

Информация об авторах

Кагермазов Алан Мухамедович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства раннеспелых гибридов кукурузы, ФГБНУ ФНЦ «Кабардино-Балкарский научный центр РАН» (Российская Федерация, 360004, Кабардино-Балкарская республика, г. Нальчик, ул. Кирова, д. 224), e-mail: kagermazov.alan@yandex.ru

Хачидогов Азамат Валерьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства раннеспелых гибридов кукурузы, ФГБНУ ФНЦ «Кабардино-Балкарский научный центр РАН» (Российская Федерация, 360004, Кабардино-Балкарская республика, г. Нальчик, ул. Кирова, д. 224), e-mail: azamat.xa@mail.ru

Author's Information

Kagermazov Alan Mukhamedovich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Breeding and Seed Production of Early-maturing Corn Hybrids, Federal State Budgetary Scientific Research Center "Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 360004, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Kirova str., 224), e-mail: kagermazov.alan@yandex.ru

Khachidogov Azamat Valerievich, Candidate of Agricultural Sciences, senior scientist, employee of the Laboratory of breeding and seed production of early-maturing corn hybrids of the Federal State Budgetary Scientific Research Center "Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 360004, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Kirova str., 224), e-mail: azamat.xa@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-10

THE TECHNOLOGY OF THERMAL COMPENSATION IRRIGATION DURING THE LAYING AND OPERATION OF STRAWBERRY PLANTATIONS ON THE LOWER VOLGA

Lytov M. N.

*Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: lytovmn@yandex.ru

Received 21.12.2023

Submitted 01.02.2024

Summary

The technology of thermal compensation irrigation has been developed, which provides accelerated heat removal from the soil surface during periods of realization of the climatic risk of soil overheating and prevents the formation of mass precipitation in plantings due to plant death.

Abstract

Introduction. The relevance of research is determined by modern requirements and trends in the development of hydro-reclamation systems and technologies, including in the field of integrated regulation of life factors, plant protection from meteorological extremes, ensuring the achievement of goals for sustainable and highly productive agricultural production. The present study is carried out within the framework of systematic work on endowing modern hydro-reclamation systems with the functions of comprehensive plant protection from climatic risks and is devoted to the development of technology capable of effectively compensating for temperature soil extremes to prevent mass death of strawberry plants during the laying and operation of plantations. **Object.** Strawberry planting during the period of planting and operation of plantations, considered as an object of realization of the climatic risk of mass plant death due to overheating of the upper root-bearing soil layer. **Materials and methods.** The aim of the study is to develop a technology for thermal compensation irrigation during the laying and operation of strawberry plantations, which protect plants from the risk of death due to overheating of the soil in the hot, sharply continental climate of the Lower Volga region. The working hypothesis of the research was the assumption about the possibility of using irrigation for accelerated heat removal from the soil surface during periods of climate risk. The key parameter of the technology is the frequency of watering. In methodological terms, the basis of the study is a field experiment. The main evaluation criteria were: the value of the compensated soil temperature in the 0.05-0.10 m layer, plant safety and biometric indicators, including strawberry yield. **Results and conclusions.** The effectiveness of thermocompensation irrigation technology in the laying and operation of strawberry plantations in the sharply continental climate of the Lower Volga region has been theoretically substantiated and experimentally confirmed. Studies have obtained convincing data confirming the possibility of reducing the temperature of the upper root-bearing soil layer by conducting thermal compensation irrigation by 3.4-10.6 °C and maintaining it no higher than 26.0-31.0 °C when the risk is realized. The parameters of thermocompensation irrigation technology for the region under consideration are experimentally substantiated. The greatest effect on compensation of soil temperature from overheating is provided when conducting thermal compensation watering immediately after drying of the soil surface or with a waiting period of 0.5 hours. This allows for a 6.2-9.9% reduction in the proportion of strawberry plant fallout in the year of plantation laying, a 12.0% reduction in total plant losses due to soil overheating and freezing during the first overwintering, and a significant increase in the coefficient of plant alignment in plantings from 75.1 to 92.9%. The highest yield of strawberries, 24.4 t/ha, was provided in areas where thermal compensation watering was carried out with a waiting period of 0.5 hours.

Keywords: *strawberries, thermocompensatory irrigation of strawberries, establishment of strawberry plantations, preservation of strawberry plants, bioproductivity of strawberries.*

Citation. Lytov M. N. The technology of thermal compensation irrigation during the laying and operation of strawberry plantations on the Lower Volga. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 1(73). 98-107 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-10.

