Authors Information

Vasiliev Sergey Anatolyevich, Head of the Department of Applied Mechanics and Graphics of the I. N. Ulyanov Chuvash State University (15 Moskovsky Prospekt, Cheboksary, Chuvash Republic, Russian Federation), Professor of the Department of Technical Maintenance, Transportation Organization and Transport Management, Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3346-7347> E-mail: vsa_21@mail.ru

Lopotkin Alexey Mikhailovich, Senior Lecturer of the Department "Maintenance, Organization of Transportation and Transport Management" Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics (22a Oktyabrskaya str., Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, Russian Federation) E-mail: alexei-lopotkin@yandex.ru

Vasiliev Alexey Anatolyevich, Head of the Department "Maintenance, Organization of transportation and Transport Management" Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics (Russian Federation, Nizhny Novgorod Region, Knyaginino, Oktyabrskaya str., 22a), Candidate of Technical Sciences

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7621-748X> E-mail: alexei.21@mail.ru

Информация об авторах

Васильев Сергей Анатольевич, заведующий кафедрой «Прикладная механика и графика» Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова (РФ, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский проспект, 15), профессор кафедры «Техническое обслуживание, организация перевозок и управление на транспорте» Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, (РФ, Нижегородская область, г. Княгинино, ул. Октябрьская, д. 22а), доктор технических наук, доцент. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3346-7347> E-mail: vsa_21@mail.ru

Лопоткин Алексей Михайлович, старший преподаватель кафедры «Техническое обслуживание, организация перевозок и управление на транспорте» Нижегородский государственный инженерно-экономический университет (РФ, Нижегородская область, г. Княгинино, ул. Октябрьская, д. 22а) E-mail: alexei-lopotkin@yandex.ru

Васильев Алексей Анатольевич, заведующий кафедрой «Техническое обслуживание, организация перевозок и управление на транспорте» Нижегородский государственный инженерно-экономический университет (РФ, Нижегородская область, г. Княгинино, ул. Октябрьская, д. 22а), кандидат технических наук

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7621-748X> E-mail: alexei.21@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-35

PROSPECTS OF IMPROVEMENT OF VARIETY AGRO-TECHNICS OF CULTIVATION OF RICE ON THE BASIS OF REGULATION OF THE HYDROTHERMAL VEGETATION MODE

Yu. P. Dobrachev, E.V. Fedotova

Federal State Budget Science Center «All-Russian Scientific Research Institute of Hydrotechnics and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov», Moscow

Received 24.06.2021

Submitted 22.09.2021

Summary

The article presents an analysis of the temperature regime indicators by the phases of growth and development of rice grown in the climatic conditions of the Lower Kuban. Statistical processing of the results of factor analysis of the dependence of the yield value on the temperature factor in different phases of rice growth and development was carried out.

Abstract

Introduction. The task of increasing the yield of rice can be solved through the use of differentiated varietal agricultural technology, taking into account the biological characteristics and requirements of varieties for growing conditions. One of the reserves for further improvement of agricultural technology for growing rice is the task of harmonizing the varietal requirements of the crop for the hydrothermal growing regime during the entire growing season. This approach presupposes active regulation of the water and the associated temperature regime of developing rice crops based on monitoring the morphobiological and agrophysical parameters in order to form the optimal component-wise structure of the

crop. **Object.** The object of the research is to study the aspects of managing the hydrothermal regime of rice agrocenosis. **Materials and methods.** The processing of the initial data on the temperature regime by the phases of development of rice crops was carried out. In the course of data processing, an assessment was made of the temperature accumulated by the sowing, the total indicator of the temperature function «morphogenesis» and the proportion of sunny days. Evaluation of indicators made it possible to form a sample of derived temperature characteristics, accumulated or averaged over the growing season, taking into account the dynamics of the daily variation of air temperature. **Results and discussion.** In the course of factorial and comparative analysis, the regularities of the yield value from the temperature factor in different phases of rice growth and development were revealed. So for the phase of germination, shoots, tillering - with an increase in the amount of high temperatures, the yield increases, exit into the tube and peeling-ripening - an increase in yield with a decrease in the amount of accumulated high temperatures and an increase in the amount of moderate air temperatures.

Key words: *hydrothermal regime, rice agro-technics, rice yield, daily temperature course, morphogenesis.*

Citation. Dobrachev Yu. P., Fedotova E.V. Prospects of improvement of variety agro-technics of cultivation of rice on the basis of regulation of the hydrothermal vegetation mode. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 4(64). 344-356 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-35.

