

Прогнозирование трендов урожайности чая на Черноморском побережье России при различных метеорологических условиях во взаимосвязи с видами микроудобрений

А. В. Великий

Федеральный исследовательский центр

«Субтропический научный центр Российской академии наук», Сочи, Россия

E-mail: kriptozoom@mail.ru

Аннотация. Целью исследования было прогнозирование трендов урожайности зеленого чайного листа на Черноморском побережье России при различных метеорологических условиях во взаимосвязи с видами микроудобрений. **Методы и методология.** Для обработки полученных полевых данных за многолетний период проведения опыта и построения моделей урожайности чайного листа использовали методы описательной статистики в программе Microsoft Excel (при $P = 0,95$). **Результаты и область применения.** С помощью уравнений было установлено, что температурный коэффициент во многих случаях является сдерживающим фактором при получении урожая, лишь для высокоурожайных вариантов бор, кальций и цинк в уравнениях годовых данных играет стимулирующую роль и прибавляется. Коэффициент влагообеспеченности во всех полученных уравнениях прибавляется, что говорит о положительной роли воды вне зависимости от условий года (благоприятные, неблагоприятные (засушливые)). Оба варианта уравнений показали, что самыми слабыми являются варианты «контроль» и «магний»: на них зачастую были получены самые низкие коэффициенты, что может говорить об их отрицательном влиянии на рост и развитие растений чая, особенно проявляющемся в различные стрессовые периоды. Точность уравнений урожая в обоих вариантах была на высоком уровне, в отдельные периоды погрешность составила 4,7–6,2 % для годовых данных и около 2,0 % для листосборного периода. **Научная новизна** исследования заключается в том, что выявленные закономерности формирования урожайности чайного листа при различных метеорологических условиях во взаимосвязи с видами микроудобрений позволят не только улучшить процесс сбора урожая, но и оптимизировать систему минерального питания.

Ключевые слова: чай, модель урожайности, прогнозирование урожая, микроэлементы

Благодарности. Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ФИЦ СЦ РАН FGRW-2024-0001, № госрегистрации 124022000098-6.

Для цитирования: Великий А. В. Прогнозирование трендов урожайности чая на Черноморском побережье России при различных метеорологических условиях во взаимосвязи с видами микроудобрений // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 06. С. 842–852. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-842-852>.

Дата поступления статьи: 20.02.2025, **дата рецензирования:** 20.03.2025, **дата принятия:** 03.04.2025.

Forecasting tea yield trends on the Black Sea coast of Russia under various meteorological conditions in relation to the types of micro fertilizers

A. V. Velikiy

Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia

E-mail: kriptoזורxon@mail.ru

Abstract. The aim of the study was to predict the yield trends of green tea leaves on the Black Sea coast of Russia under various meteorological conditions in relation to the types of micro fertilizers. Methods and methodology: descriptive statistics methods in Microsoft Excel (at $P = 0.95$) were used to process the field data obtained over a long period of experience and build tea leaf yield models. Results and scope of application: using the equations, it was found that in many cases the temperature coefficient is a deterrent factor in harvesting, only for high-yielding variants boron, calcium and zinc in the equations of annual data it plays a stimulating role and is added. The coefficient of moisture availability is added to all the equations obtained, which indicates the positive role of water regardless of the conditions of the year (favorable, unfavorable (arid)). Both versions of the equations showed that the weakest options are control and magnesium, and they often have the lowest coefficients, which may indicate their negative impact on the growth and development of tea plants, especially during various stressful periods. The accuracy of the yield equations in both variants was at a high level, in some periods the error was 4.7–6.2 % for annual data, and about 2.0 % for the leaf collection period. The scientific novelty of the study lies in the fact that the revealed patterns of tea leaf yield formation under various meteorological conditions, in conjunction with the types of micro-fertilizers, will not only improve the harvesting process, but also optimize the mineral nutrition system.

Keywords: tea, yield model, crop forecasting, microelements

Acknowledgments. The study was funded by state assignment research of FRC SSC RAS FGRW-2024-0001 project No. 124022000098-6.

For citation: Velikiy A. V. Forecasting tea yield trends on the Black Sea coast of Russia under various meteorological conditions in relation to the types of micro fertilizers. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (06): 842–852. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-842-852>. (In Russ.)

Date of paper submission: 20.02.2025, **date of review:** 20.03.2025, **date of acceptance:** 03.04.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Методы прогнозирования урожайности являются важным аспектом сельского хозяйства и широко исследованы для таких основных культур, как рис, кукуруза и пшеница [7; 14; 20]. Результаты этих исследований помогают фермерам оптимизировать свои ресурсы и планировать посевные площади. Однако, несмотря на значительные достижения в этой области, внимание к древесным культурам остается ограниченным. Ученые J. Brinkhoff и A. J. Robson [8], а также M. Rahman с коллегами [19] в своих работах подчеркивают, что древесные культуры требуют особого подхода к прогнозированию урожайности, так как они обладают уникальными характеристиками (вечнозеленые листья, неравномерный характер плодоношения и продолжительные периоды роста), которые затрудняют применение традиционных методов прогнозирования, используемых для однолетних культур [5; 21; 25]. Это может быть связано с различными факто-

рами, такими как климатические условия, здоровье растений и агрономические практики, что требует долгосрочных прогнозов и более сложных анализов данных.

Климатические изменения в современном мире становятся все более ощутимыми, поэтому требуется более эффективное управление сельскохозяйственным производством для удовлетворения постоянно растущего спроса на продовольствие. Для достижения этой цели необходимо использовать различные системы сельскохозяйственного мониторинга [10]. Это комплекс мер, направленный на непрерывное отслеживание состояния сельскохозяйственных угодий, динамики роста и развития растений, а также факторов, влияющих на урожайность. Системы мониторинга часто основаны на сочетании методов, таких как полевые исследования, модели сельскохозяйственных культур или статистические модели для оценки урожайности сельскохозяйственных культур [10]. В условиях мно-

жества факторов скорость получения данных о потенциальном урожае дает возможность оперативно принимать обоснованные решения для достижения наилучших результатов. Следовательно, и прогнозы должны иметь разумную заблаговременность и точность [23].