Author's contribution. Author of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Author of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

УДК 631.674:634.75

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМОКОМПЕНСАЦИОННЫХ ПОЛИВОВ ПРИ ЗАКЛАДКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЛАНТАЦИЙ ЗЕМЛЯНИКИ НА НИЖНЕЙ ВОЛГЕ

Лытов М. Н., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации
им. А. Н. Костякова
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Актуальность исследований определяется современными требованиями и трендами развития гидромелиоративных систем и технологий, в том числе в области комплексного регулирования факторов жизни, защиты растений от метеорологических экстремумов, обеспечивающих достижение целей по устойчивому и высокопродуктивному агропроизводству. Настоящее исследование выполняется в рамках системной работы по наделению современных гидромелиоративных систем функциями комплексной защиты растений от климатических рисков и посвящено разработке технологии, способной эффективно компенсировать температурные почвенные экстремумы для предотвращения массовой гибели растений земляники в период закладки и при эксплуатации плантаций. **Объект.** Посадки земляники в период закладки и эксплуатации плантаций, рассматриваемые как объект реализации климатического риска массовой гибели растений из-за перегрева верхнего корнесодержащего слоя почвы. **Материалы и методы.** Целью исследования является разработка технологии термокомпенсационных поливов при закладке и эксплуатации плантаций земляники, обеспечивающих защиту растений от риска гибели из-за перегрева почвы в условиях жаркого, резко-континентального климата Нижнего Поволжья. Рабочей гипотезой исследований стало предположение о возможности использования орошения для ускоренного отвода тепла с поверхности почвы в периоды реализации климатического риска. Ключевым параметром технологии является периодичность проведения поливов. В методологическом плане основой исследования является полевой эксперимент. Основными оценочными критериями являлись: величина компенсированной температуры почвы в слое 0,05-0,10 м, сохранность растений и биометрические показатели, включая урожайность земляники. **Результаты и выводы.** Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена эффективность технологии термокомпенсационных поливов при закладке и эксплуатации плантаций земляники в условиях резко-континентального климата Нижнего Поволжья. Исследованиями получены убедительные данные, подтверждающие возможность снижения температуры верхнего корнесодержащего слоя почвы за счет проведения термокомпенсационных поливов на 3,4-10,6 °С и поддержания его не выше 26,0-31,0 °С при реализации риска. Экспериментально обоснованы параметры технологи термокомпенсационных поливов для рассматриваемого региона. Наибольший эффект по компенсации температуры почвы от перегрева обеспечивается при проведении термокомпенсационных поливов сразу после высыхания поверхности почвы или с периодом ожидания 0,5 часа. Это позволяет на 6,2-9,9 % снизить долю выпадов растений земляники в год закладки плантаций, на 12,0 % сократить суммарные потери растений из-за перегрева почвы и вымерзания в первую перезимовку, существенно, с 75,1 до 92,9 % увеличивался коэффициент выравнивания растений в посадках. Наибольшая урожайность ягод земляники в первый год плодоношения, 24,4 т/га, обеспечивалась на участках, где термокомпенсационные поливы проводили сразу после высыхания поверхности почвы или с периодом ожидания 0,5 часа.

Ключевые слова: *земляника, термокомпенсационные поливы земляники, закладка плантаций земляники, сохранность растений земляники, биопродуктивность земляники.*

Цитирование. Лытов М. Н. Технология термокомпенсационных поливов при закладке и эксплуатации плантаций земляники на Нижней Волге. *Известия НВ АУК.* 2024. 1(73). 98-107. DOI:10.32786/2071-9485-2024-01-10.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Автор настоящей статьи ознакомился с представленным окончательным вариантом и одобрил его.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Системная работа по надделению современных гидромелиоративных систем функциями комплексной защиты растений от климатических рисков является одним из перспективных направления развития гидромелиораций в зоне развитого орошаемого земледелия [1, 2]. Климатический риск является непосредственным объектом приложения регуляционного воздействия и, наряду с этим, – главным оценочным показателем эффективности этого воздействия. Климатический риск понятие изначально экономическое, в некоторых случаях, социальное, но практически не применялось в качестве хозяйственно-технологического критерия [3-5]. Классическое определение климатического риска раскрывает его как совместную характеристику вероятности опасных проявлений климатического фактора и его воздействия на объект этого риска, которая выражается в величинах повторяемости и ущерба. Относительно решаемой нами проблемы, это понятие рассматривается применительно к посевам сельскохозяйственных культур, а значит, определяет риски их возделывания [6-8]. Рассматриваются такие проявления климата, которые выходят за область адаптационного потенциала растений, то есть, связаны с риском их гибели. Кроме того, риски предполагается компенсировать на мелиорированных землях, а это значит, что водный режим почвы регулируется и в качестве климатического риска не рассматривается. Работа предполагает исследование теории вовлеченных процессов, конструктивное совершенствование технических систем, разработку предметно ориентированных технологий. Технологии являются тем результатом, которые определяют практический выход такого рода исследований. Одной из таких, разрабатываемых нами технологий, является технология термокомпенсационных поливов, предотвращающей риск массовой гибели растений земляники в период закладки и эксплуатации плантаций, который часто реализуется в условиях жаркого, резко-континентального климата Нижнего Поволжья [9, 10].

Целью исследования является разработка технологии термокомпенсационных поливов при закладке и эксплуатации плантаций земляники, обеспечивающих защиту растений от риска гибели из-за перегрева почвы в условиях жаркого, резко-континентального климата Нижнего Поволжья.

Материалы и методы. Промышленная интродукция садовой земляники в регионы Нижней Волги, отличающимся жарким и сухим климатом в теплое время года, а также высокой солнечной активностью, которая редко компенсируется облачностью, - имеет хорошие перспективы, но сдерживается из-за проблем, возникающих при закладке плантаций [11, 12]. Одним из ключевых региональных факторов, нарушающих нормальное формирование плантаций земляники, является перегрев приповерхностного корнесодержащего слоя почвы [13-15]. Повышение температуры почвы до критических отметок сопровождается остановкой роста корней, а в дальнейшем и отмиранием корневой системы. Продолжительные температурные стрессы ведут к массовым выпадам растений, из-за чего посадки формируются неравномерно. При высоких затратах на закладку плантаций формирование урожая остается не стабильным, что несет агробизнесу не всегда приемлемые риски.

