МЕЛИОРАЦИЯ, РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

Научная статья

УДК 633.18; 58.036; 631.165

doi: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-87-102

Влияние термического режима на урожайность риса

Екатерина Викторовна Федотова

Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации
имени А. Н. Костякова, Москва, Российская Федерация, katty_fedotova94@mail.ru

Аннотация. Цель: изучение влияния температурного режима на урожайность риса в период вегетации. **Материалы и методы.** Объект исследования – аспекты управления гидротермическим режимом агроценоза риса. Проведена обработка исходных данных о температурном режиме по фазам развития риса. В ходе обработки данных выполнена оценка накопленной посевом температуры, суммарного показателя температурной функции «морфогенез» и доли солнечных дней. **Результаты.** В ходе факторного и сравнительного анализа выявлены зависимости величины урожайности от температурного фактора в разные фазы роста и развития риса. Так, в фазе выхода в трубку с ростом суммы высоких температур растет урожайность, а для периода от выметывания до созревания нарастание урожайности отмечается при снижении суммы накопленных высоких температур и повышении суммы умеренных температур воздуха. Анализ показал, что естественные колебания температурных условий вызывают варьирование урожайности в целом по региону оросительных систем до 8–10 %, а на отдельных полях это влияние может достигать и больших значений. **Выводы.** С помощью разноплановых регрессионных уравнений представлена чувствительность культуры к температурному режиму. Выполненные исследования показывают возможное направление дальнейшего совершенствования агротехники риса, нуждающейся в согласовании сортовых требований культуры с гидротермическим режимом в течение всего периода вегетации и сопряжении режима орошения с метеорологическими и агрометеорологическими условиями.

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

LAND RECLAMATION, RECULTIVATION AND LAND PROTECTION

Original article

Thermal regime impact on rice yield

Ekaterina V. Fedotova

All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after
A. N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation, katty_fedotova94@mail.ru

Abstract. Purpose: to study the temperature effect on rice yield during the growing season. **Materials and methods.** The object of the research is control issues of rice agroecosis hydrothermal regime. The initial data on the temperature regime for the phases of rice development phases were processed. In the course of data processing, the temperature accumulated by the sowing, the total temperature function “morphogenesis” indicator and the sunny days fraction were assessed. **Results.** In the course of factor and comparative analysis, the dependences of the yield value on the temperature factor in different phases of rice growth and development were identified. So, in the phase of booting with an increase of high temperatures sum, the yield increases, and for the period from ear emergence to maturation, the re-

sponse in yield is identified with a decrease of the accumulated high temperatures sum and an increase of moderate air temperatures sum. The analysis showed that natural fluctuations in temperature cause yield variation in the region of irrigation systems up to 8–10 %, as a whole, and in some fields this influence can reach greater values. **Conclusions.** With the help of diversified regression equations, the crop response to temperature is presented. The studies performed show a possible direction for the further improvement of rice agronomic practices, which needs matching the rice varietal requirements with the hydrothermal regime during the entire growing season and matching the irrigation regime with meteorological and agro-reclamation conditions.

Keywords: hydrothermal regime, rice agricultural technology, rice yield, diurnal temperature range, morphogenesis

Введение. Согласование потребности орошаемых сельскохозяйственных культур в воде с выделенными лимитами забора и изъятия водных ресурсов – одна из наиболее актуальных и сложных комплексных задач управления водопользованием при использовании водных мелиораций в растениеводстве. Связанное с этим компромиссное решение возможно при достоверном прогнозировании водопотребления орошаемых полей, их продуктивности в зависимости от состояния посевов, запасов продуктивной влаги, ожидаемой динамики поступления водных ресурсов и погодных условий в течение всего периода вегетации [1].

Важнейшее место в агротехнике 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 во 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, 3].