Чайное растение является одной из немногих сельскохозяйственных культур, выращиванием которой человек занимается несколько тысячелетий и спрос на которую неуклонно растет. Так, по данным FAOStat, в 2017 году площади чайных плантаций в мире увеличились на 30 %, а валовый сбор чая – на 32 % и составил 6101,1 тыс. т [9]. И эта тенденция, по прогнозам, будет сохраняться. Отдельные исследователи отмечают существенный рост площадей чайных плантаций в Китае (около 300 % в 2019 году по сравнению с 2002 годом), что стало возможным за счет высокой пластичности чайного растения, благодаря которой оно быстро приспосабливалось к новым условиям произрастания.

Однако, несмотря на успешную адаптацию растений чая к различным климатическим зонам и условиям, процесс производства чайного листа сталкивается с проблемами в связи с усугубляющимся изменением климата даже на его исконных территориях [11; 15; 18]. В районах, специализирующихся на производстве чая, за последние годы наблюдается большая нестабильность важных климатических факторов, таких как температура воздуха и сумма выпадающих осадков. Также отмечается рост как частоты, так и продолжительности засушливых периодов, что приводит к значительным потерям в урожайности и, следовательно, отрицательно сказывается на прибыльности чайного производства [13; 22].

На Черноморском побережье Краснодарского края (агломерация г. Сочи) зачастую неравномерное выпадение осадков порой приводит к появлению продолжительных засушливых периодов от 14 до 40 дней, которые оказывают влияние на выращивание чая в данном регионе [2].

Для снижения отрицательного эффекта от неблагоприятных метеорологических явлений рекомендуется сбалансированное применение комплекса минеральных удобрений, включающий как макро-, так и микроэлементы. На Черноморском побережье России корневое применение бора, смеси элементов (Zn + B + Mg), цинка и кальция на фоне традиционных удобрений усиливало побегообразовательную способность чая, что обеспечивало существенную прибавку урожая на 27, 25, 22 и 14 %, соответственно. В неблагоприятных метеорологических условиях потеря урожая составляла в среднем 30–40 %, прирост от применения изучаемых элементов снижался до 6–16 % [1; 6].

На сегодняшний день повышение эффективности системы минерального питания и прогнози-

рование ежегодных объемов сбора чайного листа являются актуальными вопросами в чаепроизводящих регионах. Также отдельные исследователи [12; 17; 26] сообщают о дальнейшем ухудшении условий для растениеводства, что делает задачу прогнозирования урожайности еще более актуальной.

Целью исследования было прогнозирование трендов урожайности зеленого чайного листа на Черноморском побережье России при различных метеорологических условиях во взаимосвязи с видами микроудобрений.

Методология и методы исследования (Methods)

В 2003 году на участке чайной плантации был начат полевой опыт по изучению микроэлементов. Участок является частью производственной плантации ЗАО «Дагомысчай» (Краснодарский край, г. Сочи, Лазаревский район, поселок Уч-Дере, 43°69'N, 39°64'E) и в 1983 году был засажен интенсивным районированным сортом Колхида. В опыте почвы относились к категории бурых лесных кислых окультуренных почв [1]. Площадь чайных делянок – 10 м², повторность трехкратная. Общая площадь опытного участка – 0,05 га. Схема опыта (в кг д. в. / га): 1) контроль – N₂₄₀P₇₀K₉₀; 2) сульфат магния (MgSO₄) – Mg₆₀; 3) кристаллическая сера (S₁₀₀₀), оба эти варианта с 2015 года изучаются в последствии; 4) сульфат цинка (ZnSO₄) – Zn_{4,3}, с 2017 года изучается в последствии в связи с увеличением подвижного цинка в почве в 2–4 раза; 5) борная кислота (H₃BO₃) – B₆; 6) смесь Zn + B + Mg (4,3; 6; 60, соответственно); 7) кальцийсодержащий природный материал (40–50 % CaO) вносится в количестве 250 кг/га [1]. 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 учетом результатов, полученных в полевых опытах в условиях Западной Грузии [1].

Анализ исходных параметров (среднесуточная температура и количество осадков) метеорологических условий проводился на основе данных Сочинской гидрометеостанции. В дальнейшем они были сгруппированы по категориям, отвечающим за различные вегетационные периоды в жизни растений чая. Для обработки полученных полевых данных за многолетний период проведения опыта и построения моделей урожайности чайного листа использовали методы описательной статистики в программе Microsoft Excel (при $P = 0,95$).

Результаты (Results)

В условиях ограниченности площадей сельскохозяйственных земель и изменяющегося климата особо остро стоит вопрос о прогнозировании урожая различных культур и разработке технологий, способствующих их росту. Одной из таких технологий является разработка комплексных сбалансированных минеральных удобрений, включающих

традиционные азотные, фосфорные, калийные с добавлением к ним мезо- и микроэлементов, усиливающих рост растений, их физиологические и биохимические функции, что приводит к росту урожая и повышению качества сырья.

В ходе многолетних исследований (более 10 лет) влияния внесения биогенных элементов на оптимальном фоне макроудобрений был получен большой набор данных (рис. 1). Установлена сильная вариабельность урожая зеленого чайного листа как за весь изученный период, так и в отдельные его периоды, что в первую очередь связано с нестабильными метеорологическими условиями черноморской зоны, которые особенно остро начали проявляться с 2016 года, что выразилось в увеличении лет с неблагоприятными погодными явлениями.

Этот большой набор данных позволил построить модель урожая, а также оценить совместное влияние на него основных метеорологических факторов и внесения удобрений.

На первом этапе статистических исследований было построено несколько простых (линейных) моделей для оценки их точности и поиска наиболее значимых параметров при их создании.

Для построения первой модели использовали общий урожай за год и показатели среднегодовой температуры и годовой суммы осадков, полученные уравнения зависимостей представлены в таблице 1, где z – урожайность, x – среднегодовая температура, y – годовая сумма осадков.

При изучении полученных уравнений можно отметить, что температурный коэффициент и коэффициент влагообеспеченности по-разному влияют на формирование урожайности. Так, коэффициент влагообеспеченности во всех полученных уравнениях прибавляется, что говорит о положительной роли воды вне зависимости от условий года (благоприятные, неблагоприятные (засушливые)). В то же время температурный коэффициент на высокоурожайных вариантах «бор», «кальций» и «цинк» прибавляется, т. е. имеет положительное значение, а на низкоурожайных вариантах «контроль», «магний» и «сера» он вычитается, т. е. имеет отрицательное значение при формировании урожайности чайной флешки (таблица 1). На высокоурожайном варианте с совместным внесением цинка, бора и магния температурный коэффициент вычитается, что, скорее всего, связано с отрицательным влиянием магния (таблица 1).