Рабочей гипотезой исследований стало предположение о возможности использования орошения для ускоренного отвода тепла с поверхности почвы в периоды реализации климатического риска. Ключевым параметром технологии является периодичность проведения поливов. Для оценки эффективности термокомпенсационных поливов и обоснования параметров технологии, обеспечивающих достижение наилучшего результата, был заложен полевой эксперимент со следующим набором вариантов: вариант 1 (контроль) – без проведения термокомпенсационных поливов; вариант 2 – проведение термокомпенсационных поливов после высыхания смоченной поверхности почвы с добавочным интервалом 0,5 часа; 3 – проведение термокомпенсационных поливов сразу после высыхания смоченной поверхности почвы; 4 – проведение термокомпенсационных поливов после высыхания смоченной поверхности почвы с добавочным интервалом 2,0 часа. Эксперимент был реализован на опытном участке в КФХ «Шишлянникова М. В.» Дубовского района Волгоградской области. Площадь опытного участка 1200 м², площадь учетной делянки в четырех повторностях 300 м².

Результаты и обсуждение. Целевая функция компенсации климатического риска, реализующегося из-за перегрева верхнего корнесодержащего слоя почвы в период закладки и эксплуатации плантаций земляники, имеет вид:

$$F(-T_{csh}) \in [T_{ph.max}^{root} - T_{sh}; T_{opt}^{root} - \Delta T_{opt}^{root} - T_{sh}], \quad (1)$$

где $F(-T_{csh})$ – целевая функция предотвращения перегрева почвы с переходом в область необратимого деструктивного влияния фактора, за счет понижения температуры активного слоя на величину $(-T_{csh})$, °K; $T_{ph.max}^{root}$ – физиологический порог адаптации культуры к перегреву почвы в активно осваиваемой корнями зоне, °K; T_{sh} – актуальная (прогнозируемая) величина температуры активного слоя почвы при реализации климатического риска, °K; T_{opt}^{root} – верхняя граница физиологически оптимального для культуры диапазона температуры почвы, °K; ΔT_{opt}^{root} – диапазон физиологически оптимальных для культуры температур почвы, °K.

Общее количество теплоты, которое должно быть отведено для охлаждения почвы в соответствии с требованиями целевой функции, определится из уже известного выражения:

$$-\Delta T_{csh} = \frac{-q_{soil}}{C_{soil} \cdot V_{a,soil}}, \quad (2)$$

где $-\Delta T_{csh}$ – целевая величина снижения температуры активного слоя почвы, обеспечивающая предотвращение деструктивного действия фактора и перевода его в зону адаптации или оптимальных условий для развития культуры, °K.

Отвод тепла может осуществляться посредством использования оросительной воды и складывается из двух составляющих. Первое, это отвод тепла за счет использования агента регулятора (оросительной воды) с пониженной температурой, который при нагревании потребляет часть избыточно запасенного тепла почвы:

$$-q_{agent} = -\Delta T_{agent} \cdot C_{agent} \cdot V_{agent}, \quad (3)$$

Одним из важных условий, ограничивающих эффективность такого метода компенсации избыточной температуры почвы, являются ограничения по величине $-\Delta T_{agent}$, которые определяются минимальной, физиологически обоснованной температурой воды, используемой для полива, а также фактическими температурами воды в водоисточнике и оросительной системе. Однако, вторая составляющая позволяет существенно повысить эффективность использования оросительных мелиораций для отвода избыточно накопленного тепла в почве, и определяется теплотой фазового перехода:

$$-q_{ph,t} = -V_e \cdot r, \quad (4)$$

где $-q_{ph,t}$ – теплота, поглощаемая в результате фазового перехода испаряемой с поверхности почвы оросительной воды, Дж/га; V_e – объем воды, испаряемой с поверхности почвы, м³/га; r – теплота фазового перехода воды из жидкого состояния в парообразное, Дж/кг.

Как видно, отвод тепла за поглощения теплоты фазового перехода будет тем больше, чем больший объем агента регулятора, в данном случае, - оросительной воды, пойдет на испарение с поверхности почвы. Идеальным решением будет, если V_{agent} будет равен V_e . Обеспечить данное условие можно за счет проведения поливов, ориентированных на смачивание только поверхности почвы.

Предлагаемая технология основана на проведении периодических (циклических) термокомпенсационных поливов с равномерным распределением по поверхности почвы в форме мелкокапельного дождя (рисунок 1). Целевым ориентиром является смачивание поверхности почвы на глубину 1-2 см.

Экспериментальные исследования подтвердили эффективность термокомпенсационных поливов и возможность существенного снижения температуры почвы в верхнем слое корнеобитаемой зоны (рисунки 2, 3).