Как известно, рис относится к теплолюбивым растениям, и низкие температуры сильно тормозят его рост и развитие. Он резко реагирует на суточные колебания температуры воздуха и почвы, которая при высоких температурах прогревается сильнее. Так, некую защитную функцию при колебаниях температуры воздуха выполняет слой воды и проточная вода на рисовом поле (в чеке), слой достигает величины 15 см в определенные фазы развития риса. Слой воды в чеке также приводит к подавлению сорняков, рассолению почв и повышению относительной влажности воздуха до оптимальной для риса (70–80 %) [4].

Для риса на разных этапах вегетации (прорастание, всходы, кущение, выход в трубку, выметывание, цветение и созревание семян) установлены диапазоны температур, необходимые для нормального развития, лежащие в пределах 14–36 °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 [5, 6].

Выполненные ранее статистические исследования влияния температурного режима и водоподачи в период вегетации на урожайность вскрыли некоторые тенденции и закономерности [7]. 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 характерны, с одной стороны, тенденции положительного влияния на урожайность повышения среднемесячной температуры воздуха, а с другой – повышение коэффициента вариации выборки среднемесячной температуры. Обсуждение полученных оценочных результатов анализа рядов данных показало, что для формирования высокой продуктивности рисового поля в июле важны не только высокие, но и пониженные температуры, это подтверждается коэффициентами вариации

анализируемых выборок факторов. По-видимому, в июле в посевах протекают некоторые биологические процессы, для которых оптимальные температуры смещены в более умеренную область температурной шкалы.

Этот результат навел на мысль о дальнейшем более углубленном изучении влияния температуры путем проведения аналогичного регрессионного анализа с использованием градаций накопленных сумм температур (выше и ниже 25 °С) не только по месяцам, но и по фазам развития растений.

Целью исследований являлось изучение влияния температурного режима на урожайность риса в период вегетации по фазам развития.

Материал и методы исследований. В качестве объекта исследования выбрана Кубанская оросительная система (КОС), являющаяся юго-западной частью Марьяно-Чебургольского водохозяйственного массива, входящего в состав мелиоративно-водохозяйственного комплекса Нижней Кубани.

Для исследований использовался массив данных о производственных показателях КОС за 2010–2020 гг., предоставленных ФГБУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз» (таблица 1), данные о ходе температуры воздуха и количестве осадков с 3-часовым интервалом, полученные на метеостанции Краснодар-Круглик, за период с 2010 по 2020 г. с мая по август. Данные взяты из открытых интернет-ресурсов rp5.ru и pogodaiklimat.ru.

Таблица 1 – Производственные показатели Кубанской оросительной системы

Показатель	Год										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Урожайность, ц/га	66	67	71	63	69	68	73	64	67	68	68
Оросительная норма, тыс. м ³ /га	18,5	19,2	18,7	18,9	19,0	19,4	19,7	19,4	20,6	20,3	20,5

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 температу-

ры. Эта предварительная обработка данных делалась для того, чтобы в случае отсутствия полных рядов измерений температуры воздуха с 3-часовым интервалом их можно было восстановить по аппроксимациям распределения температуры в течение суток при наличии данных о максимальной и минимальной температуре.

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

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

где ΔT_i – разница между текущей температурой в i -м интервале и минимальной, °C;

$i = 1, 2, \dots, 8$ – номер временного интервала суток (0, 3, ..., 21 ч);

$T_{(i)}$ – текущая температура, °C;

$T_{\min}$ – минимальная суточная температура, °C.

И затем полученные 3-часовые перепады температуры, выраженные в долях от суточной амплитуды колебания, для 5–10 сут выстраиваются в ранжированные ряды от 0 до 1 и по каждой из восьми позиций рассчитывается среднее, которое принимается за характеристику распределения температуры воздуха с 3-часовым интервалом (рисунок 1).

В исследованиях влияния температурного режима за критичную температуру принята температура, равная 25 °C, являющаяся предположительной точкой перелома в оптимальной температурной области большинства фаз развития риса.