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

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

УДК 633.18:631.165

ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СОРТОВОЙ АГРОТЕХНИКИ ВЫРАЩИВАНИЯ РИСА НА ОСНОВЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВЕГЕТАЦИИ

Ю. П. Добрачев, доктор технических наук, главный научный сотрудник
Е. В. Федотова, младший научный сотрудник

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский
институт гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова», г. Москва

Дата поступления в редакцию 24.06.2021

Дата принятия к печати 22.09.2021

Актуальность. Задача повышения урожайности риса может быть решена на основе применения дифференцированной сортовой агротехники, учитывающей биологические характеристики и требования сортов к условиям произрастания. Одним из резервов дальнейшего совершенствования агротехники выращивания риса является задача согласования сортовых требований культуры к гидротермическому режиму выращивания в течение всего периода вегетации. Такой подход предполагает активное регулирование водного и связанного с ним температурного режима рисовых развивающихся посевов на основе мониторинга морфо-биологических и агрофизических параметров с целью формирования оптимальной покомпонентной структуры урожая. **Объектом исследования** является изучение аспектов управления гидротермическим режимом агроценоза риса. **Материалы и методы.** Проведена обработка исходных данных по температурному режиму по фазам развития посевов риса. В ходе обработки данных выполнена оценка накопленной посевом температуры, суммарного показателя температурной функции «морфогенез» и числа солнечных дней. Оценка показателей позволила сформировать выборки производных температурных характеристик, накопленных или осредненных за фазу вегетации, учитывающих динамику суточного хода температуры воздуха. **Результаты и обсуждение.** В ходе факторного и сравнительного анализа выявлены закономерности величины урожайности от температурного фактора в разные фазы роста и развития риса. Так, для фазы прорастания, всходов, кущения с ростом суммы высоких температур растет урожайность, выхода в трубку и выметывания – созревания – нарастание урожайности при снижении суммы накопленных высоких температур и повышении суммы умеренных температур воздуха.

Ключевые слова: гидротермический режим вегетации риса, агротехника риса, урожайность риса, суточный ход температуры, морфогенез.

Цитирование. Добрачев Ю. П., Федотова Е. В. Перспективы совершенствования сортовой агротехники выращивания риса на основе регулирования гидротермического режима вегетации. *Известия НВ АУК*. 2021. 4 (64). 344-356. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-35.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Важнейшее место в агротехнике производства риса занимают водные ресурсы. При выращивании культуры прослеживается важная роль водного фактора на всех этапах производства – от сева до уборки. Различные режимы орошения позволяют обеспечить требуемый водный обмен растений, улучшить температурный режим на всех фазах развития посева, подавлять рост сорной растительности и осуществлять промывку засоленных почв. Любые изменения уровня воды в рисовом чеке (самопроизвольные или регулируемые) сопровождаются сменой температурного режима посева, а именно распределения температуры в почве, в слое воды и воздуха внутри посева. Практикуемые в рисосеющих хозяйствах режимы орошения, организованные в технологические циклы с привязкой к фенофазам посевов, направлены, в том числе на удовлетворение требований сортов риса к температурному фактору [2, 7, 9].

Известно, что рис является теплолюбивой, чувствительной к температурному режиму культурой, для которой установлены по каждой фазе диапазоны температур, необходимые для нормального развития растений, лежащие в пределах от 14 до 36 °С. Оптимальные диапазоны температур для отдельных фаз вегетации достаточно узкие и составляют для прорастания, всходов, кущения, выметывания-цветения 24-28 °С, для выхода в трубку – 19-22 °С, а для фазы созревания – 18-26 °С [1, 8, 10].

Производственные показатели рисоводства за последние годы свидетельствуют о том, что получение урожая риса порядка 8 т/га вполне достижимо большинством предприятий [4-6]. В перспективе задача получения заданного уровня урожайности в большинстве хозяйств независимо от складывающихся природных условий может быть решена на основе применения дифференцированной сортовой агротехники, учитывающей биологические характеристики и требования сортов к условиям произрастания. Полученные многолетние данные в годы различной теплообеспеченности показали, что с изменением суммы температур за вегетационный период от 3,5 до 2,7 тыс. °С урожайность снижается почти на 50% [3, 7].

Выполненные нами ранее статистические исследования влияния температурного режима в период вегетации на урожайность вскрыли некоторые тенденции и закономерности [12]. В частности, статистический анализ, выполненный с использованием рядов среднесуточной температуры воздуха, полученных с метеостанций, и данных производственных показателей урожайности по трем оросительным системам за период 2009-2018 гг., показал, что для июля характерна, с одной стороны, тенденция положительного влияния на урожайность повышения среднемесячной температуры воздуха, а с другой, – повышение коэффициента вариации выборки среднемесячной температуры.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования была взята Кубанская мелиоративная система, являющаяся юго-западной частью Марьяно-Чебургольского водохозяйственного массива и расположенная на правом берегу р. Кубань [5, 9, 11].

Для исследований использовался массив данных о ходе температуры воздуха и количестве осадков с 3-часовым интервалом, полученный на метеостанции Краснодар/Круглик за период с 2010 по 2020 год с мая по август. Данные взяты из открытых интернет-ресурсов *rp5.ru* и *pogodaiklimat.ru*.