По обобщенным данным проведение термокомпенсационных поливов с периодичностью, определяемой продолжительностью высыхания смоченной поверхности почвы с дополнительным технологическим интервалом 0,5 часа, позволяло снижать температуру верхнего горизонта корнеобитаемого слоя почвы на 3,4-10,6 °C. Максимальный эффект достигался в 12-15 часов по полудню, когда почва, благодаря интенсивной инсоляции, прогревалась особенно сильно.

На приведенных графиках легко заметить, что расхождения в кривых суточного хода температуры почвы начинается уже после 6-9 часов утра, продолжается в течение всех световых суток и даже, благодаря тепловой инерции, несколько дольше. Расхождения определялись началом проведения термокомпенсационных поливов, которые назначались для торможения интенсивного нагрева почвы.

На участках варианта, где термокомпенсационные поливы не проводились, максимальная суточная температура почвы достигала 34⁰С в первую после закладки плантации декаду, 39⁰С – во вторую и 40⁰С – в пятую и свыше 44⁰С в 7 декаду с момента высадки растений.



Рисунок 1 – Система комбинированного орошения для проведения термокомпенсационных поливов в год закладки плантации земляники

Figure 1 – Combined irrigation system for thermocompensatory irrigation in the year of strawberry plantation

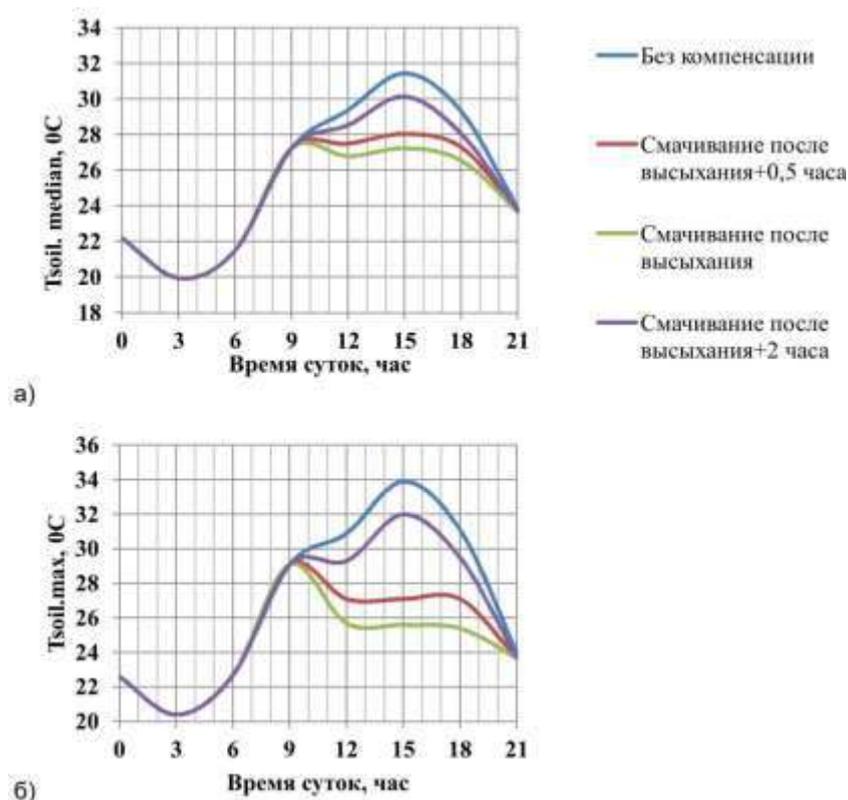


Рисунок 2 – Суточная динамика температуры почвы (h=0,05-0,10 м) в 1 декаду после высадки рассады земляники

Figure 2 – Daily dynamics of soil temperature (h=0.05-0.10 m) in 1 decade after planting strawberry seedlings

а) среднее за 2022-2023 гг. / 2022-2023 average
б) в день максимальной напряженности за период 2022-2023 гг. / on the day of maximum tension for the period 2022-2023

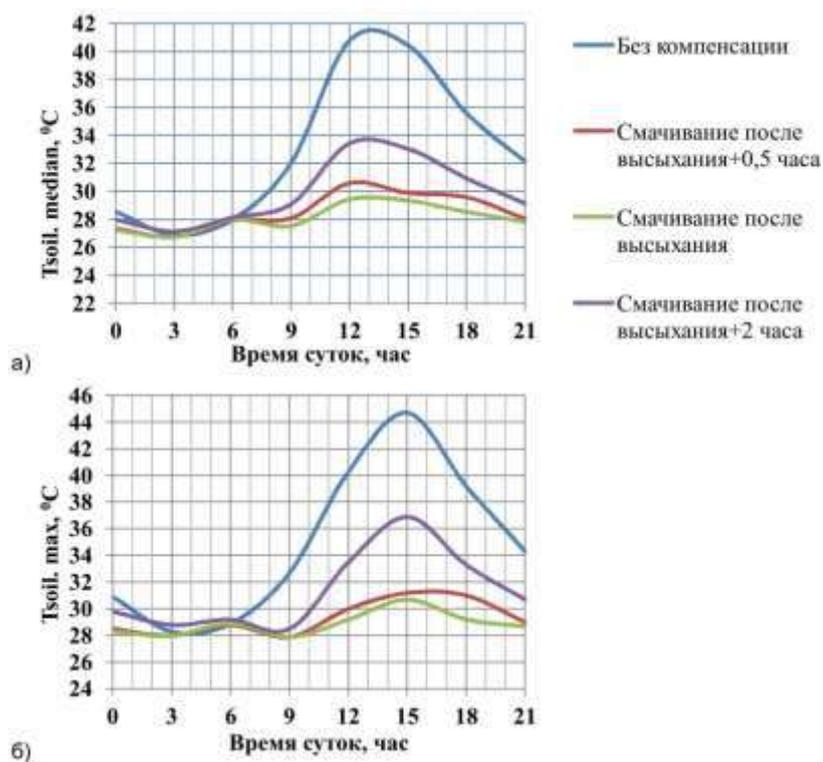


Рисунок 3 – Суточная динамика температуры почвы (h=0,05-0,10 м) в 7 декаду после высадки рассады земляники