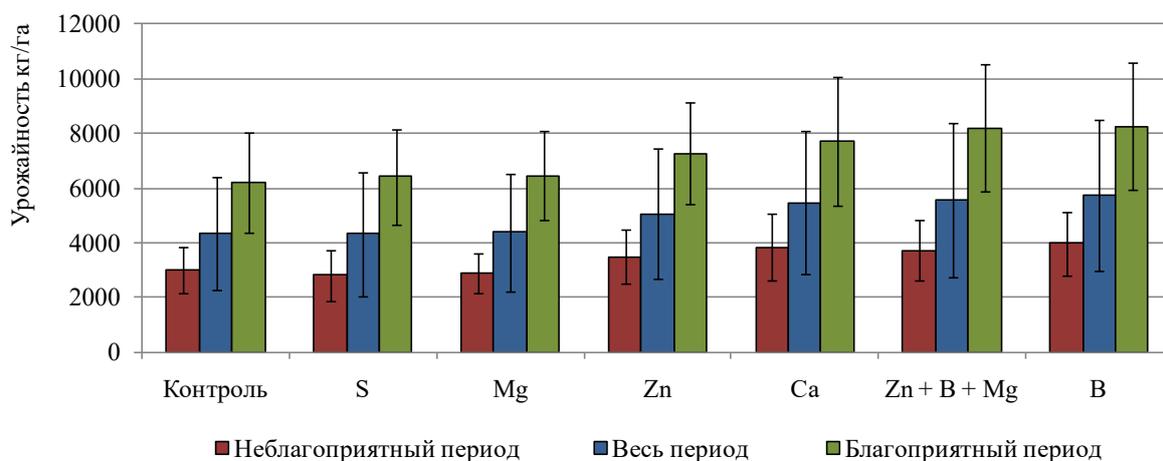


Рис. 1. Урожайность зеленого чайного листа за 2011–2024 год, кг/га

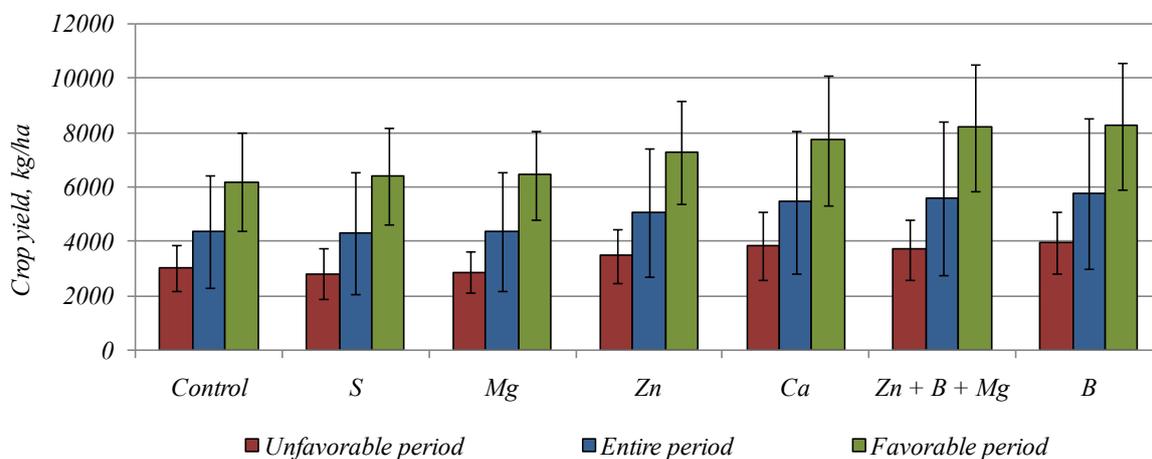


Fig. 1. Yield of green tea leaf for 2011–2024, kg/ha

Таблица 1
Линейные уравнения урожайности в зависимости от среднегодовой температуры и среднегодовой суммы осадков (с учетом вклада метеоусловий каждого года в период проведения исследований)

Вариант	Урожайность	Расчетный коэффициент	
		Температура воздуха	Суммы осадков
Контроль	$11,5173 - 2,0506x + 0,0413y$	-31,34408	63,35489
Zn	$-44,0211 + 0,7915x + 0,0538y$	12,09833	82,5301
Mg	$-2,1491 - 1,7587x + 0,0474y$	-26,88229	72,71239
B	$-50,7252 + 0,4422x + 0,0662y$	6,759168	101,5519
S	$-32,4759 - 0,524x + 0,0545y$	-8,009508	83,60391
Ca	$-66,3475 + 2,3854x + 0,055y$	36,4616	84,37092
Zn + B + Mg	$-26,1983 - 0,7792x + 0,0612y$	-11,91032	93,88182

Table 1
Linear yield equations depending on the average annual temperature and average annual precipitation (taking into account the contribution of weather conditions of each year during the research period)

Variant	Crop yield	Estimated coefficient	
		Air temperature	Precipitation amounts
Control	$11.5173 - 2.0506x + 0.0413y$	-31.34408	63.35489
Zn	$-44.0211 + 0.7915x + 0.0538y$	12.09833	82.5301
Mg	$-2.1491 - 1.7587x + 0.0474y$	-26.88229	72.71239
B	$-50.7252 + 0.4422x + 0.0662y$	6.759168	101.5519
S	$-32.4759 - 0.524x + 0.0545y$	-8.009508	83.60391
Ca	$-66.3475 + 2.3854x + 0.055y$	36.4616	84.37092
Zn + B + Mg	$-26.1983 - 0.7792x + 0.0612y$	-11.91032	93.88182

Отдельно хочется отметить, что на варианте с кальцием получен высокий положительный температурный коэффициент (таблица 1), что обусловлено тем, что кальций выполняет функцию универсального вторичного мессенджера (является посредником в передаче сигнала внутри клетки) в усилении синтеза стрессорных белков и других защитных соединений, обеспечивающих устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды, а также последующий выход из этого состояния [3; 4; 16; 24]. Роль кальция наиболее четко прослеживалась в период второй волны роста – в начале формирования неблагоприятных для растения погодных условий, когда отмечался более существенный прирост урожайности по сравнению с контролем.

