

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-3-21-29>

УДК 633.18(470.62)



## АСПЕКТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ РИСА В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ

С.Д. Исаева, Е.Л. Раткович ✉

ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»; 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, к. 2, Россия

**Аннотация.** Стандартная технология полива рисовых чеков затоплением является наиболее водоемкой. Экономическая эффективность мелиоративных проектов может быть рассчитана только на основе многофакторного анализа влияния ирригационно-хозяйственных факторов при возделывании риса на его продуктивность. Объектом исследований являлся участок Петровско-Анастасиевской оросительной системы в Краснодарском крае. В числе варьируемых переменных выбраны сорт риса, способ посева, глубина заделки семян, режим орошения. Соблюдение севооборота, внесение удобрений, роль режима поливов в разные фазы развития растений риса, ряд других факторов на данном этапе исследований не рассматривались. Цель исследований заключалась в разработке методики расчета оптимальной оросительной нормы, обеспечивающей наибольший экономический эффект возделывания риса с учетом сортовых особенностей культуры и способа посева в условиях Краснодарского края. Для решения задач была разработана версия программного модуля в среде Excel, позволяющая определять величину оросительной нормы и набор названных выше факторов, приводящих к наиболее экономичному решению и соответствующим проектным рекомендациям. В качестве базовой зависимости урожайности от оросительной нормы принята кривая Пирсона I-го типа с параметрами, подбираемыми на основании материалов полевых и лабораторных исследований. В режиме имитационного моделирования рассмотрены три действующих фактора: режим орошения, способ посева риса, сорт риса. Минимальный набор сценариев, оставленных для моделирования ситуации, составил 18 вариантов, что привело в рассмотренном примере к оросительной норме около 20 тыс. м<sup>3</sup>/га в условиях комбинированного орошения среднеспелых сортов риса. Направление дальнейших исследований связано с обоснованием функций продуктивности, расширением числа факторов влияния и уточнением удельных технико-экономических показателей.

**Ключевые слова:** многофакторный анализ, полив рисовых чеков затоплением, кривая Пирсона I-го типа, комбинированное орошение, оросительная норма, сорт риса, способ посева

**Формат цитирования:** Исаева С.Д., Раткович Е.Л. Аспекты оптимизации факторов, влияющих на продуктивность риса в Краснодарском крае // Природообустройство. 2025. № 3. С. 21-29. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-3-21-29>

Original article

## ASPECTS OF OPTIMIZATION OF FACTORS AFFECTING RICE PRODUCTIVITY IN THE KRASNODAR TERRITORY

S.D. Isaeva, E.L. Ratkovich ✉

N. Kostyakov Federal State Budgetary Scientific Research Center VNIIGiM, 44 Bolshaya Akademicheskaya str., room 2, Moscow, 127434, Russia

**Abstract.** The standard technology of irrigation of rice paddies by flooding is the most water-intensive. The economic efficiency of land reclamation projects can be calculated only on the basis of a multifactorial analysis of the impact of irrigation and economic factors in rice cultivation on its productivity. The object of research was a section of the Petrovsko-Anastasievskaya irrigation system in the Krasnodar Territory. The rice variety, the method of sowing, the depth of seed embedding, and the irrigation regime were selected as the variables. Crop rotation, fertilization, the role of irrigation regime in different phases of rice plant development, and a number of other factors were not considered at this stage of the research. The purpose of the research was to develop a methodology for calculating the optimal irrigation rate, which ensures the greatest economic effect from rice cultivation, considering the rice paddy fields flooding regime, varietal characteristics of the crop and the method of sowing in the Krasnodar Territory. To solve this problem, an Excel version of the software module was developed, which allows determining the irrigation rate and a set of the above-mentioned factors leading to the most cost-effective solution and appropriate design recommendations. The Pearson curve of type I with parameters selected based on field and laboratory research materials was adopted as the basic

dependence of yield on irrigation rate. In the simulation mode, three operating factors are considered: the irrigation regime; the method of sowing rice, and the rice variety. The minimum set of scenarios left for modeling the situation was 18 variants, which led in the considered example to an irrigation rate of about 20 thousand m<sup>3</sup>/ha under conditions of combined irrigation of medium-ripened rice varieties. The direction of further research is related to the substantiation of basic dependence of yield on irrigation rate, the expansion of the number of influencing factors and the refinement of single cost indicators.