Для более надежной оценки накопленной посевом температуры учитывалась биологически активная температура от 10 до 36 °С и суммарная продолжительность в течение суток температуры ниже 25 °С и выше 25 °С. Полученные температурные ряды на метеостанции в стандартных условиях имеют косвенное отношение к температуре воздуха и воды в реальных производственных посевах. Однако экспериментальные исследования суточного хода температуры воздуха и воды в посеве показывают тесную связь с данными стандартных наблюдений на метеостанциях.

Предварительная обработка исходных данных по температурному режиму по фазам развития посевов риса включала оценку:

- накопленной посевом температуры различных диапазонов: от 10 до 25 °С и от 25 до 36 °С в градусоднях;
- суммарный показатель температурной функции «морфогенез» с оптимумом при 21 °С в единицах индекса благоприятных условий;
- суммарный показатель количества солнечных дней за анализируемый период.

1. *Суточный ход температуры.* При анализе влияния температурного режима на урожайность риса, выращиваемого в климатических условиях Нижней Кубани, в первую очередь был определен суточный ход температуры. Это предварительная обработка данных делалась для того, чтобы в случае отсутствия полных рядов измерений температуры воздуха с 3-х часовым интервалом их можно было восстановить по аппроксимациям распределения температуры в течение суток при наличии данных о максимальной и минимальной температурах.

Для каждого месяца по каждому суткам рассчитываются перепады температур относительно минимальной с 3-х часовым интервалом:

$$\Delta T_i = T(i) - T_{min}, \quad (1)$$

где T_{min} – минимальная суточная температура; ΔT_i – разница между текущей температурой на i -тый интервал и минимальной; $i = 1, 2, \dots, 8$ – номер временного интервала суток (0, 3, ..., 21).

Рисунок 1 – Распределение температуры воздуха в течение суток для июня по данным метеостанции Краснодар/Круглик за 2020 г.

Figure 1 – Air temperature distribution during the day for June according to the data of the Krasnodar / Kruglik meteorological station for 2020

Затем полученные 3-х часовые перепады температуры, выраженные в долях от суточной амплитуды колебания, для 5-10 суток выстраиваются в ранжированные ряды от 0 до 1 и по каждой из 8 позиций, рассчитывается среднее, которое принимается за характеристику распределения температуры воздуха с трехчасовым интервалом. Образованная 8 точками кривая аппроксимируется квадратичной функцией, но также может использоваться в расчетах в табличном виде.

На рисунке 1 представлено суточное распределение температуры в июне 2020 года с максимальным значением 28 °С и минимальным 19 °С.

В исследованиях влияния температурного режима за критичную температуру принята температура равная 25 °С, точка перелома в оптимальной температурной области большинства фаз развития риса. Продолжительность времени, в течение которого температура воздуха выше или ниже 25 °С, определялась по условиям:

1. Если $T_{max} \leq 25^\circ\text{C}$, то $x^+ = 0$ ч.; $x^- = 24$ ч., где x^+ – продолжительность «высокой» температуры (выше 25°С) в течение суток в часах, а x^- – соответственно длительность части суток с температурой ниже 25 °С.

2. Если $T_{max} \geq 25^\circ\text{C}$, то расчет продолжительности теплой температурной фазы суток выполняется с использованием уравнения аппроксимации, представленного на рисунке 1. Обозначим разницу суточной температуры $\Delta T_d = (T_{max} - T_{min})$. Тогда уравнение для расчета x^+ представим в виде $\Delta T_d \cdot (ax^2 + bx + c) + T_{min} = 25$. Решением уравнения является точка пересечения горизонтальной линии (25 °С) и параболы, аппроксимирующей суточный ход температуры:

$$x_{1,2} = \frac{-\Delta T_d \cdot b \pm \sqrt{(\Delta T_d \cdot b)^2 - 4 \cdot [a \cdot \Delta T_d \cdot (c \cdot \Delta T_d + T_{min} - 25)]}}{2 \cdot \Delta T_d \cdot a}, \quad (2)$$

где x_1, x_2 – корни уравнения; a, b, c – коэффициенты регрессии. Выбирается корень уравнения, удовлетворяющий условиям задачи. Искомый корень $24 > x > 0$; если $x_1 < 24$, то $x^+ = x_1$; $x^- = 24 - x_1$; если $x_1 > 24$, то $x^+ = x_2$; $x^- = 24 - x_2$.

Далее выполняется расчет накопленной температуры ($F^{P\pm}$) выше и ниже 25 °С в градусоднях за каждые сутки:

- при $T_{max} \geq 25^\circ\text{C}$:

$$F^{P+} = \left(\frac{T_{max} + 25}{2} \right) \cdot \left(x^+ / 24 \right) ^\circ\text{C сут} \quad (3)$$

$$F^{P-} = \left(\frac{25 + T_{min}}{2} \right) \cdot \left(x^- / 24 \right) ^\circ\text{C сут} \quad (4)$$

- при $T_{max} < 25^\circ\text{C}$:

$$F^{P+} = 0; x^- = 1 \text{ сут}; F^{P-} = \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) ^\circ\text{C сут} \quad (5)$$

где $\left(\frac{T_{max} + 25}{2} \right)$ – средняя температура периода суток с превышением 25 °С за время x^+ ч., $T_M = \left(\frac{25 + T_{min}}{2} \right)$ – средняя температура за прохладный промежуток времени суток x^- ч..