Коэффициент влагообеспеченности играет положительную роль в формировании урожайности чайной флешки, однако чайные растения из-за микроэлементов в системе питания по-разному усваивают поступающую воду (таблица 1). Так, наименьший коэффициент влагообеспеченности получен на низкоурожайных вариантах «контроль с применением только макроудобрений» и «магний». Для варианта с применением магния в опыте уже было установлено, что растения чая плохо переносят засушливые периоды, это визуально проявлялось в их необратимом завядании, а также в морфологических изменениях мезоструктуры листьев растений [1].

Самый высокий коэффициент влагообеспеченности получен на высокоурожайном варианте с бором (таблица 1). На высокоурожайном варианте с совместным внесением цинка, бора и магния получен высокий коэффициент влагообеспеченности, что, скорее всего, связано с наличием бора в системе минерального питания.

После проведенного анализа и получения расчетных уравнений можно подставить среднегодовую температуру воздуха и среднюю сумму осадков за период 2011–2024 годов и сравнивать, насколько близкими получаются фактические и расчетные значения урожайности. Как видно из рис. 2, разница между расчетной урожайностью и фактической всего 0,1 %, что может говорить о правильности полученных уравнений. Однако в нестабильных метеорологических условиях она порой составляла 4,7–6,2 %.

Чайное растение в отличие от многих других сельскохозяйственных культур выделяется длительным периодом сбора урожая молодой чайной флешки (листооборный период). В отдельных чаепроизводящих странах листооборный период продолжается почти круглый год. На Черноморском побережье России этот период имеет продолжительность около 5 месяцев (май – сентябрь). С учетом этой особенности в получении урожая чая можно получить уравнения зависимости урожая не от среднегодовых температур и сумм осадков, а от среднемесячных.

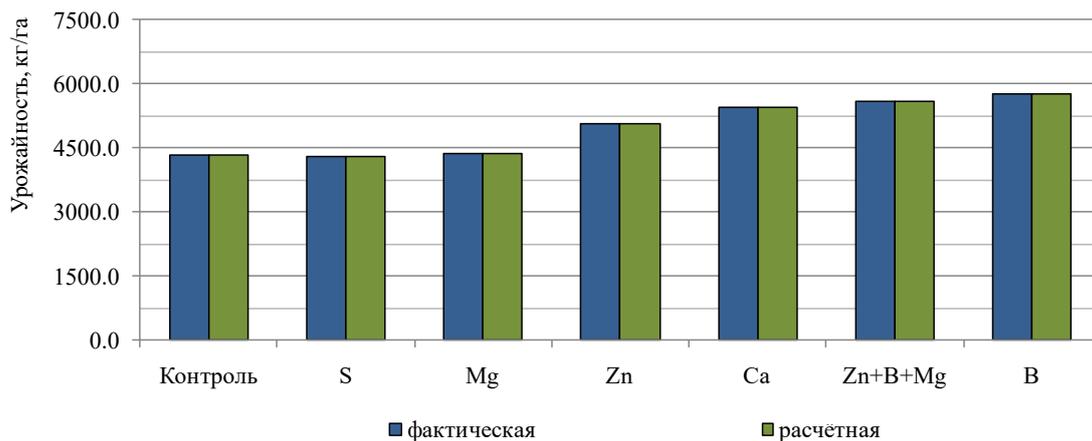


Рис. 2. Фактическая и расчетная урожайность зеленого чайного листа в зависимости от среднегодовой температуры и среднегодовой суммы осадков (с учетом вклада метеоусловий каждого года в период проведения исследований)

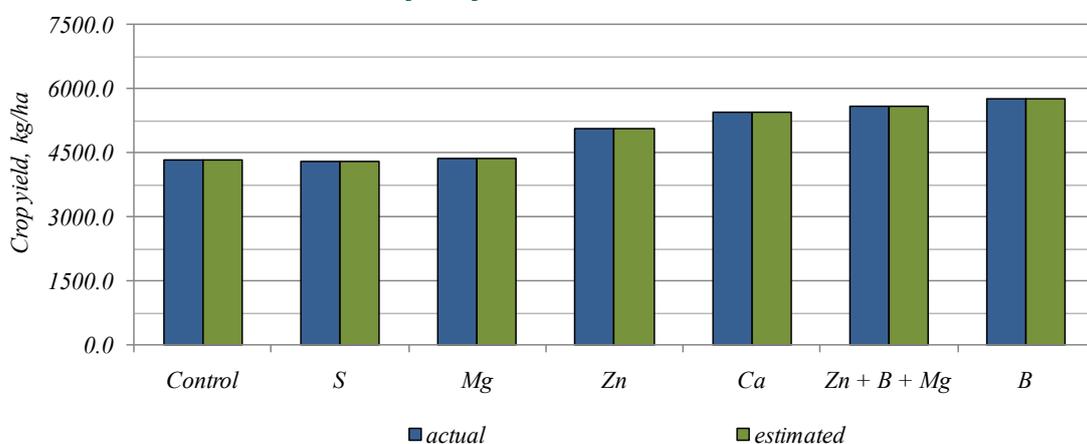


Fig. 2. Actual and estimated yield of green tea leaf depending on the average annual temperature and average annual precipitation (taking into account the contribution of weather conditions of each year during the research period)

Для построения линейной зависимости по среднемесячным показателям были использованы данные 5 месяцев, полученные за 12 лет проведения опыта, общее количество пар данных составило 60 шт. Анализ полученных уравнений (таблица 2) показал, что получены похожие тенденции как в уравнениях, построенных по годовым данным. В месячных уравнениях температурный коэффициент также является сдерживающим фактором, выполняя отрицательную роль, а коэффициент влагообеспеченности – стимулирующим фактором, выполняя положительную роль получения высоких урожаев.

Отрицательная роль прогнозировалась для среднемесячной температуры воздуха, так как ее повышение на определенном этапе уже приводит к замедлению роста и снижению урожайности, что и отмечено на всех вариантах опыта. Самый низкий температурный коэффициент отмечен на вариантах с применением только традиционных макроудобрений и на варианте с дополнительным внесением серы (таблицы 2, 3). Самый высокий температурный коэффициент отмечен на вариантах с применением борных удобрений и на варианте с допол-

нительным внесением магния (таблицы 2, 3). Стоит также отметить, что температурный коэффициент пропорционально увеличивается согласно росту среднемесячной температуры, его максимум фиксируется в августе, в период самого жаркого для причерноморского региона месяца (таблица 3).

