

УДК 633.72:631.6(470.621)

**МЕЛКОДИСПЕРСНОЕ ОРОШЕНИЕ КАК ОСНОВНОЙ СПОСОБ
РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ, ВОДНО-ВОЗДУШНОГО
И ТЕПЛОВОГО РЕЖИМОВ В АГРОЦЕНОЗЕ
ЧАЙНЫХ ПЛАНТАЦИЙ АДЫГЕИ**

Добежина С.В., Туов М.Т., Пчихачев Э.К., Шишков М.Б.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур», Сочи, e-mail: supk@vniisubtrop.ru

В статье приведены результаты трехлетних исследований по изучению мелкодисперсного орошения на чайных плантациях в условиях Адыгеи. Орошение способствовало увеличению урожайности чайных насаждений в среднем за три года на 65%. Урожайность при поливе составила 56 ц/га, тогда как без орошения – 34 ц/га. Установлено, что под воздействием полива формируется благоприятный микроклимат в экосистеме чайного растения: температура воздуха на уровне шпалеры снизилась на 8–10 °С, достигнув оптимальных значений 23–25 °С; влажность увеличилась на 20–40% и находилась в пределах 75–95%; запасы влаги в почве поддерживаются в диапазоне, в котором корневая система растений не испытывает недостатка влаги (71,4–84,7% от НВ). Оптимальный водный режим подтверждается показателями концентрации клеточного сока в трехлистных флешах чая 8–9% за период сбора. На основании множественного корреляционно-регрессионного анализа получена математическая модель, позволяющая прогнозировать и регулировать уровень концентрации клеточного сока в трехлистных флешах чая: $Y = 19,61 + 0,039 X_1 - 0,338 X_2 - 0,056 X_3$, где Y – концентрация клеточного сока, %; X_1 – температура воздуха, °С; X_2 – влажность почвы корнеобитаемого слоя 0–60 см, %; X_3 – относительная влажность воздуха, %. Выборочный множественный коэффициент корреляции $R_b = 0,95$, значим, связь между результативным признаком и совокупностью факториальных признаков, включенных в регрессионную модель, тесная. Получена положительная корреляция между концентрацией клеточного сока в листьях чая и температурой воздуха ($r = 0,90$) и отрицательная корреляция между концентрацией клеточного сока и влажностью почвы ($r = -0,90$) и воздуха ($r = -0,77$).

Ключевые слова: мелкодисперсное орошение, чай, водный, воздушный и тепловой режимы, концентрация клеточного сока

**FINE IRRIGATION AS THE MAIN TOOL FOR PRODUCTIVITY,
WATER-AIR AND HEAT REGULATION WITHIN AGRICENOSIS
OF TEA PLANTATIONS IN ADYGEA REGION**

Dobezhina S.V., Tuov M.T., Pchikhachev E.K., Shishkhov M.B.

Federal State Budgetary Scientific Institution «Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops», Sochi, e-mail: supk@vniisubtrop.ru

The article presents the results of 3 years study of fine irrigation effect upon tea plantations in the conditions of Adygea Region. Irrigation contributed to an increase in productivity of tea plantings by 65% over 3 years. Productivity during irrigation was 56 centner / ha, while in the non-irrigated control it equaled 34 centner / ha. A favorable environment is created in the ecosystem of tea plantations under the effect of fine irrigation: air temperature at the trellis level decreased by 8–10 °C to the optimum values of 23–25 °C; humidity increased by 20–40% and was within range of 75–95%; optimal soil moisture level was preserved for the root system (71.4–84.7% of HB). The optimal water regime is confirmed by indicators of the concentration of cell sap in tea flushes of 8–9% during leaf harvesting period. Based on multiple correlation and regression analysis, a mathematical model was obtained that enables prediction and adjustment of level of cell sap concentration in 3-leaf tea flushes: $Y = 19.61 + 0.039 X_1 - 0.338 X_2 - 0.056 X_3$, where Y is concentration of cell sap, %; X_1 – air temperature, °C; X_2 – soil moisture content of the root layer of 0–60 cm, %; X_3 – relative humidity %. Sample multiple correlation coefficient $R_b = 0.95$ was significant, a close relationship between the resultant trait and the totality of factorial traits included in the regression model was observed. Based on multiple correlation and regression analysis, a mathematical model was developed, and it provides for predicting and adjusting level of cell sap concentration in 3-leaf tea flushes. A positive correlation was obtained between concentration of cellular sap in tea leaves and air temperature ($r = 0.90$) and a negative correlation was found between the concentration of cellular sap and soil moisture ($r = -0.90$) and air ($r = -0.77$).