2. *Функция морфогенеза.* На разных этапах вегетации требования посевов риса к режиму орошения значительно отличаются, и в этой связи затопление риса водой считается обязательным элементом агротехники, обеспечивающим формирование оптимальной структуры урожая. Этим объясняется жесткая привязка режима орошения к этапам роста и развития растений, которые принято тщательно отслеживать в течение

всего периода вегетации. Продолжительность фаз развития (фенология) и морфометрические признаки растений характеризуют теплообеспеченность посевов и то, насколько быстро идут процессы морфогенеза и вегетативного роста под влиянием природных и агротехнических факторов: перепадов температуры воздуха, солнечной радиации, планировки полей, режима орошения, минерального питания и др.

Для анализа влияния различных градаций температуры на составляющие структуры урожая (число продуктивных стеблей, число заложённых колосков и зерен, вес зерновки) были выделены следующие фазы роста и развития риса и календарные сроки:

1. Посев – прорастание (календарные сроки – 5 мая - 20 мая, продолжительность – 14-15 дней);
2. Всходы (21 мая - 8 июня; 18-19 дней);
3. Кущение (10 июня - 9 июля; 28-29 дней);
4. Выход в трубку (10 июля - 1 августа; 22-23 дня);
5. Выметывание – цветение – созревание (уборка урожая) (2 августа – 5 сентября; 34-36 дней).

Особое внимание к процессам морфогенеза генеративных органов вызвано присутствием им диапазоном сравнительно низких оптимальных температур порядка 19-22 °С. С целью контрастирования этого этапа формирования структуры урожая, ответственного за количество зерен в метелке, в качестве фактора, влияющего на урожайность, предлагается использовать индекс температурной функции, рассчитанный по данным суточных рядов «низких» температур (см. формулы 3, 4 и 5) с накоплением за время прохождения фазы.

Функцию $f^M(T)$ для расчета влияния температуры на процесс морфогенеза в фазу «выхода в трубку» зададим в следующем виде:

$$f^M(T) = -0,00032 \cdot T^3 + 0,0122 \cdot T^2 - 0,0727 \cdot T + 0,097 \quad (6)$$

где $T = T_M$; для $T_M \in [10 < T_M < 25]$ °С.

Приняв продолжительность благоприятных температурных условий для морфогенеза за сутки равной $x^-/24$ сут, суммарный индекс морфогенеза (F^M), накопленный за фазу выхода в трубку длительностью n суток, определим как:

$$F^M = \sum_{i=1}^n f^M(T_M^i) \cdot x^-(i)/24. \quad (7)$$

3. *Солнечная радиация.* Для идентификации дней с безоблачной или малооблачной погодой, используя в качестве критерия разницу максимальной и минимальной температуры воздуха, пороговое значение критерия (ΔT_R) оценивали по средней за месяц разнице суточных температур для дней с осадками, полагая их пасмурными, к которой для надежности добавляли 2,5 °С.

Идентификация дней с высоким уровнем солнечной радиации (R) выполнялась согласно условиям: если $\Delta T > \Delta T_R$, то $R = 1$, иначе $R = 0$.

Результаты и обсуждение. Влияние температурного режима вегетации риса по фенологическим фазам на продуктивность в производственных посевах. Данные рядов максимальной и минимальной суточных температур воздуха позволили сформировать выборки производных температурных характеристик по фазам вегетации: суммы накопленных температур выше (F^{P+}) и ниже (F^{P-}) 25°C, число солнечных дней (ΣN_R). По каждой фенологической фазе проведен расчет двухфакторной квадратичной регрессии, связывающей урожайность риса с представленными характеристиками температурного и светового режимов. Уравнение квадратичной регрессии имеет вид:

$$Y = c + a_1 \times x_1 + a_2 \times x_2 + a_3 \times x_1^2 + a_4 \times x_2^2 + a_5 \times x_1 \times x_2, \quad (8)$$

где Y – урожайность; $c, a_1, a_2, \dots, a_n$ – коэффициенты регрессии.

В качестве переменных x_1 и x_2 регрессии для каждой фазы использовались следующие комбинации факторов:

1 вариант Option 1		2 вариант Option 2		3 вариант Option 3	
x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
F^{P+}	F^{P-}	F^{P+}	F^M	F^{P+}	ΣN_R

По результатам расчетов для каждой фазы отобраны наиболее информативные регрессии, имеющие высокие значения коэффициентов корреляции и детерминации (R и R^2) (таблица 1):

- 1 – Посев – прорастание: 1 вариант ($R=0,76$ и $R^2=0,58$);
- 2 – Всходы: 1 вариант ($R=0,88$ и $R^2=0,77$);
- 3 – Кущение: 3 вариант ($R=0,59$ и $R^2=0,35$);
- 4 – Выход в трубку: 2 вариант ($R=0,90$ и $R^2=0,82$);
- 5 – Выметывание- созревание (уборка урожая): 1 вариант ($R=0,53$ и $R^2=0,28$).