Коэффициент влагообеспеченности при использовании среднемесячных данных оказывает положительное влияние на урожайность, он варьирует, согласно расчетам, от 0,28 до 3,01 единицы (таблица 3). В течение листосборного периода изменяется волнообразно, что объясняется характером осадков во влажных субтропиках, которые характеризуются неравномерностью выпадения, что зачастую приводит как к залповым ливням, так и к продолжительным засушливым периодам. При этом хочется отметить, что на высокоурожайных вариантах «бор», «кальций» и «цинк» он выше 1 усл. ед., а на варианте совместного применения цинка, бора и магния коэффициент влагообеспеченности от 2 до 3 усл. ед, что говорит о максимально возможном использовании поступающей влаги растениями чая на данных вариантах (таблица 3).

Таблица 2
Линейные уравнения урожайности в зависимости от среднемесячной температуры и суммы осадков (с учетом вклада метеословий каждого листосборного месяца)

Вариант	Урожайность
Контроль	$24,4524 - 0,7315x + 0,0038y$
Zn	$28,1265 - 0,8833x + 0,0138y$
Mg	$29,4471 - 0,9821x + 0,0087y$
B	$33,7584 - 1,0723x + 0,0136y$
S	$24,2506 - 0,786x + 0,0163y$
Ca	$28,7405 - 0,8711x + 0,014y$
Zn + B + Mg	$28,7584 - 0,8927x + 0,0202y$

Table 2
Linear yield equations depending on the average monthly temperature and precipitation (taking into account the contribution of weather conditions of each leaf-collecting month)

Variant	Crop yield
Control	$24.4524 - 0.7315x + 0.0038y$
Zn	$28.1265 - 0.8833x + 0.0138y$
Mg	$29.4471 - 0.9821x + 0.0087y$
B	$33.7584 - 1.0723x + 0.0136y$
S	$24.2506 - 0.786x + 0.0163y$
Ca	$28.7405 - 0.8711x + 0.014y$
Zn + B + Mg	$28.7584 - 0.8927x + 0.0202y$

Таблица 3
Расчетные коэффициенты в зависимости от среднемесячной температуры и суммы осадков (с учетом вклада метеословий каждого листосборного месяца)

Варианты	Температура воздуха				
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Контроль	12,70	16,03	17,51	18,26	15,44
Zn	15,34	19,36	21,15	22,05	18,64
Mg	17,05	21,52	23,51	24,51	20,73
B	18,62	23,50	25,67	26,76	22,63
S	13,65	17,22	18,82	19,62	16,59
Ca	15,12	19,09	20,86	21,74	18,39
Zn + B + Mg	15,50	19,56	21,37	22,28	18,84
Варианты	Суммы осадков				
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Контроль	0,37	0,34	0,45	0,28	0,57
Zn	1,35	1,24	1,63	1,02	2,05
Mg	0,85	0,78	1,03	0,64	1,30
B	1,33	1,22	1,60	1,01	2,03
S	1,60	1,46	1,92	1,21	2,43
Ca	1,37	1,25	1,65	1,04	2,08
Zn + B + Mg	1,98	1,81	2,38	1,50	3,01

Table 3
Calculated coefficients depending on the average monthly temperature and precipitation amount (taking into account the contribution of weather conditions of each leaf-collecting month)

Variant	Air temperature				
	May	June	July	August	September
Control	12.70	16.03	17.51	18.26	15.44
Zn	15.34	19.36	21.15	22.05	18.64
Mg	17.05	21.52	23.51	24.51	20.73
B	18.62	23.50	25.67	26.76	22.63
S	13.65	17.22	18.82	19.62	16.59
Ca	15.12	19.09	20.86	21.74	18.39
Zn + B + Mg	15.50	19.56	21.37	22.28	18.84
Variant	Precipitation amounts				
	May	June	July	August	September
Control	0.37	0.34	0.45	0.28	0.57
Zn	1.35	1.24	1.63	1.02	2.05
Mg	0.85	0.78	1.03	0.64	1.30
B	1.33	1.22	1.60	1.01	2.03
S	1.60	1.46	1.92	1.21	2.43
Ca	1.37	1.25	1.65	1.04	2.08
Zn + B + Mg	1.98	1.81	2.38	1.50	3.01

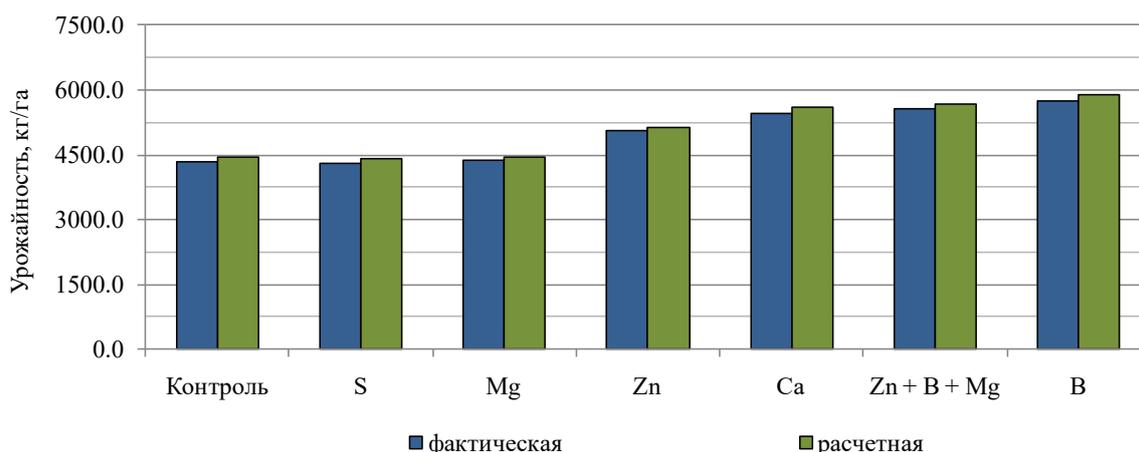


Рис. 3. Фактическая и расчетная урожайность зеленого чайного листа в зависимости от среднемесячной температуры и суммы осадков (с учетом вклада метеоусловий каждого листосборного месяца)