Keywords: fine irrigation, tea, water potential, air and thermal conditions, the concentration of cell sap

Чайное растение, в соответствии с местом его исторического происхождения (районы Китая и Индии с теплым, влажным муссонным климатом, где максимум осадков выпадает в летнее время и господствуют туманы) очень требовательно к гидротермическим условиям. Самая северная

граница культивируемого ареала чая в России находится в Республике Адыгея.

Основными факторами, лимитирующими урожайность растений чая, здесь выступают гидротермические условия: низкие температуры воздуха в зимние и ранневесенние периоды, недостаточная влагообеспе-

ченность в сочетании с высокой температурой и атмосферной засухой в летние месяцы (июль – август). Этим обусловлена низкая по зоне урожайность 20 ± 5 ц/га [1, 2].

Интенсификация отрасли чаеводства в Республике Адыгея возможна только в том случае, если будут созданы условия, отвечающие требованиям культуры, при которых раскрывались бы генетически заложенные потенциальные возможности урожайности [3].

Появление атмосферной засухи при небольшом дефиците воды в почве сразу влияет на состояние чайных растений: рост, урожайность и устойчивость к стрессовым воздействиям окружающей среды значительно снижается [4, 5]. Для устранения этого неблагоприятного фактора необходимо увеличение влажности и снижение температурных параметров околоземного слоя воздуха.

Наиболее перспективным с этой позиции является мелкодисперсное орошение, которому в настоящее время уделяется большое внимание. При этом методе полива насыщается влагой приземный слой воздуха, окружающий растения чая. Увлажненный воздух имеет более высокую плотность и образует защитный слой (экранирует) между растениями и верхними слоями сухого воздуха. Из-за испарения мелкодисперсной воды с поверхности листьев начинается охлаждение растений. Кроме того, значительно снижается поливная норма и, поскольку поверхностный сток не происходит, эрозия исключается, а структура почвы и ее физико-химические параметры сохраняются [6].

Цель исследования: изучить воздействие мелкодисперсного орошения на урожайность, водно-воздушный и температурный режимы в агроценозе чайной плантации в условиях Адыгеи.

Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования проводились в 2016–2018 гг. на плантациях чая популяции Кимынь в пос. Цветочный, Майкопский район, на базе Адыгейского филиала ФГБНУ ВНИИ цветоводства и субтропических культур. В схему опыта входили варианты:

Вариант 1. Контроль (без полива)

Вариант 2. МДП с разовой поливной нормой $20 \text{ м}^3/\text{га}$.

Примечание: МДП – мелкодисперсный полив. Схема посадки $1,5 \times 0,33$ м. Размер опытных делянок составлял 5 пог. м, повторность в опыте трехкратная.

Мелкодисперсный полив был проведен в неблагоприятные для растений чая периоды, которые возникали в результате отсутствия осадков, повышения температуры воздуха свыше 30°C и при снижении относительной влажности воздуха, с 11 ч до 16 ч, длительностью по 10 мин каждый час с интервалом 50 мин.

На основании агрохимического обследования почвы опытного участка перед закладкой опыта, с учетом фактической урожайности плантации (20 ± 5 ц/га), были рассчитаны необходимые дозы минеральных удобрений ($\text{N}250 \text{ P}100 \text{ K}100$ кг/га д.в.), согласно существующим рекомендациям [7, 8]. Удобрения вносились одинаково по вариантам опыта.