Таблица 1 – Значения коэффициентов квадратичной регрессии

Table 1 – Values of quadratic regression coefficients

Фаза развития Development phase	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	c	R	R^2
Посев - прорастание: Sowing - germination: F^{P+}, F^{P-}	5,79	-1,6	0,02	0,003	-0,02	249,6	<u>0,76</u>	0,58
Всходы: Shoots: F^{P+}, F^{P-}	1,93	-3,8	0,003	0,005	-0,006	734,7	<u>0,88</u>	0,77
Кущение: Tillering: $F^{P+}, \Sigma N_R$	-0,07	1,1	-0,0001	-0,12	0,01	71,4	<u>0,59</u>	0,35
Выход в трубку: Exit to the tube: F^{P+}, F^M	-1,75	-40,7	0,0008	0,48	0,05	796,1	<u>0,90</u>	0,82
Выметывание – созревание (уборка урожая): Sweeping - maturing (harvesting): F^{P+}, F^{P-}	12,12	-20,2	0,005	0,016	-0,01	6350,7	<u>0,53</u>	0,28

Координаты особых точек на графиках полученных зависимостей представлены в таблице 2.

В представленных первых трех регрессиях хорошо прослеживается положительное влияние высокой температуры F^{P+} , накопленной за фазы прорастание, всходы, кущение, в сочетании с любым другим фактором – с ростом суммы высоких температур растет урожайность. Для фазы выхода в трубку и выметывания – созревания закономерность иная: нарастание урожайности наблюдается при снижении

суммы накопленных высоких температур и повышении суммы умеренных температур воздуха, а также в границах значений накопленного индекса морфогенеза от 18-20 единиц. При этом коэффициенты корреляции и детерминации сравнительно высокие и составляют 0,9 и 0,82, что свидетельствует о приемлемой достоверности результата, (таблицы 2 и 4).

Рисунок 2 – График зависимости урожайности риса от накопленной суммы температур воздуха выше (F^{P+}) 25 °C в градусоднях и показателя морфогенеза (F^M)

Figure 2 – Graph of dependence of rice yield on the accumulated sum of air temperatures above (F^{P+}) 25 oC in degree days and morphogenesis index (F^M)

Таблица 2 – Координаты точек максимума и минимума регрессионных зависимостей в границах действительных значений функции (урожайность) и факторов: накопленной суммы температур воздуха выше (F^{P+}) и ниже (F^{P-}) 25 °C в градусоднях, показателя морфогенеза (F^M) и числа дней с высоким уровнем солнечной радиацией (ΣN_R) за фазу развития посева

Table 2 – Coordinates of the points of maximum and minimum regression dependencies within the boundaries of the actual values of the function (yield) and factors: the accumulated sum of air temperatures above (F^{P+}) and below (F^{P-}) 25 oC in degree days, morphogenesis index (F^M) and the number of days with high levels of solar radiation (ΣN_R) during the phase of sowing development

Координаты особых то- чек / Coordinates of singular points	Посев – про- растание / Sowing - germi- nation			Всходы / Shoots			Кущение / Tillering			Выход в трубку / Exit to the tube			Выметывание- созревание / Sweeping – maturing		
	Y, ц/га	F^{P+}	F^{P-}	Y, ц/га	F^{P+}	F^{P-}	Y, ц/га	F^{P+}	(ΣN_R)	Y, ц/га	F^{P+}	F^M	Y, ц/га	F^{P+}	F^{P-}
max	>100	68	250	>80	150	300	>70	280	18	>95	250	18	>100	300	950
min	65	20	310	60	85	380	40	130	25	65	315	18	60	450	800

Влияние вариаций температурного режима и солнечной радиации по фенологическим фазам развития на урожайность риса. Для анализа влияния колебаний и перепадов температурного режима и количества солнечных дней по годам за время прохождения фаз вегетации использовали регрессию в виде произведения степенных функций. Уравнение искомой зависимости имеет вид:

$$Y = c \cdot x_1^{a_1} \cdot x_2^{a_2} \cdot \dots \cdot x_n^{a_n}, \quad (9)$$

где $x_1, x_2, \dots, x_n$ – факторы внешней среды во время прохождения фазы ($F^{P+}, F^{P-}, \Sigma N_R$).

Для линейной функции, полученной путем логарифмирования обеих частей уравнения (8), методом наименьших квадратов определим коэффициенты регрессии ($c, a_1, a_2, \dots, a_n$).

Полученная путем логарифмирования обеих частей уравнения (8) линейная функции позволяет с помощью метода наименьших квадратов определить коэффициенты регрессии ($c, a_1, a_2, \dots, a_n$). С целью упрощения анализа величины анализируемых факторов в расчетах представлены безразмерным нормированным отношением фактического (табличного) значения факторов каждой фазы к минимальному значению за весь период исследования – 2010-2020 гг. Нормирование выборок позволяет оценить вклад вариации каждого фактора в величину урожайности с учетом статистической значимости определяемой коэффициентами корреляции и детерминации для полученной регрессии.