Figure 3 – Daily dynamics of soil temperature (h=0.05-0.10 m) in the 7th decade after planting strawberry seedlings

а) среднее за 2022-2023 гг. / 2022-2023 average

б) в день максимальной напряженности за период 2022-2023 гг. / on the day of maximum tension for the period 2022-2023

Использование термокомпенсационных поливов, даже с самой продолжительной в опыте цикличностью, – после высыхания смоченной поверхности почвы плюс 2 часа, – позволило снизить максимальную величину суточного прогрева почвы до 31-37 °С. Проведение термокомпенсационных поливов с добавочным временным интервалом в 0,5 часа после высыхания смоченной поверхности почвы позволило сдвинуть температурный фактор существенно ближе к зоне биологического оптимума. Максимальные суточные значения температуры почвы здесь не превышали 30-31 °С, причем непродолжительное время, – пиковая нагрузка продолжалась не более 0,5-2 часов.

При проведении поливов сразу после высыхания смоченной поверхности почвы ее температура в верхнем горизонте корнеобитаемого слоя снижалась еще на 1-2 °С. Следует признать, что поливы в этом случае приходилось проводить наиболее часто; это несет в себе дополнительную технологическую нагрузку и создает наиболее благоприятные условия для активации грибных инфекций.

Полученные данные подтверждают эффективность технологии термокомпенсационных поливов, которая, прежде всего, отражается в снижении доли выпадов и формировании более выравненных посадок земляники (таблица 1).

В 2023 году погодные условия не несли риска перегрева почвы в период укоренения рассады земляники. Температурная напряженность в мае была невысокой, а поступление солнечной радиации в значительной мере компенсировалось облачностью. Средняя декадная температура второй декады мая составила 16,4°С, третьей – 21,3°С. При этом пики температуры в самые теплые дни не превышали 26,0-30,0°С. Все это обеспечивало комфортные условия для укоренения земляники и без проведения термокомпенсационных поливов. В сочетании со своевременно проведенными капельными поливами такие условия способствовали хорошей приживаемости, которая на всех вариантах опытах составила 98,2 %.

Таблица 1 – Показатели эффективности формирования плантации земляники в зависимости от технологии термокомпенсационных поливов (2023 год закладки плантации)
Table 1 – Indicators of the efficiency of strawberry plantation formation depending on the technology of thermocompensatory irrigation (2023 year of plantation establishment)

Гидромелиоративная компенсация температурного фактора / Irrigation and reclamation compensation of the temperature factor	Доля выпадов в год закладки плантации земляники, % / Share of falls per year of strawberry plantation, %	Общая сухая биомасса посева, т/га / Total dry biomass of crops, t/ha	Коэффициент выравниваемости растений в посадках (по биомассе), % / Coefficient of uniformity of plants in plantings (by biomass), %	Максимальная площадь листьев в год закладки плантации, тыс. м ² /га / Maximum leaf area in the year of plantation establishment, thousand m ² /ha
Без компенсации / No compensation	9,2	3,84	75,1	14,6
Термокомпенсационный полив после высыхания + 0,5 часа / Thermal compensatory irrigation after drying + 0.5 hours	3,5	5,05	91,5	17,7
Термокомпенсационный полив после высыхания / Thermal compensatory irrigation after drying	3,0	5,12	92,9	17,8
Термокомпенсационный полив после высыхания + 2,0 часа / Thermal compensatory irrigation after drying + 2.0 hours	6,6	4,27	86,7	15,9
НСР ₀₅	0,9	0,21	3,8	1,63

Риски перегрева почвы в 2023 году, не считая нескольких единичных случаев июня, стали реализовываться уже в первой декаде июля. Температура воздуха в этот период достигала 38 °С и более, а интенсивная инсоляция сочеталась с отсутствием облачного зонтика. Укоренение рассады земляники к этому моменту уже произошло, сформировались выравненные посадки, практически без пропусков по рядку. Однако оказалось, что перегрев почвы и в этот период роста и развития земляники, является губительным фактором, сопровождающимся массовыми выпадами растений.

Суммарная доля погибших растений земляники в первый год после закладки плантации на участках, где термокомпенсационные поливы не проводили, составила 9,2 %. Это существенно ниже, чем 2022 году, когда риски перегрева почвы реализовались уже в фазу укоренения рассады, но все еще остается значимым фактором, так как лишает почти 5000 тыс. раст./га, которые могли дать урожай.