**Keywords:** multifactorial analysis, irrigation of rice paddies fields by flooding, Pearson curve type I, combined irrigation, irrigation rate, rice variety, sowing method

**Format of citation:** Isaeva S.D., Ratkovich E.L. Aspects of optimization of factors affecting rice productivity in the Krasnodar Territory // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 3. P. 21-29. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-3-21-29>

**Введение.** Возделывание риса требует наибольшего среди сельскохозяйственных культур объема водных ресурсов для орошения при стандартной технологии полива затоплением. Экономическая целесообразность эксплуатации оросительных систем определяется совокупностью затрат на реализацию агротехнологических приемов, орошения и других мелиоративно-хозяйственных мероприятий и, соответственно, дополнительным доходом благодаря их проведению.

Более 80% производства риса в России приходится на Краснодарский край, где были проведены исследования. Средняя урожайность риса в России в производственных условиях оценивается в 50-60 ц/га, но в ряде стран может превышать 100 ц/га, как в Австралии и в Египте [1].

Проведенные исследования направлены на анализ влияния ирригационно-хозяйственных факторов (прежде всего орошения) на продуктивность риса при его возделывании. Практическое приложение исследований – это совершенствование проектных решений для повышения урожайности культуры с учетом особенностей системы. Объектом исследований является участок Петровско-Анастасиевской оросительной системы (ПАОС) в Краснодарском крае (рис. 1). В качестве факторов влияния на урожайность выбраны режим орошения, способ посева, сорт риса, глубина заделки семян. Для упрощения постановки цели и решения задач на первом этапе исследований выполнена определенная схематизация, при которой вне рассмотрения оставлены такие действующие факторы, как соблюдение севооборота, внесение удобрений, относительное снижение урожайности во второй год эксплуатации чека, роль режима поливов в разные фазы развития растений риса.

**Цель исследований:** разработка методики расчета оптимальной оросительной нормы, обеспечивающей наибольший экономический эффект возделывания риса, с учетом сортовых особенностей культуры и способа посева в условиях Краснодарского края.

Для достижения цели и решения задач была разработана предварительная версия программного модуля в среде Excel, позволяющая получать необходимые величины оросительной нормы при разных хозяйственных факторах, определяющих проектные рекомендации.

#### **Материалы и методы исследований.**

Величина оросительной нормы является одним из основных факторов урожайности и подлежит оптимизации. В общем случае величина оросительной нормы рассчитывается исходя из дефицита водного баланса сельскохозяйственных культур с учетом региональных особенностей объекта и вида культуры [2]. В разных источниках при математическом описании зависимости урожайности от нормы орошения применяются различные методические приемы. В предлагаемой методике в качестве базовой зависимости урожайности от оросительной нормы  $Y = f(M)$  принята кривая Пирсона I-го типа с параметрами, подбираемыми на основании материалов полевых и лабораторных исследований. В данном случае для подбора параметров функций урожайности использовались материалы обоснования рациональных режимов водоподачи на рисовых системах Нижней Кубани [3, 4].

Многолетние исследования ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» показали, что в Краснодарском крае основными при посеве риса являются разбросной, рядовой, перекрестный и перекрестно-диагональный способы. Указанные способы также могут быть дифференцированы по глубине заделки семян. Нужно отметить, что приводимые в различных публикациях абсолютные цифры урожайности в зависимости от оросительной нормы существенно разнятся. В связи с этим для моделирования выполнен анализ не абсолютных значений урожайности, а соотношения их величин при разных способах посева. Например, по Краснодарскому краю соотношение урожайности при перекрестном, рядовом и разбросном способах посева можно примерно представить как 0,8:0,9:1,00 соответственно, что подлежит уточнению с учетом

