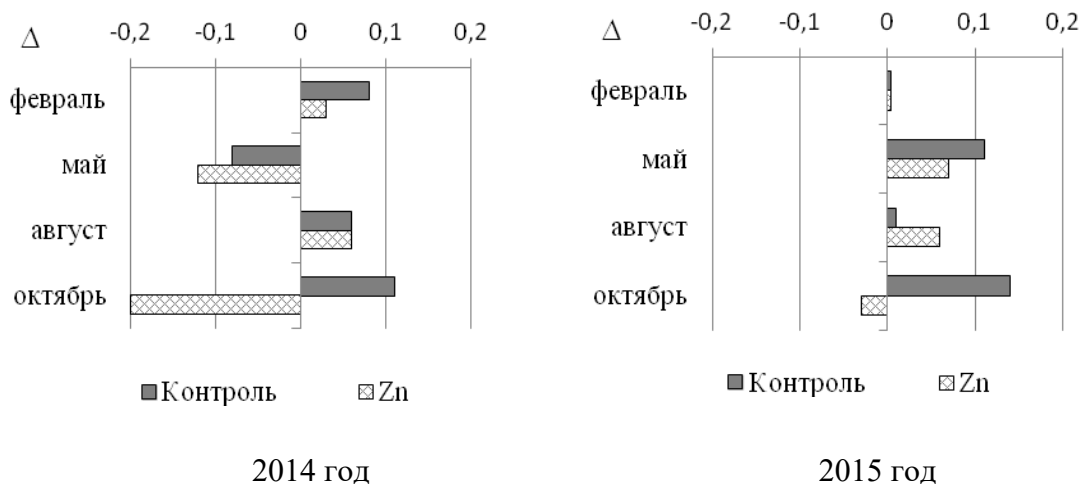
А



Б

Рис. 2 Кислотность почвенного раствора (pH) в сезонной динамике по вариантам опыта: А – 2014 г.; Б – 2015 г.

Результаты изменения pH_{KCl} в ризосфере по сравнению с внекорневой почвой, полученные в течение вегетационных периодов 2014 и 2015 гг. показали, что в варианте с сульфатом цинка подкисление в течение 2-х лет было отмечено только в октябре (рис. 3). Если учесть, что подкисление в ризосфере определяется интенсивностью выделения корнями подкисляющих экссудатов и микробного дыхания, то можно предположить, что цинкосодежащие удобрения стимулируют эти процессы в осенний период; различия по годам (в 2015 г. подкисление на 0,17 единиц меньше) обусловлены снижением активности растений и микроорганизмов в постстрессовый период. В ризосфере контроля наблюдалось в основном снижение кислотности (искл. май 2014 г), что согласно литературным данным, является характерной особенностью чайного растения и связано с адаптационным метаболизмом микроорганизмов [3; 21; 24].



Примечание: Δ - разность $pH_{ризосферы} - pH_{почвы}$

Рис. 3 – Изменение кислотности в ризосфере чайного растения под влиянием цинкосодежащих удобрений на фоне N240P70K90 в сравнении с контролем

Противоположные тенденции изменения кислотности в ризосфере чая обоих исследуемых вариантов в мае 2014г. (подкисление) и 2015г. (снижение кислотности) предполагало нестабильное физиологическое состояние растения и микроорганизмов через месяц после внесения удобрений (май). Состояние физиологической депрессии чайного растения (февраль, август) характеризовалось снижением кислотности в ризосфере обоих вариантов.

Заключение. Таким образом, было изучено влияние цинкосодежащих микроудобрений в дозе 4,3 кг д.в./га на фоне макроудобрений (N240P70K90 кг д.в./га) на кислотность как в почве, так и в ризосфере чая в течение всего вегетационного периода, в т.ч. под влиянием стресс-факторов (удобрения, засуха). Была выявлена тенденция подкисления внекорневой почвы (от 0,05 до 0,14 единиц) и ризосферы (от 0,1 до 0,41 единицы) в результате внесения цинкосодежащих микроудобрений. В ризосфере обоих вариантов было определено нестабильное состояние кислотности (как подкисление, так и подщелачивание) через месяц после внесения удобрений (май) и снижение кислотности на фоне физиологической депрессии растения (февраль, август). В течение 2-х лет было отмечено повышение кислотности в ризосфере под влиянием сульфата цинка осенью (октябрь), что, возможно, связано с влиянием микроудобрений на функциональную активность растительно-микробной системы.