В молодых побегах чая (трехлистных флешах) определяли концентрацию клеточного сока с помощью рефрактометра. Растительные образцы отбирали до и после поливов, а также в динамике листосборного периода в зависимости от метеоусловий года [9].

Измерения температуры воздуха проводили психрометром Ассмана на уровне листосборной поверхности чайной шпалеры на высоте 90–100 см от поверхности почвы до и после полива. Относительную влажность воздуха рассчитывали по разности показаний сухого и влажного термометра и определяли по психрометрической таблице [10]. Одновременно снимались показания температуры и относительной влажности воздуха прибором «Регистратор температуры и влажности воздуха (логгер) EClerk-M-RHT» с мая по сентябрь, ежедневно, через каждые 3 ч.

Анализ почвы на влажность проводили термостатно-весовым методом. Пробы почвы отбирались на глубину корневого слоя 0,6 м, через 0,1 м на стационарных участках до и после полива [11]. Сбор урожая и его учет проводился с мая по сентябрь согласно указаниям по технологии выращивания чая [8]. Анализ метеорологических показателей проведен по данным метеостанции Майкопской опытной станции (МОС) ВИР. Обработка результатов исследований выполнена с применением пакета программ Statistika-6.0 и Microsoft Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Урожайность культуры чая тесно связана с характером погодных условий в период листосбора. Растению чая для формирования высокого урожая требуется как минимум 600–800 мм осадков за вегетационный период (апрель–сентябрь) и не меньше 100 мм в течение 1 месяца [12].



Рис. 1. Урожайность чайной плантации, т/га, 2016–2018 гг.

Самым благоприятным сезоном из трех лет исследований для чайной культуры стал 2016 г. – за вегетацию выпало 704 мм осадков. Вегетационный период 2017 г. по температурным условиям отличался коротким листосборным периодом июнь – август (осадков выпало 476 мм). В сентябре рост чая полностью прекратился из-за сильных перепадов ночных и дневных температур – 5 °С и 25 °С соответственно. Наиболее засушливым из трех лет исследований был 2018 г. (осадков выпало 395 мм), в августе наблюдалась сильная атмосферная засуха с высокими температурами воздуха до + 37–38 °С.

Мелкодисперсное орошение существенно увеличило урожайность чайной плантации. Средняя за три года урожайность при поливе составила 5,6 т/га, тогда как на неорошаемом варианте – 3,4 т/га (рис. 1).

С помощью корреляционно-регрессионного анализа выявлена тесная связь между урожайностью на контроле и количеством выпавших осадков за период вегетации (коэффициент корреляции $r = 0,989$).

Основным физиологическим диагностическим показателем влагообеспеченности растений чая является концентрация клеточного сока (ККС) в молодых побегах (трехлистных флешах). Оптимальному значению соответствует величина равная 8–9%. Граничное значение ККС, при котором начинаются нарушения водного режима, у растений чая составляет 10%. Показатели выше 12% указывают на напряженные гидротермические условия и существенные нарушения водного режима растений [9].

На рис. 2 представлена динамика изменения ККС в зависимости от осадков и орошения по годам исследований 2016–2018 гг.

Мелкодисперсный полив способствовал поддержанию концентрации клеточного сока в оптимальном диапазоне 8–9% в течение всего листосборного периода, тогда как без полива с июля по сентябрь ККС превышала 10% граничное значение и достигала максимумов в августе и сентябре 13,0; 12,7; 13,5% соответственно по годам исследований, что свидетельствовало о серьезных нарушениях водного режима у растений чая.