Проведение термокомпенсационных поливов обеспечивало снижение доли погибших растений до 3,0-6,6 %. Наибольший эффект по компенсации риска был получен на участках, где поливы проводили сразу после высыхания поверхности почвы, то есть с наименьшим интервалом. Доля выпадов по растениям земляники здесь составила 3,0 %. Доля погибших растений земляники на участках, где термокомпенсационные поливы проводили не сразу после высыхания поверхности почвы, а с периодом ожидания 0,5 часа, составила 3,5 %, однако разницу с предыдущим вариантом нельзя считать доказанной, так как наименьшая существенная разность по варианту составляет 0,9 %. А вот при увеличении периода ожидания до 2,0 часов сопровождалось увеличением доли выпадов до 6,6 %, и разница здесь уже статистически подтверждается.

Анализ накопленной посадками биомассы показал, что потери погибших в результате реализации риска растений земляники, не компенсируются накоплением массы сохранившихся растений. Напротив, при реализации некомпенсированного риска перегрева почвы, часть растений оставалась развита хуже остальных, из-за чего потери посадок в биомассе становились еще более значимы. На контроле, где термокомпенсационные поливы не проводили, урожай сухой биомассы земляники составил 3,84 т/га, тогда как при

компенсации риска поливами, накопление биомассы увеличивалось до 4,27-5,12 т/га. Наибольшую сухую массу, 5,05-5,12 т/га, получилось накопить в посадках, где термокомпенсационные поливы проводили после высыхания поверхности почвы или с периодом ожидания не более получаса. На участках этих же вариантов был получен наибольший коэффициент выравнинности растений в посадках, 91,5-92,9 %, который определялся нами по биомассе. Для сравнения на контроле, где термокомпенсационные поливы не проводили, коэффициент выравнинности растений в посадках не превышал 75,1 %.

Проведение термокомпенсационных поливов способствовало лучшему развитию листовой поверхности. Максимальная площадь листьев на участках, где термокомпенсационные поливы проводили после высыхания поверхности почвы или с периодом ожидания не более получаса, составила 17,7-17,8 тыс.м²/га, тогда как на контроле не превышала 14,6 тыс.м²/га. Следует признать возможность комплексного влияния термокомпенсационных поливов формирование плантаций земляники, где положительный эффект от компенсации перегрева почвы будет сочетаться с регулированием микроклимата в среде посева.

В таблице 2 приведены результаты оценки формирования плантаций и урожая земляники в посадках первого года плодоношения, то есть заложенных в предыдущем году. Оценка интегрированная, учитывались как особенности формирования посадок после высадки рассады, так и те изменения, которые произошли в первую перезимовку растений, а также результаты продукционного процесса по первому году плодоношения.

В зимний период, естественно, никаких термокомпенсационных поливов не проводилось, однако процент погибших в первую перезимовку растений также коррелировал с вариантами опыта. Причем, если различия между вариантами по периодичности проведения термокомпенсационных поливов находились в пределах ошибки опыта ($HCP_{05} = 0,84$ %), то в сравнении с контрольным вариантом разница оказалась статистически доказанной. На наш взгляд это объясняется различным состоянием растений в посадках перед первой перезимовкой. Из-за перегрева почвы только часть растений погибает, но есть и определенный процент выживших, но ослабленных растений. В определенной мере это подтверждается различиями в выравнинности растений, о которых мы уже говорили выше. Ослабленные растения в перезимовку несут дополнительные риски гибели растений и формирования выпадов уже от вымерзания.

Таблица 2 – Продуктивность земляники первого года плодоношения в зависимости от технологии термокомпенсационных поливов (среднее за 2021-2023 гг.)

Table 2 – Productivity of strawberries in the first year of fruiting depending on the technology of thermocompensatory irrigation (average for 2021-2023)

Гидромелиоративная компенсация температурного фактора / Irrigation and reclamation compensation of the temperature factor	Доля выпадов в год закладки плантации земляники, % / Share of falls per year of strawberry plantation, %	Доля выпадов в первую перезимовку, % / Proportion of lunges during the first overwintering, %	Суммарная доля выпадов земляники к первому году плодоношения, % / Total share of strawberry falls by the first year of fruiting, %	Урожайность, т/га / Yield, t/ha
Без компенсации / No compensation	15,7	6,2	21,9	20,7
Термокомпенсационный полив после высыхания + 0,5 часа / Thermal compensatory irrigation after drying + 0.5 hours	6,2	4,1	10,3	24,4
Термокомпенсационный полив после высыхания / Thermal compensatory irrigation after drying	5,8	4,1	9,9	24,4
Термокомпенсационный полив после высыхания + 2,0 часа / Thermal compensatory irrigation after drying + 2.0 hours	10,7	4,5	15,2	23,7
HCP_{05}	1,22	0,84	-	0,56

Суммарная доля выпадов растений к первому году плодоношения на контроле, где термокомпенсационные мероприятия не проводили, составила 21,9 %. На участках с проведением термокомпенсационных поливов суммарная доля выпадов растений земляники изменялась от 9,9 до 15,2 %, причем на лучших вариантах, где поливы проводили сразу после высыхания поверхности почвы, или с периодом ожидания 0,5 часа, не превышала 9,9-10,3 %.