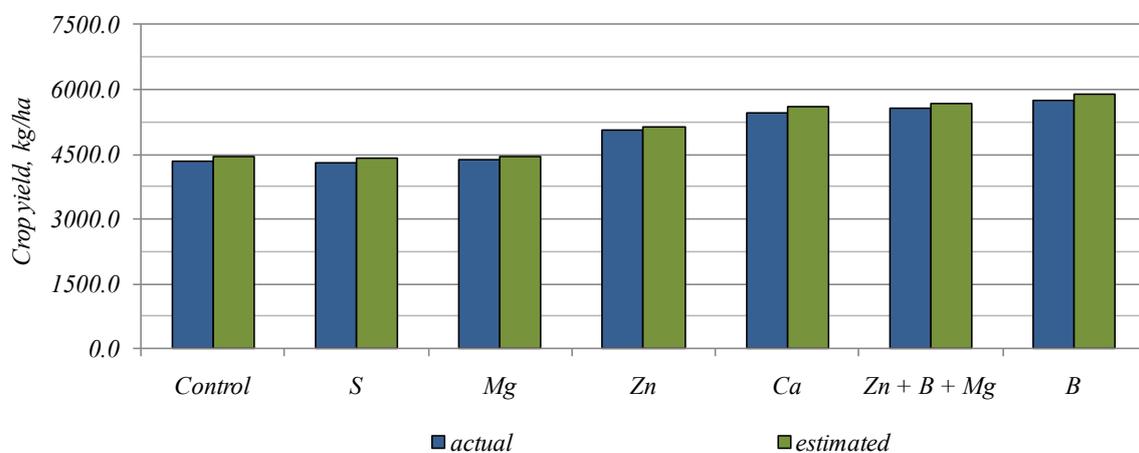


Fig. 3. The actual and estimated yield of green tea leaves, depending on the average monthly temperature and precipitation (taking into account the contribution of weather conditions of each leaf-collecting month)

После проведенного анализа и получения расчетных уравнений можно подставить среднемесячную температуру воздуха и среднюю сумму осадков за период 2011–2024 годов и сравнить, насколько близкими получаются фактические и расчетные значения урожайности. Как видно из рис. 3, разница между расчетной урожайностью при использовании среднемесячных температур и сумм осадков к фактическому урожаю, полученному в полевых условиях, составила в среднем около 2 %. Однако использование месячных показателей показывает динамичный прогноз урожайности для каждого месяца, что позволяет более правильно организовать весь процесс сбора чайной флешки.

Применение простой линейной модели для вычисления урожаев чайной плантации очень удобно и информативно. Однако такая модель уравнений не показывает совместного влияния гидротермического коэффициента на урожай. Именно оптимальное сочетание температуры и осадков позволяет получить высокий урожай чайного листа, поэтому в дальнейшем планируются усовершенствование модельного уравнения, изучение других параме-

тров, влияющих на рост и развитие растений, а также поиск параметров, которые могут способствовать прогнозированию урожая на предстоящий листосборный период, что позволит быстрее реагировать на изменение метеорологических условий и проводить соответствующие агротехнологические приёмы на чайных плантациях.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

На сочинском Черноморском побережье в длительном полевом опыте на культуре чая изучено влияние почвенного корневого внесения биогенных элементов (S, Mg, Ca, B, Zn) на оптимальном фоне макроудобрений на урожай чайного листа. Большой набор полученных данных позволил построить модельные уравнения урожая для чая, а также оценить совместное влияние на него основных метеорологических факторов и внесения удобрений. С учетом длительного листосборного периода у культуры чая было получено сразу два вида уравнения для урожая: первый – на основе годовых данных (октябрь – сентябрь) о температуре и сумме осадков, второй – на основе месячных данных о температуре и сумме осадков в течение листосборного периода

(май – сентябрь). С помощью уравнений было установлено, что температурный коэффициент во многих случаях является сдерживающим фактором при получении урожая, лишь для высокоурожайных вариантов «бор», «кальций» и «цинк» в уравнениях годовых данных он играет стимулирующую роль и прибавляется. Коэффициент влагообеспеченности во всех полученных уравнениях прибавляется, что говорит о положительной роли воды вне зависимости от условий года (благоприятные, неблагоприятные (засушливые)). Оба варианта уравнений показали, что самыми слабыми являются варианты «контроль» и «магний», на них зачастую были получены самые низкие коэффициенты, что может говорить об их отрицательном влиянии на рост и развитие растений чая, особенно проявляющемся в различные стрессовые периоды. Точность урав-

нений урожая в обоих вариантах была на высоком уровне, в отдельные периоды погрешность составила 4,7–6,2 % для годовых данных и около 2,0 % для листосборного периода. Использование месячных показателей демонстрирует динамичный прогноз урожайности для каждого месяца, что позволяет более правильно организовать весь процесс сбора чайной флешки. Применение простой линейной модели для вычисления урожая чайной плантации очень удобно и информативно. В дальнейшем планируется усовершенствование модельного уравнения, которое поможет планированию урожая на предстоящий листосборный период, что позволит быстрее реагировать на изменение метеорологических условий, и проводить соответствующие агротехнологические приемы на чайных плантациях.