Для выявления сопряженного воздействия на ККС влажности почвы, температуры и влажности воздуха проведен множественный корреляционно-регрессионный анализ и получена математическая модель:

$$Y = 19,61 + 0,039 X_1 - 0,338 X_2 - 0,056 X_3, \quad (1)$$

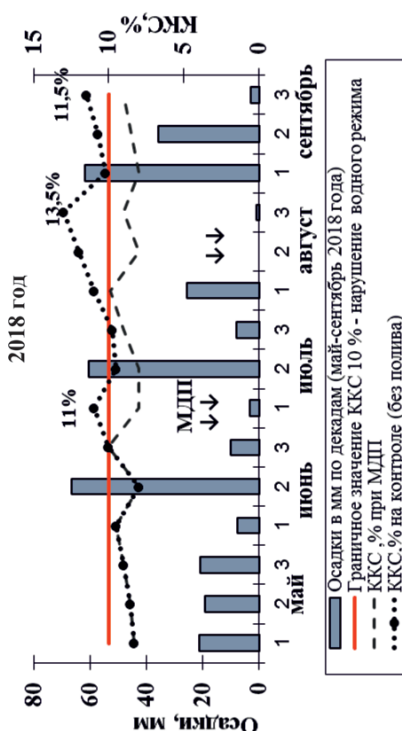
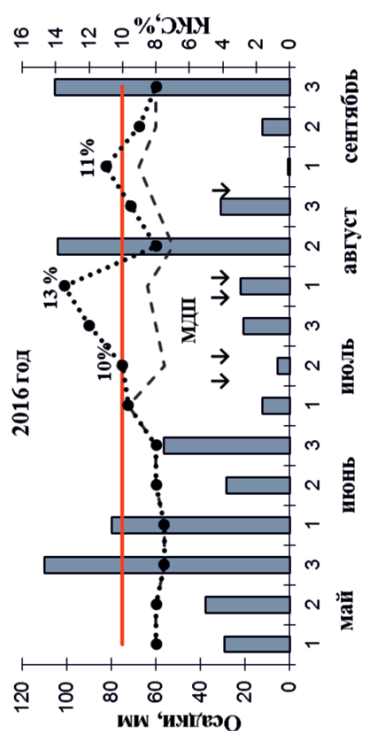
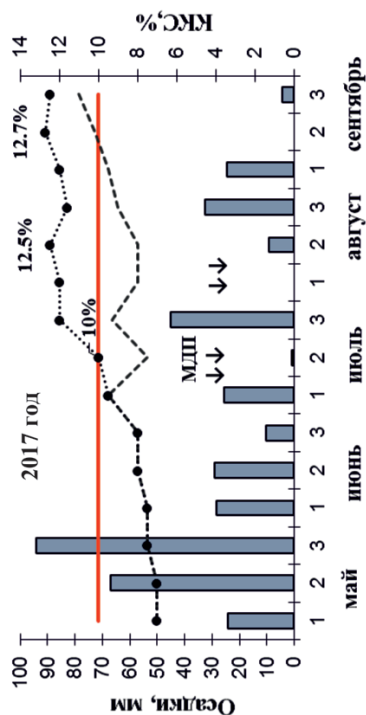
где Y – концентрация клеточного сока в трехлистных флешах чая, %

X_1 – температура воздуха, °С;

X_2 – влажность почвы в корнеобитаемом слое растений чая (0–60 см), %.

X_3 – относительная влажность воздуха, %.

Коэффициент множественной корреляции является значимым ($R_b = 0,95$). Получена тесная связь результативного признака с совокупностью факторных признаков, включенных в регрессионную модель. Коэффициент детерминации ($D = 90,30$) показывает, что изменения показателей ККС на 90,30% объясняются за счет вариации признаков включенных в модель.



Примечание: Мелкодисперсный полив ↓ осуществлялся:
 2016 г.: 13.07; 16.07; 02.08; 05.08; 30.08–31.08.
 2017 г.: 11.07; 14.07; 07.08; 10.08.
 2018 г.: 02.07; 05.07; 14.08; 17.08.