Все изменения в формировании посадок земляники и индивидуального развития растений в посадках, безусловно, отразились на формировании урожая товарных ягод. Посадки наибольшей продуктивности, с урожайностью в первый год плодоношения 24,4 т/га, удалось сформировать при проведении термокомпенсационных поливов сразу после высыхания поверхности почвы или с периодом ожидания 0,5 часа. На участках, где термокомпенсационные мероприятия проводили, но период ожидания был больше, – 2 часа, урожайность оказалась меньше, 23,7 т/га, причем различия подтверждены и результатами дисперсионного анализа ($НСР_{05} = 0,56$ т/га). На контроле урожайность земляники была существенно ниже и составила 20,7 т/га.

Выводы. Таким образом, ранее теоретически обоснованная технология термокомпенсационных поливов нашла экспериментальное подтверждение эффективности при закладке плантаций земляники садовой. Исследованиями получены убедительные данные, подтверждающие возможность снижения температуры верхнего корнесодержащего слоя почвы за счет проведения термокомпенсационных поливов на 3,4-10,6 °С и поддержания его не выше 26,0-31,0 °С при реализации риска. Наибольший эффект по компенсации температуры почвы от перегрева обеспечивается при проведении термокомпенсационных поливов сразу после высыхания поверхности почвы или с периодом ожидания 0,5 часа. Это позволяет на 6,2-9,9 % снизить долю выпадов растений земляники в год закладки плантаций, на 12,0 % сократить суммарные потери растений из-за перегрева почвы и вымерзания в первую перезимовку, на 21,2-21,9 % возросла максимальная площадь листьев, существенно, с 75,1 до 92,9 % увеличивался коэффициент выравнивания растений в посадках (по биомассе). В совокупности, сокращение потерь от гибели растений в год закладки плантаций и за первую перезимовку, а также активизация ростовых процессов и фотосинтетической деятельности, обеспечивали повышение урожайности земляники. В первый год плодоношения наибольшая урожайность ягод земляники, 24,4 т/га, формируется на участках, где термокомпенсационные поливы проводят сразу после высыхания поверхности почвы или с периодом ожидания 0,5 часа.

Conclusions. Thus, the previously theoretically justified technology of thermal compensation irrigation has found experimental confirmation of its effectiveness in planting strawberry plantations. Studies have obtained convincing data confirming the possibility of reducing the temperature of the upper root-bearing soil layer by conducting thermal compensation irrigation by 3.4-10.6 °C and maintaining it no higher than 26.0-31.0 °C when the risk is realized. The greatest effect on compensation of soil temperature from overheating is provided when conducting thermal compensation watering immediately after drying of the soil surface or with a waiting period of 0.5 hours. This allows for a 6.2-9.9% reduction in the proportion of strawberry plant fallout in the year of plantation laying, a 12.0% reduction in total plant losses due to soil overheating and freezing during the first overwintering, a 21.2-21.9% increase in the maximum leaf area, a significant increase in the coefficient of plant alignment in plantings from 75.1 to 92.9% (according to biomass). Together, the reduction of losses from plant death in the year of planting and during the first overwintering, as well as the activation of growth processes and photosynthetic activity, ensured an increase in strawberry yields. In the first year of fruiting, the highest yield of strawberries, 24.4 t/ha, is formed in areas where thermal compensation watering is carried out immediately after drying of the soil surface or with a waiting period of 0.5 hours.

Библиографический список

1. Ольгаренко В. И., Ольгаренко И. В., Ольгаренко В. Иг., Григорьян А. А. Технические функции водного режима гидромелиоративных систем. *News of Science and Education*. 2018. Т. 5. № 5. С. 036-045.
2. Лытов М. Н. Биосферно-экологические принципы создания гидромелиоративных систем с функцией компенсации климатических рисков. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2022. № 3 (67). С. 533-542.
3. Яшалова Н. Н., Молчанова Т. К., Рубан Д. А. Предпосылки эффективного управления климатическими рисками в сельском хозяйстве России: инвестиционно-инновационный аспект. *Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление*. 2019. Т. 18. № 5. С. 637-655.
4. Шевченко В. А., Кирейчева Л. В. Мелиорация: инвестиционные потребности и привлекательность. *Сельский механизатор*. 2021. № 4. С. 2-4.
5. Сафронова Т. И. Вероятностный подход к выбору управленческих решений в мелиорации. *Научное обозрение. Технические науки*. 2020. № 1. С. 20-25.
6. Владимиров С. А., Сафронова Т. И., Приходько И. А. Вероятностная модель процесса управления мелиоративными мероприятиями. *International Agricultural Journal*. 2019. Т. 62. № 4. С. 18.