По результатам расчетов (таблица 3) отобраны наиболее информативные регрессии, имеющие высокие значения коэффициентов корреляции и детерминации, среди которых оказались варианты расчетов колебания температуры выше 25 °C и показателя солнечной радиации ($R=0.68$ и $R=0.67$).

Таблица 3 – Результаты регрессионного анализа вариантов факторных зависимостей урожайности от вариаций температурного режима и солнечной радиации

Table 3 – Results of regression analysis of variants of factor dependences of yield on variations of temperature regime and solar radiation

Фактор/ Factor	Значения коэффициентов регрессии / Values of regression coefficients					c	R	R^2
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5			
F^{P+}	0,009	-0,021	-0,004	-0,001	-0,001	4,31	<u>0,68</u>	0,46
Вклад фактора в % The contribution of the factor to %	0,21	0,48	0,09	0,02	0,02	99,17		
F^{P-}	0,05	-0,15	0,17	0,12	0,06	3,90	0,37	0,14
Вклад фактора в % The contribution of the factor to %	1,12	3,37	3,82	2,70	1,35	87,6		
ΣN_R	0,01	-0,08	-0,07	-0,05	0,11	4,24	<u>0,67</u>	0,45
Вклад фактора в % The contribution of the factor to %	0,22	1,75	1,54	1,10	2,41	92,8		

Представленные в таблице результаты вклада вариаций температур, накопленных по фазам развития, показывают, что наибольшая реакция прослеживается на накопленные низкие температуры, ниже 25 °C, против колебаний сумм высоких температур и количества солнечных дней за фазу, что свойственно процессам морфогенеза.

На следующем этапе проведен аналогичный анализ влияния вариаций различных факторов, отличающийся тем, что для каждой фазы использован свой фактор, который оказывал наиболее сильное и достоверное влияние на урожайность по результатам выполненных ранее оценок (таблицы 1 и 2). Критериями для выбора значимого фак-

тора для каждой в отдельности фазы вегетации служили коэффициенты корреляции и детерминации, полученные в расчетах парных комбинаций квадратичных регрессионных зависимостей.

Все остальные операции, связанные с расчетами и анализом, были сохранены. Результаты расчетов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты регрессионного анализа наиболее информативных вариантов факторных зависимостей по фазам развития

Table 4 – Results of regression analysis of the most informative variants of factor dependencies by development phases

Фаза / Phase Вариант Расчета / Calculation option	Посев – прораста- ние / Sowing - germination	Всходы / Shoots	Куще- ние / Tillering	Выход в трубку / Exit to the tube	Выметывание – созревание / Sweeping - maturing	c	R	R^2
Вариант 1 Option 1	F^{P+}	F^{P+}	ΣN_R	F^M	F^{P+}			
Коэффициенты ре- грессии Regression coefficients	0,02	-0,03	-0,12	0,06	-0,09	4,37	0,78	0,61
Вклад фактора в % The contribution of the factor to %	0,43	-0,66	-2,52	1,26	-1,93	93,2		
Вариант 2 Option 2	F^{P+}	F^{P+}	ΣN_R	ΣN_R	F^M			
Коэффициенты ре- грессии Regression coefficients	0,02	-0,04	-0,26	-0,13	0,49	4,49	0,89	0,79
Вклад фактора в % The contribution of the factor to %	0,30	0,83	4,82	2,45	8,95	82,6		
Вариант 3 Option 3	F^{P+}	F^{P+}	ΣN_R	ΣN_R	F^M			
Коэффициенты ре- грессии Regression coefficients	0,01	-0,03	-0,14	-0,10	0,12	4,42	0,81	0,01
Вклад фактора в % The contribution of the factor to %	0,27	0,67	2,87	1,98	2,50	91,7		

Выводы. Выполненный анализ показал, что естественные колебания температурных условий вызывают варьирование урожайности в целом по региону ОС до 8-10 %, а на отдельных полях это влияние может достигать и больших значений. Следовательно, поиск технологических путей решения задачи по регулированию температурного режима заслуживает внимания как один из наиболее значимых факторов урожайности. В первую очередь, решение этой проблемы видится в многоцелевом использовании поливной воды, оптимизации режима орошения, обеспечивающего более благоприятный температурный режим для каждой конкретной фазы развития растений. Изучение гидротермического режима посевов риса в зависимости от архитектуры, биометрических

и морфологических характеристик, уровня воды в чеке, с учетом метеорологических факторов, стадии технологического цикла водоподачи и сброса поливной воды позволит найти приемлемый способ регулирования температуры в посеве.