Продолжительность времени, в течение которого температура воздуха выше или ниже 25 °C, определялась по условиям:

- если $T_{\max} \leq 25$ °C, то $x^+ = 0$; $x^- = 24$, где x^+ – продолжительность «высокой» температуры (выше 25 °C) в течение суток в часах, а x^- – длительность «низкой», ниже 25 °C;

- если $T_{\max} \geq 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, то расчет продолжительности теплой температурной фазы суток выполняется с использованием уравнения аппроксимации $\Delta T_d = T_{\max} - T_{\min}$ и представленного на рисунке 1. Обозначим разницу суточной температуры, 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 ($25 \text{ }^{\circ}\text{C}$) и параболы, аппроксимирующей суточный ход температуры:

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

где $x_{1,2}$ – корни уравнения;

$$\Delta T_d = T_{\max} - T_{\min};$$

a, b, c – коэффициенты регрессии.

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

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°C в градусо-днях за каждые сутки, $^\circ\text{C}\cdot\text{сут}$:

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

$$F^{P^+} = \frac{T_{\max} + 25}{2} \cdot \frac{x^+}{24}, \quad (1)$$

$$F^{P^-} = \frac{25 + T_{\min}}{2} \cdot \frac{x^-}{24}; \quad (2)$$

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

$$F^{P^+} = 0; \quad x^- = 1 \text{ сут}, \quad (3)$$

$$F^{P^-} = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2}, \quad (4)$$

где $\frac{T_{\max} + 25}{2}$ – температура периода суток с превышением 25°C за время x^+ , $^\circ\text{C}$;

$\frac{25 + T_{\min}}{2} = T_M$ – температура за прохладный промежуток времени суток, равный x^- , $^\circ\text{C}$.

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 [8]:

- а) посев – прораствание (календарные сроки – 5–20 мая, продолжительность – 14–15 дней);
- б) всходы (21 мая – 8 июня, 18–19 дней);
- в) кущение (10 июня – 9 июля, 28–29 дней);
- г) выход в трубку (10 июля – 1 августа, 22–23 дня);
- д) выметывание – цветение – созревание (уборка урожая) (2 августа – 5 сентября, 34–36 дней).

Особое внимание к процессам морфогенеза генеративных органов вызвано присущим 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 (1)–(4)), с накоплением за время прохождения фазы.

Функцию морфогенеза $f^M(T)$ для расчета влияния температуры на процесс морфогенеза в фазе выхода в трубку зададим в следующем виде [9]:

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

где $T = T_M$, °С, $T \in [10^\circ\text{С} < T_M < 30^\circ\text{С}]$.

Приняв продолжительность благоприятных температурных условий

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

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

3 Солнечная радиация. Для идентификации дней с безоблачной или малооблачной погодой используем в качестве критерия разницу максимальной и минимальной температуры воздуха. Пороговое значение критерия ($\Delta T_{R'}$) 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.

Анализ влияния температурного режима фенологических фаз вегетации риса на продуктивность производственных посевов. Предварительная обработка рядов данных о максимальной и минимальной суточной температуре воздуха позволила сформировать выборки производных температурных характеристик, накопленных или осредненных за фазу вегетации, учитывающих динамику суточного хода температуры воздуха. По каждой фенологической фазе проведен расчет коэффициентов двухфакторной квадратичной регрессии, связывающей урожайность риса с представленными в таблице 2 характеристиками температурного режима.

Таблица 2 – Значения коэффициентов квадратичной регрессии

Фаза развития	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	c	R	R^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Посев – прорастание: F^{P^+}, F^{P^-}	5,79	–1,6	0,02	0,003	–0,02	249,6	<u>0,76</u>	0,58
Всходы: F^{P^+}, F^{P^-}	1,93	–3,8	0,003	0,005	–0,006	734,7	<u>0,88</u>	0,77

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кущение: F^{P^+} , $R^{\prime}$	–0,07	1,1	–0,0001	–0,12	0,01	71,4	<u>0,59</u>	0,35
Выход в трубку: F^{P^+} , $F^M(T)$	–1,75	–40,7	0,0008	0,48	0,05	796,1	<u>0,90</u>	0,82
Выметывание – созревание (уборка урожая): F^{P^+} , F^{P^-}	12,12	–20,2	0,005	0,016	–0,01	6350,7	<u>0,53</u>	0,28

Уравнение квадратичной регрессии имеет вид [10]:

$$Y = c + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_1^2 + a_4 \cdot x_2^2 + a_5 \cdot x_1 \cdot x_2,$$

где Y – урожайность, ц/га;

c , a_1 , a_2 , ..., a_5 – коэффициенты регрессии.