Библиографический список

1. Агрохимические методы исследования почв [отв. ред. А.В. Соколов]. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
2. Анисимов В.С., Санжаров А.И., Корнеев Ю.Н., Анисимова Л.Н., Морозова А.И., Фригидов Р.А., Кочетков И.В. Влияние влажности почвы на химический состав и кислотность квазиравновесных почвенных растворов // Сб. трудов конференции «Биогеохимия - научная основа устойчивого развития и сохранения здоровья человека», Тула, 13-15 июня, 2019 г. – С. 199-203. eLIBRARY ID: 38530289
3. Дараселия Н.А. Биологическая активность основных почв Западной Грузии. – Тбилиси: «Мецниереба», 1979. – 302 с.
4. Дараселия, Н.А. Некоторые данные микробиологической характеристики почв Западной Грузии в условиях чайных плантаций // Бюллетень ВНИИ чая и субтропических культур. – Махарадзе, Анасеули. 1952. – № 2. – С. 141–147.
5. Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1977. – 224 с.
6. Малюкова, Л.С. Состояние микроэлементов (Mn, Cu, Zn) в бурых лесных почвах чайных плантаций Черноморского побережья Краснодарского края». автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 1998 – 30 с.
7. Малюкова 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.
8. Малюкова Л.С., Козлова Н.В., Притула З.В. Система удобрения плантаций чая в субтропиках России. – Сочи: ГНУ ВНИИЦиСК, 2010. – 45 с.
9. Малюкова Л.С., Козлова Н.В., Великий А.В. Влияние мезо- и микроудобрений на урожай чайного листа и плодородие бурых лесных кислых почв чайных плантаций почв чайных плантаций Черноморского побережья России // Проблемы агрохимии и экологии. – 2012. – № 1. – С. 18–21.
10. Мосина Л. В. Основы экотоксикологии: Учебное пособие. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2013. – 100 с.
11. Рогожина Е. В. Влияние цинкосодержащих удобрений на микробный комплекс ризосферы чайного растения (*Camellia sinensis* L.) в условиях субтропической зоны России // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2016. – Вып. 57. – С. 179-185. ISSN: 2225-3068
12. Рогожина Е. В. Сравнительный анализ микробного комплекса почвы и ризосферы чайного растения (*Camellia sinensis* L.) на бурых лесных кислых окультуренных почвах субтропической зоны России // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2014а. – Вып. 51. – С. 290-296. ISSN: 2225-3068.
13. Рогожина Е.В. Особенности комплекса ризосферных микроорганизмов чайного растения (*Camellia sinensis*) в условиях субтропической зоны России // Садоводство и виноградарство. – 2014б. – № 4. – С. 45-48. ISSN: 0235-2591.
14. Шапошников А.И., Пухальский Я.В., Кравченко Л.В., Белимов А.А. Роль корневой экссудации в трофических взаимодействиях растений с ризосферными микроорганизмами / ред.: И.А. Тихонович. – СПб.: Информ-Навигатор, 2016. – 104 с.
15. Широких А. А., Мерзаева О. В., Широких И. Г. Методические подходы к изучению микроорганизмов прикорневой зоны растений (обзор) // Сельскохозяйственная биология. – 2007. – №1. С. 43-55.
16. Широких И.Г., Широких А.А., Родина Н.А., Полянская Л.М., Бурканова О.А. Влияние кислотности почвы и токсичности алюминия на структуру микробной биомассы в ризосфере ячменя // Почвоведение. – 2004. – №8. – С. 961- 966.