Сортовая агротехника представляет собой адаптивную к природным условиям и жестко привязанную к морфофизиологическим свойствам сорта программу выполнения последовательности операций по уходу за посевом, основанную на контроле динамики формирования биометрических специфических характеристик при его высокой продуктивности. Мониторинг фенологических и структурных характеристик посева, а также почвенных и агрометеорологических условий в период вегетации позволит создать необходимый информационный базис для количественных описаний возможных вариантов регулирования температуры в посеве за счет управления уровнем воды в чеке на текущую и предстоящую фазу развития, используя различные способы и режимы орошения, в том числе прерывистое.

Проведенный с помощью статистических методов анализ показал возможные направления дальнейшего совершенствования агромелиоративных приемов выращивания риса, нуждающихся в регулировании гидротермического режима посева. Целевое согласование режима орошения с метеорологическими и агробиологическими факторами может быть реализовано с помощью эколого-физиологической модели культуры на основе характеристик сорта и агрофизических методов управления микроклиматом.

Библиографический список

1. Владимиров С. А., Малышева Н. Н. Влияние агроклиматических факторов предпосевного периода на урожайность риса в Краснодарском крае // Интеграция науки и производства – стратегия устойчивого развития АПК России в ВТО: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Победы в Сталинградской битве. Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2013. С. 60-64.
2. Галкин Г. А. Вода и рис: агроэкологические аспекты // Рисоводство. 2017. № 1 (34). С. 72-80.
3. Добрачев Ю. П., Соколов А. Л. Модели роста и развития растений и задача повышения урожайности // Природообустройство. 2016. № 3. С. 90-96.
4. Зеленский Г. Л. Морфо-биологическое обоснование агротехники риса // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 77 (03). С. 631-666. <http://ej.kubagro.ru/2012/03/pdf/98.pdf>
5. Малышева Н. Н., Рябцев П. В., Мурашева А. С. К вопросу рационального водопользования при орошении в Краснодарском крае // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. ст. XV Междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 2018. С. 93-96.
6. Малышева Н. Н., Гаркуша С. А. К вопросу развития мелиорации на Кубани // Новые тенденции развития сельскохозяйственных наук: сб. науч. тр. по материалам IV Междунар. науч.-практ. конф. Ростов н/Д., 2017. С. 21-23.
7. Попов В. А., Островский Н. В. Агроклиматология и гидравлика рисовых экосистем: монография. Краснодар: КубГАУ, 2013. 189 с.
8. Рау А. Г., Бакирова А. Ш. Влияние температуры слоя воды рисовых чеков на урожайность риса // Рисоводство. 2019. № 2 (43). С. 48-51.
9. Система земледелия Краснодарского края на агроландшафтной основе / А. Н. Коробка, С. Ю. Орленко, Е. В. Алексеенко [и др.]. Краснодар: ООО "Просвещение-Юг", 2015. 352 с.
10. Харитонов Е. М., Скаженник М. А., Галкин Г. А. Климатические и физиологические аспекты формирования урожая риса в Краснодарском крае // Рисоводство. 2014. № 2 (25). С. 6-12.
11. Buber A. L., Bondarik I. G., Buber A. A. Development of approaches to water resources management in the Lower Kuban to ensure water user requirements in low-water years // Irrigation and Drainage. 2019. Vol. 69. № 1. P. 3-10. <https://doi.org/10.1002/ird.2387>.

12. Dobrachev Y. P., Fedotova E. V. Water supply volumes and temperature regime influence on rice productivity in the Lower Kuban reclamation complexes // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 577. Mathematical modeling of technical and economic systems in agriculture II. 2020. May 10. 012005. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/17551315/577/1/012005>.

Conclusions. The performed analysis showed that natural fluctuations in temperature conditions cause a variation in productivity in the whole region of irrigation systems up to 8-10%, and in some fields this influence can reach large values. Consequently, the search for technological ways of solving the problem of regulating the temperature regime deserves attention as one of the most significant factors of productivity. First of all, the solution to this problem is seen in the multipurpose use of irrigation water, optimization of the irrigation regime, which provides a more favorable temperature regime for each specific phase of plant development. The study of the hydrothermal regime of rice crops, depending on the architectonics, biometric and morphological characteristics, the water level in the check, taking into account meteorological factors, the stage of the technological cycle of water supply and discharge of irrigation water, will make it possible to find an acceptable way to regulate the temperature in the crop.

Varietal agricultural technology is an adaptive to natural conditions and rigidly tied to the morphophysiological properties of the variety, a program for performing a sequence of operations for the care of a crop, based on controlling the dynamics of the formation of biometric specific characteristics at its high productivity. Monitoring the phenological and structural characteristics of sowing, as well as soil and agrometeorological conditions during the growing season will create the necessary information basis for quantitative descriptions of possible options for regulating temperature in sowing by controlling the water level in the check for the current and forthcoming development phase, using various methods and irrigation regimes, including intermittent.

The studies carried out show a possible direction for further improvement of agricultural technology for growing rice, which requires temperature regulation. The prospect of conjugation of the irrigation regime with meteorological and agromeliorative conditions can be realized on the basis of the ecological and physiological characteristics of the variety and the use of dynamic agrophysical models for the formation of conditions for the optimal structure of the crop.