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

вариант 1		вариант 2		вариант 3	
x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
F^{P^+}	F^{P^-}	F^{P^+}	$F^M(T)$	F^{P^+}	$R^{\prime}$

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

- посев – прорастание: вариант 1 ($R = 0,76$ и $R^2 = 0,58$);
- всходы: вариант 1 ($R = 0,88$ и $R^2 = 0,77$);
- кущение: вариант 3 ($R = 0,59$ и $R^2 = 0,35$);
- выход в трубку: вариант 2 ($R = 0,90$ и $R^2 = 0,82$);
- выметывание – созревание (уборка урожая): вариант 1 ($R = 0,53$ и $R^2 = 0,38$).

В представленных первых трех регрессиях хорошо прослеживается положительное влияние высокой температуры F^{P^+} , накопленной за фазы прорастания, всходов, кущения, в сочетании с любым другим фактором – с ростом суммы высоких температур растет урожайность, но имеем низ-

кую значимость построенных уравнений регрессии. 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 (рисунок 2). При этом коэффициенты корреляции и детерминации сравнительно высокие и составляют 0,90 и 0,82, что свидетельствует о приемлемой достоверности результата (таблица 3).

Рисунок 2 – График зависимости урожайности риса от накопленной суммы температур воздуха выше 25 °С (F^{P+}) в градусо-днях и показателя морфогенеза ($F^M(T)$) для фазы выхода в трубку

Таблица 3 – Координаты точек максимума и минимума полученных регрессионных зависимостей в границах действительных значений функции (урожайность) и факторов

Координата особой точки	Посев – проращивание			Всходы			Кущение		
	У	F^{P+}	F^{P-}	У	F^{P+}	F^{P-}	У	F^{P+}	R^I
max	> 100	68	250	> 80	150	300	> 70	280	18
min	65	20	310	60	85	380	40	130	25

Продолжение таблицы 3

Координата особой точки	Выход в трубку			Выметывание – созревание		
	У	F^{P+}	$F^M(T)$	У	F^{P+}	F^{P-}
max	> 95	250	18	> 100	300	950
min	65	315	18	60	450	800

Анализ влияния колебаний температурного режима и солнечной радиации по фенологическим фазам развития риса. При выполнении анализа влияния колебаний и перепадов температурного режима и доли солнечных дней за время прохождения фаз вегетации использовали регрессию в виде произведения степенных функций. Уравнение искомой зависимости имеет вид:

$$Y = c \cdot x_1^{a_1} \cdot x_2^{a_2} \cdot \dots \cdot x_n^{a_n}, \quad (5)$$

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

Для линейной функции, полученной путем логарифмирования обеих частей уравнения (5), методом наименьших квадратов определим коэффициенты регрессии.

Используемые 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 используемых в расчетах выборок позволяет оценить вклад каждого фактора в величину урожайности с учетом статистической значимости, определяемой коэффициентами корреляции и детерминации для полученной регрессии.

По результатам расчетов (таблица 4) отобраны информативные регрессии, среди которых оказались варианты расчетов по колебанию температуры выше 25 °С и показателю солнечной радиации ($R = 0,68$ и $R = 0,67$).

Представленные в таблице 4 результаты расчета вклада вариаций температур, накопленных по фазам развития, имеют низкую значимость, наибольшая реакция прослеживается на накопленные низкие температуры

(ниже 25 °С) против колебаний сумм высоких температур и количества солнечных дней за фазу.