8–9% – оптимальный водный режим чайного растения
10% – начало нарушений водного режима
 12–13% – серьезные нарушения

Рис. 2. Воздействие мелкодисперсного полива на концентрацию клеточного сока в флешах чайного растения в течение периода листопада по годам исследований 2016–2018 гг.

Получена положительная корреляция между ККС и температурой воздуха ($r = 0,90$) и отрицательная корреляция между ККС и влажностью почвы и воздуха. Коэффициенты парной корреляции представлены в табл. 1.

Таблица 1

Парные коэффициенты корреляции, характеризующие тесноту взаимосвязи ККС с температурой, влажностью почвы и воздуха

Факториальные признаки	Парные коэффициенты корреляции
X_1 температура воздуха, °C	0,9036
X_2 влажность почвы в слое 0–60 см, %	-0,9004
X_3 относительная влажность воздуха, %	-0,7671

В табл. 2 приведены коэффициенты эластичности, которые показывают, на сколько процентов изменяется ККС при увеличении соответствующего факториального признака на 1 процент.

Сравнивая коэффициенты эластичности по абсолютной величине, можно утверждать, что наибольшее влияние на ККС оказы-

вает влажность почвы (54%), затем следует влажность воздуха (34,9%) и в последнюю очередь – температура воздуха (10,7%).

Таблица 2

Коэффициенты эластичности

Факториальный признак	Изменение результативного признака (в%)
Температура воздуха	0,107
Влажность почвы	-0,540
Влажность воздуха	-0,349

Полученная математическая модель позволяет прогнозировать и регулировать уровень концентрации клеточного сока в трехлистных флешах чая в зависимости от изучаемых параметров.

Для большинства культурных растений оптимальной является влажность почвы от 70 до 100% от наименьшей влагоемкости (НВ). Влажность ниже 70% от НВ способствует началу затормаживания процессов роста и снижению урожайности [10]. Своевременное орошение чайных растений способствовало сохранению влагозапасов в почве в оптимальном диапазоне (71–84,7% НВ), в то время как без полива влажность почвы начинала снижаться с середины июля от 70% НВ до минимальных значений в августе – 57% НВ и сентябре – 51% НВ.