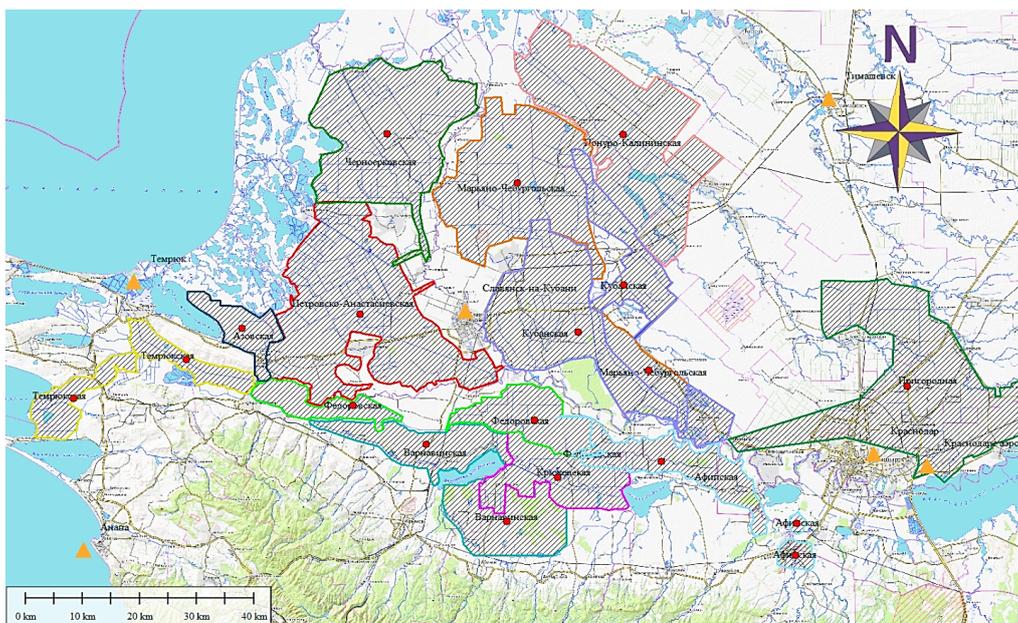


Рис. 1. Местоположение Петровско-Анастасиевской оросительной системы

Fig1. Location of the Petrovsko-Anastasievskaya irrigation system

сложившейся практики рисосеяния. Фактически в регионе применяются главным образом разбросной и рядовой способы [5].

Важным фактором урожайности в конкретных природно-хозяйственных условиях является сорт риса. В то же время многообразие сортов затрудняет объективную оценку предпочтений без дополнительных исследований с учетом природно-климатических и хозяйственных условий региона. Поэтому соотношение урожайности в зависимости от сортовой принадлежности принято в работе в упрощенной форме по двум сортовым группам риса: среднеспелой (занимает в посевах более 75%) и среднепозднеспелой. Роль группы риса в формировании урожайности неодинаково проявляется в многообразных агроэкологических условиях. При выборе сортов и определении их оптимального соотношения в структуре севооборота необходимо учитывать в первую очередь конкретные условия возделывания культуры.

Достаточно объективный подход с точки зрения многофакторного анализа урожайности представлен в работе [6]. По аналогии с предложенным в ней подходом рассмотрены три действующих фактора: режим орошения (постоянное затопление, укороченный режим затопления и комбинированное орошение); способ посева риса (разбросной, рядовой, перекрестный), сорт риса (среднеспелый и среднепозднеспелый).

В модели не учитывается такой важный фактор, как структура севооборота, поскольку ее обоснование является отдельной задачей со своими особенностями. Предлагаемая методика соответствует возделыванию монокультуры, однако

в процессе дальнейших исследований предполагается внесение дополнительных методических изменений в решения, связанные с рассмотрением рисового севооборота.

Минимальный набор сценариев, оставленных нами для моделирования ситуации, составил 18 вариантов. Число вариантов, закладываемых в модель, в дальнейшем будет увеличиваться по мере накопления материалов для количественной оценки роли факторов в формировании урожайности.