Библиографический список

1. Великий А. В. Влияние корневого применения биогенных элементов (Mg, Ca, B, Zn) на плодородие бурых лесных кислых почв, урожай и качество зеленого чайного листа в условиях влажных субтропиков России: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04. Краснодар, 2022. 219 с.
2. Малюкова Л. С., Козлова Н. В., Рогожина Е. В. [и др.] Возделывание субтропических культур на Черноморском побережье России: эколого-агрохимические аспекты // *Сельскохозяйственная биология*. 2014. Т. 49, № 3. С. 24–31.
3. Малюкова Л. С., Притула З. В., Козлова Н. В. [и др.] О формировании устойчивости у растений чая (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) при недостаточном водообеспечении на фоне корневого внесения кальция в виде природного удобрения // *Сельскохозяйственная биология*. 2016. Т. 51, № 5. С. 673–679. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.673eng.
4. Малюкова Л. С., Притула З. В., Козлова Н. В. [и др.] Влияние кальцийсодержащего природного материала на состояние бурых лесных кислых почв и растений чая (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) в субтропиках России // *Агротехнологии*. 2020. № 12. С. 3–10. DOI: 10.31857/S0002188120120054.
5. Ali A., Imran M. Remotely sensed real-time quantification of biophysical and biochemical traits of Citrus (*Citrus sinensis* L.) fruit orchards: a review // *Scientia Horticulturae*. 2021. Vol. 282. Article number 110024. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110024.
6. Velikii A. V. The effectiveness of the combined use of zinc, boron, and magnesium on tea plantations in the humid subtropics of Russia // *BIO Web Conference*. 2024. Vol. 139. Article number 04001. DOI: 10.1051/bioconf/202413904001.
7. Basso B., Liu L. Chapter four-seasonal crop yield forecast: methods, applications, and accuracies // In: Donald L. Sparks (ed.). *Advances in Agronomy*. 2019. Vol. 154. Pp. 201–255. DOI: 10.1016/bs.agron.2018.11.002.
8. Brinkhoff J., Robson A. J. Block-level macadamia yield forecasting using spatiotemporal datasets // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2021. Vol. 303. Article number 108369. DOI: 10.1016/j.agrformet.2021.108369.
9. FAO. *Current Global Market Situation and Emerging Issues*. Rome, Italy: FAO, 2022. 8 p.
10. Fritz S., See L., Bayas J. C. L., et al. A comparison of global agricultural monitoring systems and current gaps // *Agricultural Systems*. 2019. Vol. 168. Pp. 258–272.
11. Iizumi T., Ramankutty N. How do weather and climate influence cropping area and intensity // *Global Food Security*. 2015. Vol. 4. Pp. 46–50. DOI: 10.1016/J.GFS.2014.11.003.
12. Kis A., Pongrácz R., Bartholy J., et al. Multi-scenario and multi-model ensemble of regional climate change projections for the plain areas of the Pannonian Basin // *Időjárás*. 2020. Vol. 124, No. 2. Pp. 157–190. DOI: 10.28974/idojaras.2020.2.2.
13. Korecha D., Barnston A. G. Predictability of June-September rainfall in Ethiopia // *Monthly Weather Review*. 2007. Vol. 135. Pp. 628–650. DOI: 10.1175/MWR3304.1.
14. Liu L., Basso B. Linking field survey with crop modeling to forecast maize yield in smallholder farmers' fields in Tanzania // *Food Security*. 2020. Vol. 12 (3). Pp. 537–548. DOI: 10.1007/s12571-020-01020-3.
15. Liu W., Ye T., Jägermeyr J., et al. Future climate change significantly alters interannual wheat yield variability over half of harvested areas // *Environmental Research Letters*. 2021. Vol. 16, No. 9. Article number 094045. DOI: 10.1088/1748-9326/ac1fbb.

16. Malyukova L. S., Pritula Z. V., Kozlova N. V., et al. Effects of calcium-containing natural fertilizer on *Camellia Sinensis* (L.) Kuntze // *Bangladesh Journal of Botany*. 2021. Vol. 50 (1). Pp. 179–187. DOI: 10.3329/bjb.v50i1.52686.
17. Nistor M. M., Cheval S., Gualtieri A. F., et al. Crop evapotranspiration assessment under climate change in the Pannonian Basin during 1991–2050 // *Meteorological Applications*. 2017. Vol. 24, No. 1. Pp. 84–91. DOI: 10.1002/met.1607.
18. Nóia Júnior R. S., Martre P., Finger R., et al. Extreme lows of wheat production in Brazil // *Environmental Research Letters*. 2021. Vol. 16, No. 10. Article number 104025. DOI: 10.1088/1748-9326/ac26f3.
19. Rahman M., Robson A., Bristow M. Exploring the potential of high resolution World View-3 imagery for estimating yield of mango // *Remote Sensing*. 2018. Vol. 10. Article number 1866. DOI: 10.3390/rs10121866.
20. Schauburger B., Jägermeyr J., Gornott C. A systematic review of local to regional yield forecasting approaches and frequently used data resources // *European Journal of Agronomy*. 2020. Vol. 120. Article number 126153. DOI: 10.1016/j.eja.2020.126153.
21. Sola-Guirado R. R., Castillo-Ruiz F. J., Jimenez-Jimenez F., et al. Olive actual “on year” yield forecast tool based on the tree canopy geometry using UAS imagery // *Sensors*. 2017. Vol. 17. Article number 1743. DOI: 10.3390/s17081743.
22. Tesfaye K., Gbegbelegbe S., Cairns J. E., et al. Maize systems under climate change in sub-Saharan Africa: Potential impacts on production and food security // *International Journal of Climate Change Strategies and Management*. 2015. Vol. 7. Pp. 247–271. DOI: 10.1108/IJCCSM-01-2014-0005.
23. Troccoli A., Harrison M., Anderson D. L. T., et al. Seasonal climate: forecasting and managing risk // *NATO Science Series: IV*. 2008. Vol. 82. DOI: 10.1007/978-1-4020-6992-5.
24. Upadhyaya H. Dutta B. K., Sahoo L., et al. Comparative effect of Ca, K, Mn and B on post-drought stress recovery in tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) // *American Journal of Plant Sciences*. 2012. Vol. 3. Pp. 443–460. DOI: 10.4236/ajps.2012/34054.
25. Zhang Z., Jin Y., Chen B., et al. California almond yield prediction at the orchard level with a machine learning approach // *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. DOI: 10.3389/fpls.2019.00809.
26. Zhu P., Abramoff R., Makowski D., et al. Uncovering the past and future climate drivers of wheat yield shocks in Europe with machine learning // *Earth’s Future*. 2021. DOI: 10.1029/2020ef001815.