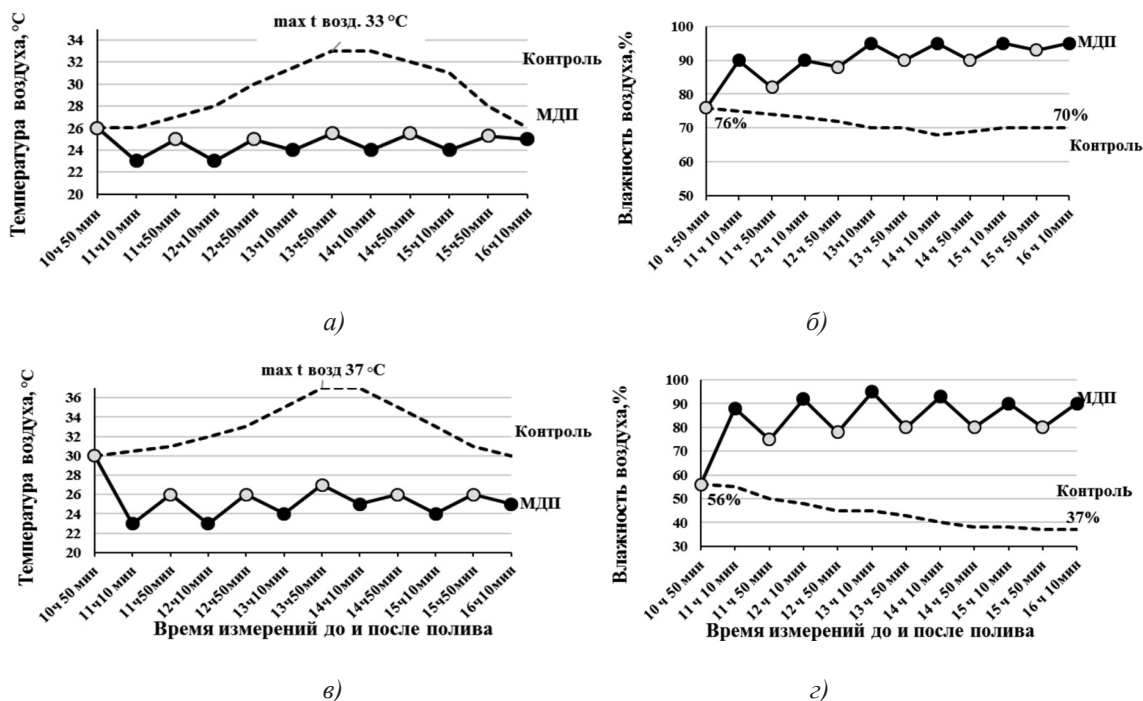


Рис. 3. Влияние мелкодисперсного полива на температуру и влажность воздуха на уровне чайной шпалеры: а, б – 02.07.2018; в, г – 15.08.2018.

Примечание: о – до полива; ● – после полива

На рис. 3 представлена динамика влажности и температуры воздуха во время орошения на примере наиболее засушливого 2018 г., при поливах 2 июля и 15 августа. При МДП температура воздуха на уровне чайной шпалеры в июле поддерживалась в оптимальном диапазоне 23–25 °С для чайного растения, в то время как на контрольном варианте она поднималась до 33 °С; влажность воздуха увеличилась по сравнению с контролем на 20–40% и поддерживалась в диапазоне 82–95%. В августе при сильной атмосферной засухе (Wвозд. 56–37%) и высокой температуре воздуха 30–37 °С амплитуда колебаний температуры между поливами составляла 23–27 °С, влажности – 75–95%.

Заключение

Мелкодисперсное орошение повысило урожайность чайной плантации в среднем за три года на 65%. На орошаемой площади она составила 5,6 т/га, тогда как без полива – 3,4 т/га. Под воздействием полива формируется благоприятный микроклимат в экосистеме чайного растения: температура воздуха на уровне шпалеры растений чая снижалась на 10 °С, достигнув оптимальных значений 23–25 °С; влажность увеличилась на 20–40% и находилась в пределах 75–95%; запасы влаги в почве поддерживаются в диапазоне, в котором корневая система растений не испытывает недостатка влаги (71,4–84,7% от НВ). Оптимальные условия подтверждаются основным диагностическим показателем – концентрацией клеточного сока в трехлистных флешах чая, которая, за период листосбора не превышала 10% значения, тогда как на варианте без полива ККС повышалась до 13; 12,7; 13,5%, соответственно по годам исследований, что указывало на серьезные нарушения водного режима у растений чая.