*Моделирование функции урожайности риса в зависимости от оросительной нормы.* Установлено, что кривая урожайности, или, в относительных координатах, кривая продуктивности, по форме соответствует функции плотности распределения вероятностей – таких, как  $\beta$ - и  $\gamma$ -распределения. Оба распределения принадлежат семейству кривых Пирсона, I и III типов соответственно. Решение с применением кривой Пирсона I типа для этих целей в свое время было реализовано В.В. Шабановым [7] как достаточно хорошо соответствующее теоретической гипотезе и экспериментальным данным. Мода распределения соответствует оптимальной оросительной норме, значение которой смещается с изменением режима орошения. Принимая данный методический прием за основу, вводим в функцию относительной продуктивности риса описанные выше пропорции по урожайности в зависимости от способа полива, и сокращаем нормы при переходе от комбинированного орошения (с наибольшей ординатой оптимума) к укороченному режиму и постоянному затоплению. Подбор параметров

функции распределения и масштабных коэффициентов определил начальные искомые зависимости, которые скорректированы с помощью коэффициентов, отражающих режим орошения, величину оросительной нормы и способ посева (табл. 1, 2, рис. 2). Параметры функций, как уже отмечено, подобраны по материалам проекта Петровско-Анастасиевской оросительной системы (ПАОС), в котором авторы принимали участие в смежных исследованиях по разработке гидродинамической модели объекта [8].

Разумеется, анализируемые зависимости подлежат уточнению для конкретного проекта, но такого рода исследования выходят за рамки статьи. В то же время уточнение параметров функции урожайности в зависимости от действующих факторов предусмотрено в модели расчета по мере накопления материала.

Расчетные формулы, заложенные в программном модуле, приводятся ниже:

$Y$  – потенциальная урожайность, т/га;

$Y_{\max}$  – максимальная урожайность в зависимости от режима затопления, т/га;

$$S(m) = \frac{1}{I(\alpha, \beta)} \cdot m^{\alpha-1} \cdot (1-m)^{\beta-1}; \quad (1)$$

$$I(\alpha, \beta) = \int_0^1 m^{\alpha-1} \cdot (1-m)^{\beta-1} dm; \quad (2)$$

$m = \frac{M}{M_{\max}}$  – относительная оросительная норма в долях максимальной теоретической нормы орошения;  $S(m) = \frac{Y}{Y_{\max}}$  –

относительная продуктивность  $\rightarrow Y = S(m) \cdot Y_{\max}$ ;  $\alpha, \beta$  – формальные параметры бета-функции, подобранные для условий Петровско-Анастасиевской оросительной системы.

Различие в показателях продуктивности для разных сценариев достигается заданием соответствующих коэффициентов, определенных таблицами 1, 2 и графиками рисунка 2. Функции, указанные в формулах (1) и (2), рассчитываются с помощью встроенного в Excel набора статистических функций.

*Модель выбора оптимального сценария возделывания риса в зависимости от совокупности влияющих факторов.* Очевидно, что выбор наиболее выигрышного варианта невозможен без установленной системы критериев. Применение многокритериальной оптимизации на данном этапе сочли нецелесообразным в силу недостаточной информационной базы. Поэтому в качестве единственного критерия (функционала целевой функции) использован максимум ежегодного чистого дохода (ЕЧД). Учет дисконтирования ЕЧД в данном случае не влияет на результат решения. Удельные финансово-экономические стоимостные показатели приняты с ориентацией на работы [9-11]. Отметим, что для предлагаемой нами методики абсолютные цифры данных являются непринципиальными, поскольку их замена в программном модуле не представляет труда. Ниже приводятся расчетные формулы для оценки экономической эффективности по значению ЕЧД:

$$ЕЧД = CP - EZ, \text{ руб.}; \quad (3)$$

$CP$  – стоимость урожая за вычетом затрат на реализацию риса, руб.;  $EZ$  – ежегодные затраты, руб.;

$$CP = Y \cdot F_{\text{оп}} \cdot t_r, \text{ руб.}; \quad (4)$$

$Y$  – фактическая урожайность, т/га;  $F_{\text{оп}}$  – площадь орошаемых земель, га;  $t_r$  – рыночная стоимость риса, руб/т;