Об авторе:

Андрей Васильевич Великий, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории агрохимии и почвоведения, Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук», Сочи, Россия; ORCID 0000-0001-7612-3021, AuthorID 680026.
E-mail: kripto XOR xon@mail.ru

References

1. Velikiy A. V. *The influence of root application of biogenic elements (Mg, Ca, B, Zn) on the fertility of brown forest acid soils, yield and quality of green tea leaves in the humid subtropics of Russia: dissertation ... candidate of agricultural sciences: 06.01.04*. Krasnodar, 2022. 219 p. (In Russ.)
2. Malyukova L. S., Kozlova N. V., Rogozhina E. V., et al. Cultivating subtropical crops on the black sea coast of Russia: ecological and agrochemical aspects. *Agricultural Biology*. 2014; 49 (3): 24–31. (In Russ.)
3. Malyukova L. S., Pritula Z. V., Kozlova N. V., et al. About the formation of *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze resistance under insufficient water supply at the root fertilization with calcium clay. *Agricultural Biology*. 2016; 51 (5): 673–679. DOI: 10.15389/agrobiol.2016.5.673eng. (In Russ.)
4. Malyukova L. S., Pritula Z. V., Kozlova N. V., et al. Influence of root application of calcium containing natural substance on the state of brown forest acid soils and tea plants (*Camellia Sinensis* (L.) Kuntze) in Russian subtropics. *Agrochemistry*. 2020; 12: 3–10. DOI: 10.31857/S0002188120120054. (In Russ.)
5. Ali A., Imran M. Remotely sensed real-time quantification of biophysical and biochemical traits of *Citrus* (*Citrus sinensis* L.) fruit orchards: a review. *Scientia Horticulturae*. 2021; 282: 110024. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110024.
6. Velikii A. V. The effectiveness of the combined use of zinc, boron, and magnesium on tea plantations in the humid subtropics of Russia. *BIO Web Conference*. 2024; 139: 04001. DOI: 10.1051/bioconf/202413904001.
7. Basso B., Liu L. Chapter four-seasonal crop yield forecast: methods, applications, and accuracies. Donald L. Sparks (ed.). *Advances in Agronomy*. 2019; 154: 201–255. DOI: 10.1016/bs.agron.2018.11.002.
8. Brinkhoff J., Robson A. J. Block-level macadamia yield forecasting using spatiotemporal datasets. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2021; 303: 108369. DOI: 10.1016/j.agrformet.2021.108369.
9. FAO. *Current Global Market Situation and Emerging Issues*. Rome, Italy: FAO, 2022. 8 p.

10. Fritz S., See L., Bayas J. C. L., et al. A comparison of global agricultural monitoring systems and current gaps. *Agricultural Systems*. 2019; 168: 258–272.
11. Iizumi T., Ramankutty N. How do weather and climate influence cropping area and intensity. *Global Food Security*. 2015; 4: 46–50. DOI:10.1016/J.GFS.2014.11.003.
12. Kis A., Pongrácz R., Bartholy J., et al. Multi-scenario and multi-model ensemble of regional climate change projections for the plain areas of the pannonian basin. *Időjárás*. 2020; 124 (2): 157–190. DOI: 10.28974/idojaras.2020.2.2.
13. Korecha D., Barnston A.G. Predictability of June-September rainfall in Ethiopia. *Monthly Weather Review*. 2007; 135: 628–650. DOI: 10.1175/MWR3304.1.
14. Liu L., Basso B. Linking field survey with crop modeling to forecast maize yield in smallholder farmers' fields in Tanzania. *Food Security*. 2020; 12 (3): 537–548. DOI: 10.1007/s12571-020-01020-3.
15. Liu W., Ye T., Jägermeyr J., et al. Future climate change significantly alters interannual wheat yield variability over half of harvested areas. *Environmental Research Letters*. 2021; 16 (9): 094045. DOI: 10.1088/1748-9326/ac1fbb.
16. Malyukova L. S., Pritula Z. V., Kozlova N. V., et al. Effects of calcium-containing natural fertilizer on *Camellia Sinensis* (L.) Kuntze. *Bangladesh Journal of Botany*. 2021; 50 (1): 179–187. DOI: 10.3329/bjb.v50i1.52686.
17. Nistor M. M., Cheval S., Gualtieri A. F., et al. Crop evapotranspiration assessment under climate change in the Pannonian basin during 1991–2050. *Meteorological Applications*. 2017; 24 (1): 84–91. DOI: 10.1002/met.1607.
18. Nóia Júnior R. S., Martre P., Finger R., et al. Extreme lows of wheat production in Brazil. *Environmental Research Letters*. 2021; 16 (10): 104025. DOI: 10.1088/1748-9326/ac26f3.
19. Rahman M., Robson A., Bristow, M. Exploring the Potential of High Resolution World View-3 Imagery for Estimating Yield of Mango. *Remote Sensing*. 2018; 10: 1866. DOI: 10.3390/rs10121866.
20. Schauburger B., Jägermeyr J., Gornott C, A systematic review of local to regional yield forecasting approaches and frequently used data resources. *European Journal of Agronomy*. 2020; 120: 126153. DOI: 10.1016/j.eja.2020.126153.
21. Sola-Guirado R. R., Castillo-Ruiz F. J., Jimenez-Jimenez F., et al. Olive actual “on year” yield forecast tool based on the tree canopy geometry using UAS Imagery. *Sensors*. 2017; 17: 1743. DOI: 10.3390/s17081743.
22. Tesfaye K., Gbegbelegbe S., Cairns J. E., et al. Maize systems under climate change in sub-Saharan Africa: Potential impacts on production and food security. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*. 2015; 7: 247–271. DOI: 10.1108/IJCCSM-01-2014-0005.
23. Troccoli A., Harrison M., Anderson D. L. T., et al. Seasonal climate: forecasting and managing risk. *NATO Science Series: IV*. 2008; 82. DOI: 10.1007/978-1-4020-6992-5.
24. Upadhyaya H. Dutta B. K., Sahoo L., et al. Comparative effect of Ca, K, Mn and B on post-drought stress recovery in tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze). *American Journal of Plant Sciences*. 2012; 3: 443–460. DOI: 10.4236/ajps.2012/34054.
25. Zhang Z., Jin Y., Chen B., et al. California almond yield prediction at the orchard level with a machine learning approach. *Frontiers in Plant Science*. 2019; 10. DOI: 10.3389/fpls.2019.00809.
26. Zhu P., Abramoff R., Makowski D., et al. Uncovering the past and future climate drivers of wheat yield shocks in Europe with machine learning. *Earth's Future*. 2021. DOI: 10.1029/2020ef001815.

Author's information:

Andrey V. Velikiy, candidate of agricultural sciences, researcher at the laboratory of agrochemistry and soil science, Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia; ORCID 0000-0001-7612-3021, AuthorID 680026. *E-mail: kriptozoorxon@mail.ru*