Список литературы / References

1. Добежина С.В., Беседина Т.Д., Туов М.Т., Пчихачев Э.К. Обоснование необходимости орошения чайных плантаций в Адыгее на основе оценки почвенных и климатических условий // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 4 (20). С. 155–161.
2. Добежина С.В., Беседина Т.Д., Туов М.Т., Пчихачев Э.К. Confirmation of positive effect of irrigation for tea plantations in Adygea based on an assessment of soil and climatic conditions // Vestnik APK Stavropol'ya. 2015. № 4 (20). P. 155–161 (in Russian).
3. Добежина С.В. Изучение агроэкологических особенностей культуры чая в условиях Адыгеи для разработки инновационной технологии возделывания // Инновационные процессы в науке и образовании: монография / Под ред. Г.Ю. Гуляева. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2017. Глава 16. С. 168–184.
4. Dobezhina S.V. The study of agroecological characteristics of tea crop in Adygea for the development of innovative cultivation technology // Innovacionnyye processy v nauke i obrazovanii: monografiya / Pod red. G.Yu. Gulyaeva. Penza: MCNS «Nauka i Prosveshchenie», 2017. Glava 16. P. 168–184 (in Russian).
5. Рындин А.В., Туов М.Т., Малокова Л.С. Становление, развитие, современное состояние и научное обеспечение отрасли чаеводства в России // Субтропическое и декоративное садоводство. 2019. № 69. С. 9–15. DOI: 10.31360/2225-3068-2019-69-9-15.
6. Ryndin A.V., Tuov M.T., Malyukova L.S. Formation, development, current state and scientific support of the tea industry in Russia // Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo. 2019. № 69. P. 9–15 (in Russian).
7. Рындин А.В., Белоус О.Г., Маляровская В.И., Пritула З.В., Абиляфазова Ю.С., Кожевникова А.М. Использование физиолого-биохимических методов для выявления механизмов адаптации субтропических, южных плодовых и декоративных культур в условиях субтропиков России // Сельскохозяйственная биология. 2014. № 3. С. 40–48.
8. Ryndin A.V., Belous O.G., Malyarovskaya V.I., Pritula Z.V., Abil'fazova Yu.S., Kozhevnikova A.M. The use of physiological and biochemical methods to identify adaptation mechanisms of subtropical, southern fruit and ornamental crops in the subtropics of Russia // Sel'skhozaystvennaya biologiya. 2014. № 3. P. 40–48 (in Russian).
9. Белоус О.Г. Водный режим растений чая // Субтропические культуры. 2010. № 1–4. С. 88–91.
10. Belous O.G. Water regime of tea plants // Subtropicheskoe kul'tury. 2010. № 1–4. P. 88–91 (in Russian).
11. Исмаилова Х.Р. Технология мелкодисперсного (аэрозольного) орошения в условиях Апшерона Азербайджана // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 3. С. 110–113.
12. Ismailova H.R. Fine-dispersed (aerosol) irrigation technology in Absheron Azerbaijan // Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skhozaystvennoj akademii. 2016. № 3. P. 110–113 (in Russian).
13. Малокова Л.С., Козлова Н.В., Пritула З.В. Система удобрений плантаций чая в субтропиках России. Сочи: ГНУ ВНИИЦиСК, 2010. 45 с.
14. Malyukova L.S., Kozlova N.V., Pritula Z.V. The fertilizer system of tea plantations in the subtropics of Russia. Sochi: GNU VNIITsiSK, 2010. 45 p. (in Russian).
15. Методические указания по технологии возделывания чая в субтропической зоне Краснодарского края. Сочи: НИИГСиЦ, 1977. 80 с.
16. Guidelines for tea cultivation technology in the subtropical zone of the Krasnodar Region. Sochi: NIIGSiC, 1977. 80 p. (in Russian).
17. Рефрактометрический метод диагностирования сроков полива чайных плантаций (инструкция). Сочи: НИИГСиЦ, 1968. 8 с.
18. Refractometric method for diagnosing the timing of irrigation of tea plantations (instruction). Sochi: NIIGSiC, 1968. 8 p. (in Russian).
19. Методика измерения относительной влажности воздуха с помощью психрометра Ассмана. СПб.: СПб ГТУРП, 2013. 11 с.
20. Method for measuring relative humidity using an Assman psychrometer. SPb.: SPb GTURP, 2013. 11 p. (in Russian).
21. Практикум по почвоведению / Под ред. проф. Н.Ф. Ганжары. М.: Агроконсалт, 2002. 280 с.
22. Soil Science Workshop / Pod red. prof. N.F. Ganzhary. M.: Agrokonsalt, 2002. 280 p. (in Russian).
23. Малокова Л.С. Оптимизация плодородия почв и применение минеральных удобрений при выращивании чая в России. Сочи: ГНУ ВНИИЦиСК Россельхозакадемии, 2014. 416 с.
24. Malyukova L.S. Optimization of soil fertility and the use of mineral fertilizers in the cultivation of tea in Russia. Sochi: GNU VNIITsiSK Rossel'khozakademii, 2014. 416 p. (in Russian).