Таблица 4 – Результаты регрессионного анализа вариантов факторных зависимостей урожайности от вариаций температурного режима и солнечной радиации

Фактор	Значение коэффициента регрессии					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 %	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 %	1,12	3,37	3,82	2,70	1,35	87,6		
R'	0,01	–0,08	–0,07	–0,05	0,11	4,24	<u>0,67</u>	0,45
Вклад фактора в %	0,22	1,75	1,54	1,10	2,41	92,8		

На следующем этапе проведен аналогичный анализ сравнительного влияния вариаций различных факторов, отличающийся тем, что для каждой фазы использован свой фактор, который показал наиболее достоверное влияние на урожайность согласно выполненным ранее оценкам (таблицы 2 и 3).

Установленные в расчетах парных комбинаций квадратичных регрессионных зависимостей коэффициенты корреляции и детерминации служили критериями для назначения отдельного изучаемого фактора для каждой в отдельности фазы вегетации. Все остальные операции, связанные с расчетами и анализом, сохранены. Результаты расчетов представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты регрессионного анализа наиболее информативных вариантов факторных зависимостей по фазам развития

Вариант расчета	Фаза					c	R	R^2
	Посев – прорастание	Всходы	Кущение	Выход в трубку	Выметывание – созревание			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вариант 1	F^{P+}	F^{P+}	R'	R'	F^{P-}			
Коэффициенты регрессии	0,01	–0,04	–0,18	–0,10	–0,36	4,49	0,85	0,72
Вклад фактора в %	0,27	0,71	3,47	1,94	6,98	86,6		

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вариант 2	F^{P+}	F^{P+}	R'	R'	$F^M(T)$			
Коэффициенты регрессии	0,02	–0,04	–0,26	–0,13	0,49	4,49	0,89	0,79
Вклад фактора в %	0,30	0,83	4,82	2,45	8,95	82,6		
Вариант 3	F^{P+}	F^{P+}	R'	$F^M(T)$	$F^M(T)$			
Коэффициенты регрессии	0,02	–0,03	–0,15	0,03	0,36	4,33	0,80	0,64
Вклад фактора в %	0,37	0,70	3,02	0,61	7,36	87,9		

Выводы. Применение аппарата математической статистики, регрессионного и дисперсионного анализа позволяет выявить отдельные закономерности влияния природных и антропогенных факторов на процессы формирования урожая сельскохозяйственных культур на основе производственных информационных материалов.

С помощью разноплановых регрессионных уравнений показана чувствительность культуры по месяцам вегетации к температурному режиму.

Анализ показал, что естественные колебания температурных условий вызывают варьирование урожайности в целом по региону оросительных систем до 8–10 %, а на отдельных полях это влияние может достигать и больших значений. Решить эту проблему можно с помощью многоцелевого использования поливной воды, оптимизации режима орошения, обеспечивающего более благоприятный температурный режим для каждой конкретной фазы развития растений.

Выполненные исследования показывают возможное направление дальнейшего совершенствования агротехники риса, нуждающейся в согласовании сортовых требований культуры с гидротермическим режимом в течение всего периода вегетации и сопряжении режима орошения с метеорологическими и агрометеорологическими условиями. Такой подход может быть реализован на основе эколого-физиологических характеристик сорта

и применения динамических агрофизических моделей формирования условий для получения высокой урожайности.

Список источников

1. 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>.
2. Попов В. А., Островский Н. В. Агроклиматология и гидравлика рисовых экосистем: монография. Краснодар: КубГАУ, 2013. 189 с.
3. Рау А. Г., Бакирова А. Ш. Влияние температуры слоя воды рисовых чеков на урожайность риса // *Рисоводство*. 2019. № 2(43). С. 48–51.
4. Зеленский Г. Л. Морфо-биологическое обоснование агротехники риса // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]*. 2012. № 77(03). С. 631–666. URL: <http://ej.kubagro.ru/2012/03/pdf/98.pdf> (дата обращения: 01.08.2021).
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. 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. DOI: 10.1088/1755-1315/577/1/012005.
8. Сонде Т. А. Особенности режима орошения и азотного питания сортов риса, возделываемых на лугово-черноземных почвах Северного Кавказа: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.09. Краснодар, 2006. 27 с.
9. Коровин А. И. Растения и экстремальные температуры. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 271 с.
10. Фёрстер Э., Рёнд Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. М.: Финансы и статистика, 1981. 302 с.