References

1. Vladimirov S. A., Malysheva N. N. Influence of agro-climatic factors of the pre-sowing period on rice yield in the Krasnodar Territory // Integration of science and production - a strategy for the sustainable development of the Russian agro-industrial complex in the WTO: materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of the Victory in the Battle of Stalingrad. Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2013. P. 60-64.
2. Galkin G. A. Water and rice: agroecological aspects // Rice growing. 2017. № 1 (34). Pp. 72-80.
3. Dobrachev Yu. P., Sokolov A. L. Models of plant growth and development and the task of increasing productivity. 2016. No. 3. Pp. 90-96.
4. Zelensky G. L. Morpho-biological substantiation of rice agricultural technology // Scientific journal KubSAU. 2012. No. 77 (03). P. 631-666.
5. Malysheva N. N., Ryabtsev P. V., Murasheva A. S. On the issue of rational water use during irrigation in the Krasnodar Territory // Collection of articles of the XV International Scientific and Practical Conference: "Fundamental and Applied Scientific Research: Topical Issues, Achievements and Innovations". 2018. P. 93-96.
6. Malysheva N. N., Tesheva S. A. Economic assessment of the efficiency of rice cultivation in the Krasnodar Territory // Collection of materials of the international scientific and practical conference: "Modern scientific research: historical experience and innovations". Krasnodar, 2015. P. 108-111.

7. Popov V. A., Ostrovsky N. V. Agroclimatology and hydraulics of rice ecosystems: monograph. Krasnodar: KubGAU, 2013. 189 p.
8. Rau A. G., Bakirova A. Sh. The influence of the temperature of the water layer of rice checks on the yield of rice // Rice growing. 2019. No. 2(43). P. 48-51.
9. The system of agriculture of the Krasnodar Territory on an agro-landscape basis / A. N. Korobka, S. Yu. Orlenko, E. V. Alekseenko [et al.]. Krasnodar: LLC "Enlightenment-Yug", 2015 352 p.
10. Kharitonov E. M., Skazhennik M. A., Galkin G. A. Climatic and physiological aspects of rice crop formation in the Krasnodar Territory // Rice growing. 2014. № 2 (25). Pp. 6-12.
11. Buber A. L., Bondarik I. G., Buber A. A. Development of approaches to water resources management in the Lower Kuban to ensure water user requirements in low-water years // Irrigation and Drainage. 2019. Vol. 69. Iss. 1. P. 3-10. <https://doi.org/10.1002/ird.2387>.
12. Dobrachev Y. P., Fedotova E. V. Water supply volumes and temperature regime influence on rice productivity in the Lower Kuban reclamation complexes // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 577. Mathematical modeling of technical and economic systems in agriculture II. 2020. May 10. 012005. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/17551315/577/1/012005>.

Author's Information

Dobrachev Yuri Pavlovich, chief researcher at the All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakova (Russian Federation, 125550, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya St., 44, Building 2). E-mail: dobrachev@yandex.ru ORCID: orcid.org/0000-0002-2186-3652

Fedotova Ekaterina Viktorovna, researcher at the All-Russian Scientific Research Institute of Hydrotechnics and Land Reclamation named after A.N. Kostyakova (Russian Federation, 125550, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya St., 44 Building, 2). E-mail: katya_fedotova94@mail.ru

Информация об авторах:

Добрачев Юрий Павлович, главный научный сотрудник «Всероссийского научноисследовательского института гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова» (РФ, 125550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44, строение 2). E-mail: dobrachev@yandex.ru ORCID: orcid.org/0000-0002-2186-3652

Федотова Екатерина Викторовна, младший научный сотрудник «Всероссийского научноисследовательского института гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова» (РФ, 125550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44, строение 2). E-mail: katya_fedotova94@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-36

PLANNING OF LOADING MANIPULATOR CAPTURE TRAJECTORIES ACCORDING TO ENERGY EFFICIENCY CRITERIA AND ESTIMATION OF DRIVE OPERATION COSTS

I. A. Nesmiyanov, M.E. Nikolaev

Volgograd State Agrarian University, Volgograd

Received 25.09.2021

Submitted 09.11.2021

The work was supported by the Presidential scholarship "SP-2987.2021.1".

Summary

The design of the manipulation mechanism is proposed and manufactured, on the basis of which an experimental loading and transport unit is assembled. The developed loading and transport unit with a parallel-sequential structure manipulator can be installed on a self-propelled chassis «Agromash SH-50» or «VZT-30SSH». The actual trajectories of the loader gripper movement are obtained, theoretically justified inclusions are confirmed and allow for the movement of cargo and its positioning over the entire part area. As a result of experimental studies, a change in the work expended during the operation cycle was obtained when loading a bag of vegetables in the longitudinal plane of the unit at various points of placement in the part when implementing the specified program movements along energy-efficient trajectories.