17. Широких А.А. Изучение микробного потенциала фитосферы растений для использования в сельскохозяйственной биотехнологии: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.07 / – Киров: ЗНИИСХ Северо-Востока, 2007. – 48 с.
18. Gadd G. M. Heavy metal accumulation by bacteria and other microorganisms. *Experientia*, 1990, 46: 834-840.
19. Jadwiga Wyszowska, Agata Borowik, Mirosław Kucharski, Jan Kucharski. Effect of cadmium, copper and zinc on plants, soil microorganisms and soil enzymes // Chair of Microbiology University of Warmia and Mazury in Olsztyn // 20. *J. Elem.* – S. 769-796. DOI: 10.5601/jelem.2013.18.4.455
20. Marschner H. Mineral Nutrition of Higher Plants. London: Academic Press, 1986. – 889 p.
21. Morita A., Fujii Y., Yokota H. Effect of aluminium on exudation of organic acid anions in tea plants // *Plant Nutrition-Food Security and Sustainability of Agroecosystems through Basic and Applied Research*, Kluwer, Dordrecht, – 2001. – pp. 508–509.
22. Morita O., Yanagisawa S., Takatsu S., Maeda S., Hiradate Mechanism for the Detoxification of Aluminum in Roots of Tea Plant (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) // *Phytochemistry*. – 2008. – Vol. 69, № 1. – pp. 147-153. doi:10.1016/j.phytochem.2007.06.007
23. Pandey A., Palni L.M.S. The Rhizosphere Effect in trees of the Indian Central Himalaya with special reference to altitude // *Applied Ecology and Environmental Research*. – 2007. – Vol 5, №1. – pp. 93-102.
24. Pandey A. Palni L.M.S. The rhizosphere effect of tea on soil microbes in a Himalayan monsoonal location // *Biol Fert Soils* [04.06.17]. – 1996. – V. 21, №3. – pp. 131–137.
25. Venkatesan S., Hemalatha K.V., Jayaganesh S. Zinc toxicity and its influence nutrient uptake in tea // *American Journal of Plant Physiology*. – 2006. – №1 (2). – P. 185-192.
26. 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 No. 106. FAO. Rome. 2014. – 181 p.
27. Young I. M. Variation in moisture contents between bulk soil and rhizosphere of wheat (*Triticum aestivum* L. cv. wembley). *New Phytologist*, 1995, 130: 135-139.

INFLUENCE OF ZINC-CONTAINING FERTILIZERS ON CHANGE IN ACIDITY IN
THE RHIZOSPHERE OF TEA (*SAMELLIA SINENSIS* L.) VARIETY OF KOLKHIDA
UNDER CONDITIONS OF THE SUBTROPICAL ZONE OF RUSSIA.

Rogozhina E.V.

Sochi, Russia

e-mail: RogojinaEW@yandex.ru

The paper presents the results of a comparative study of the acidity of acidic brown forest soils of tea plantations in the humid subtropics of Russia in the rhizosphere and foliar zone during two growing seasons under the influence of zinc sulfate at a dose of 4.3 kg a.i./ha against the background of macrofertilizers in comparison with control (N240P70K90 kg d.w. / ha). The tendency of acidification relative to the control in the rhizosphere (by 0.25 units on average) and in the foliar soil (by 0.1 units on average) as a result of the introduction of micronutrient fertilizers with zinc was noted. An increase in acidity (by 0.6 units on average) of soils of two loci of both variants in the post-stress period (after drought) was noted. It was shown that during the period of active influence of fertilizers (May), the change in acidity in the rhizosphere of both variants was unstable (± 0.1 units), and during the period of physiological rest (February) or depression (August) - acidity slightly decreased (less than 0.1 units). An increase in acidity in the rhizosphere was noted under the influence of zinc sulfate in autumn (October), which is possibly associated with the effect of micronutrient fertilizers on the functional activity of the plant-microbial system.

Key words: brown forest acidic soils, tea plantation, zinc-containing fertilizers, acidity of the rhizosphere and foliar soil.