References

1. Buber A.L., Bondarik I.G., Buber A.A., 2019. Development of approaches to water resources management in the Lower Kuban to ensure water user requirements in low-water years. *Irrigation and Drainage*, vol. 69, iss. 1, pp. 3-10, <https://doi.org/10.1002/ird.2387>.
2. Popov V.A., Ostrovsky N.V., 2013. *Agroklimatologiya i gidravlika risovykh ekosistem: monografiya* [Agroclimatology and Hydraulics of Rice Ecosystems: monograph]. Krasnodar, KubGAU Publ., 189 p. (In Russian).
3. Rau A.G., Bakirova A.Sh., 2019. *Vliyanie temperatury sloya vody risovykh chekov na urozhaynost' risa* [Temperature impact of water layer in rice checks on rice yield]. *Risovodstvo* [Rice Growing], no. 2(43), pp. 48-51. (In Russian).
4. Zelenskiy G.L., 2012. [Morpho-biological substantiation of rice agrotechnology]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU: politematicheskiy setevoy elektronnyy zhurnal*, no. 77(03), pp. 631-666, available: <http://ej.kubagro.ru/2012/03/pdf/98.pdf> [accessed 01.08.2021]. (In Russian).
5. Malysheva N.N., Ryabtsev P.V., Murasheva A.S., 2018. *K voprosu ratsional'nogo*

vodopol'zovaniya pri oroshenii v Krasnodarskom krae [The issue of rational water use in irrigation in Krasnodar Territory]. *Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovatsii: XV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Fundamental and Applied Scientific Research: Topical Issues, Achievements and Innovations: Proc. XV International Scientific-Practical Conference]. Penza, pp. 93-96. (In Russian).

6. Malysheva N.N., Garkusha S.A., 2017. *K voprosu razvitiya melioratsii na Kubani* [On the development of land reclamation in the Kuban]. *Novye tendentsii razvitiya sel'skokhozyaystvennykh nauk: sbornik nauchnykh trudov po materialam IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [New Tendencies in the Development of Agricultural Sciences: Proc. of the Materials of IV International Scientific-Practical Conference]. Rostov-on-Don, pp. 21-23. (In Russian).

7. Dobrachev Y.P., Fedotova E.V., 2020. 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, DOI: 10.1088/1755-1315/577/1/012005.

8. Sonde T.A., 2006. *Osobennosti rezhima orosheniya i azotnogo pitaniya sortov risa, vozdel'yaemykh na lugovo-chernozemnykh pochvakh Severnogo Kavkaza. Avtoreferat diss. kand. s.-kh. nauk* [Features of the irrigation regime and nitrogen nutrition of rice varieties cultivated on meadow chernozem soils of the North Caucasus. Abstract of cand. agri. sci. diss.]. Krasnodar, 27 p. (In Russian).

9. Korovin A.I., 1984. *Rasteniya i ekstremal'nye temperatury* [Plants and Extreme Temperatures]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 271 p. (In Russian).

10. Förster E., Rönz B., 1981. *Metody korrelyatsionnogo i regressionnogo analiza* [Methods of Correlation and Regression Analysis]. Moscow, Finance and Statistics Publ., 302 p. (In Russian).

Информация об авторе

Е. В. Федотова – младший научный сотрудник, аспирант.

Information about the author

E. V. Fedotova – Junior Researcher, Postgraduate Student.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 26.07.2021; одобрена после рецензирования 27.10.2021; принята к публикации 10.11.2021.

The article was submitted 26.07.2021; approved after reviewing 27.10.2021; accepted for publication 10.11.2021.