7. Vozhehova R., Lykhovyd P., Biliaieva I. Aridity assessment and forecast for Kherson oblast at the climate change. *EurAsian Journal of BioSciences*. 2020. V. 14. № 1. Pp. 1455-1462.
8. He W., Ju W., He Q., Song L., Li J., Schwalm C. R., Sippel S., Wu X., Zhang C., Sitch S., Friedlingstein P., Viovy N., Jain A. K. Large-scale droughts responsible for dramatic reductions of terrestrial net carbon uptake over north America in 2011 and 2012. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 2018. V. 123. № 7. Pp. 2053-2071.
9. Овчинников А. С., Бородычев В. В., Гуренко В. М., Шишлянникова М. В., Акимова Т. С. Влияние температурного фактора на рост, развитие и продуктивность земляники в климатических условиях Нижнего Поволжья. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2016. № 4 (44). С. 210-217.
10. Бородычев В. В., Гуренко В. М., Майер А. В., Шишлянникова М. В., Акимова Т. С. Комбинированное орошение земляники. *Проблемы развития АПК региона*. 2016. Т. 25. № 1-2 (25). С. 25-29.
11. Дубенок Н. Н., Майер А. В. Многолетние исследования гидротермического режима агроценозов и системы комбинированного орошения для его регулирования. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2022. № 2. С. 3-7.
12. Лытов М. Н. Агробиологическая эффективность комбинированного орошения сельскохозяйственных культур в Нижнем Поволжье. *Аграрная Россия*. 2022. № 10. С. 3-7.
13. Абызов В. В. Оценка устойчивости сортов земляники к дефициту влаги и экстремальным положительным температурам. *Агро XXI*. 2010. № 7-9. С. 8-10.
14. Шокаева Д. Б. Развитие растений, закладка цветковых почек и урожайность короткодневных сортов земляники в зависимости от температуры. *Сельскохозяйственная биология*. 2009. Т. 44. № 5. С. 78-86.
15. Салихов М. М., Сумарокова Т. Б. Продуктивный потенциал сортов земляники. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2014. Т. 38. № 2. С. 87-96.

References

1. Olgarenko V. I., Olgarenko I. V., Olgarenko V. Ig., Grigoryan A. A. Technical Functions of the Water Regime of Hydromelioration Systems. *News of Science and Education*. 2018. V. 5. № 5. Pp. 036-045.
2. Lytov M. N. Biospherical and Ecological Principles of Creating Hydromelioration Systems with the Function of Compensating Climate Risks. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2022. № 3 (67). Pp. 533-542.
3. Yashalova N. N., Molchanova T. K., Ruban D. A. Prerequisites for Effective Management of Climate Risks in Russian Agriculture: Investment and Innovation Aspect. *UrFU Bulletin. Series: Economics and Management*. 2019. V. 18. № 5. Pp. 637-655.
4. Shevchenko V. A., Kireycheva L. V. Melioration: investment needs and attractiveness. *Rural machine operator*. 2021. № 4. Pp. 2-4.
5. Safronova T. I. Probabilistic Approach to the Choice of Managerial Decisions in Land Reclamation. *Scientific Review. Technical Sciences*. 2020. № 1. Pp. 20-25.
6. Vladimirov S. A., Safronova T. I., Prikhodko I. A. Probabilistic model of the process of managing land reclamation measures. *International Agricultural Journal*. 2019. V. 62. № 4. P. 18.
7. Vozhehova R., Lykhovyd P., Biliaieva I. Aridity assessment and forecast for Kherson oblast at the climate change. *EurAsian Journal of BioSciences*. 2020. V. 14. № 1. Pp. 1455-1462.
8. He W., Ju W., He Q., Song L., Li J., Schwalm C. R., Sippel S., Wu X., Zhang C., Sitch S., Friedlingstein P., Viovy N., Jain A. K. Large-scale droughts responsible for dramatic reductions of terrestrial net carbon uptake over north America in 2011 and 2012. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 2018. V. 123. № 7. Pp. 2053-2071.
9. Ovchinnikov A. S., Borodychev V. V., Gurenko V. M., Shishlyannikova M. V., Akimova T. S. Influence of the Temperature Factor on the Growth, Development and Productivity of Strawberries in the Climatic Conditions of the Lower Volga Region. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2016. № 4 (44). Pp. 210-217.
10. Borodychev V. V., Gurenko V. M., Mayer A. V., Shishlyannikova M. V., Akimova T. S. Combined Strawberry Irrigation. *Problems of development of the agro-industrial complex of the region*. 2016. V. 25. № 1-2 (25). Pp. 25-29.
11. Dubenok N. N., Mayer A. V. Long-term studies of the hydrothermal regime of agroecosystems and the combined irrigation system for its regulation. *Russian Agricultural Science*. 2022. № 2. Pp. 3-7.
12. Lytov M. N. Agrobiological Efficiency of Combined Irrigation of Agricultural Crops in the Lower Volga Region. *Agrarian Russia*. 2022. № 10. Pp. 3-7.
13. Abyzov V. V. Assessment of the Resistance of Strawberry Varieties to Moisture Deficit and Extreme Positive Temperatures. *Агро XXI*. 2010. № 7-9. Pp. 8-10.
14. Shokaeva D. B. Plant Development, Flower Bud Formation and Yield of Short-Day Strawberry Varieties Depending on Temperature. *Agricultural Biology*. 2009. V. 44. № 5. Pp. 78-86.
15. Salikhov M. M., Sumarokova T. B. Productive Potential of Strawberry Varieties. *Fruit and berry growing in Russia*. 2014. V. 38. № 2. Pp. 87-96.

Информация об авторах

Лытов Михаил Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института орошаемого земледелия – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, д. 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2743-9825>, e-mail: vkovniigim@yandex.ru

Author's Information

Lytov Michail Nikolaevich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, The All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture is a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Melioration named after A. N. Kostyakov" (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev St., 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2743-9825>, e-mail: vkovniigim@yandex.ru