**Таблица 1. Параметры функций урожайности риса (Y) в зависимости от режима орошения и оросительной нормы (M) по вариантам сценариев**

**Table 1. Parameters of rice yield functions (Y) depending on irrigation regime and irrigation rate (M) according to scenario options**

Краевые значения урожайности Y и оросительной нормы M <i>Marginal yield Y and irrigation rate values</i>		Параметры кривой Пирсона I типа <i>the Pearson curve parameters of type I</i>		Комбинированный режим <i>combined mode</i>	Укороченный режим <i>shortened mode</i>	Постоянное затопление <i>permanent flooding</i>
$Y_{\min} / Y_{\min}$	4,00	т/га / t / ha	A	6,000	2,500	1,585
$Y_{\max} / Y_{\max}$	12,00	т/га / t / ha	B	2,250	1,500	1,250
$M_{\min} / M_{\min}$	10,00	тыс. м <sup>3</sup> /га <i>ths m<sup>3</sup> / ha</i>	$\mu$ – мода распределения <i><math>\mu</math> – distribution mode</i>	0,800	0,750	0,701
$M_{\max} / M_{\max}$	25,00	тыс.м <sup>3</sup> /га <i>ths m<sup>3</sup> / ha</i>				
$M_{\text{опт-комб}} / M_{\text{opt-comb}}$	20,00	тыс.м <sup>3</sup> /га <i>ths m<sup>3</sup> / ha</i>	соотношение урожайностей <i>yield ratio</i>	1,000	0,817	0,500
$M_{\text{опт-укор}} / M_{\text{opt-short.}}$	18,75	тыс.м <sup>3</sup> /га <i>ths m<sup>3</sup> / ha</i>				

Таблица 2. Расчетные координаты функций относительной урожайности  $S$  ( $S = Y/Y_{\max}$ ) и урожайности  $Y$  риса в зависимости от режима орошения и оросительных норм  
 Table 2. Calculated coordinates of the relative productivity functions  $S$  ( $S = Y/Y_{\max}$ ) and yield  $Y$  of rice paddies depending on irrigation regime and irrigation rate

Совмещенные кривые относительной продуктивности риса ( $S$ ) при различных режимах орошения Combined curves of the relative rice productivity ( $S$ ) under different modes of irrigation				Совмещенные кривые урожайности риса $Y$ (ц/га) в зависимости от оросительной нормы (тыс. м <sup>3</sup> /га) при различных режимах орошения Combined curves of the rice yield $Y$ (c/ha) depending on the irrigation rate (thousand m <sup>3</sup> /ha) under different modes of irrigation			
$m = M/M_{\max}$	$S_{\text{комб}}$	$S_{\text{част}}$	$S_{\text{пост}}$	$M$	$Y_{\text{комб}}$	$Y_{\text{част}}$	$Y_{\text{пост}}$
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
0,050	0,000	0,027	0,142	1,25	0,00	3,29	17,09
0,100	0,000	0,075	0,211	2,50	0,02	9,06	25,30
0,150	0,001	0,135	0,263	3,75	0,17	16,17	31,61
0,200	0,006	0,201	0,307	5,00	0,66	24,15	36,84
0,250	0,016	0,272	0,344	6,25	1,87	32,68	41,31
0,300	0,036	0,346	0,376	7,50	4,26	41,50	45,17
0,350	0,070	0,420	0,404	8,75	8,39	50,40	48,53
0,400	0,123	0,493	0,429	10,00	14,81	59,16	51,43
0,450	0,199	0,563	0,449	11,25	23,93	67,58	53,91
0,500	0,300	0,629	0,467	12,50	35,98	75,47	55,99
0,550	0,423	0,688	0,481	13,75	50,79	82,60	57,66
0,600	0,564	0,739	0,491	15,00	67,73	88,74	58,91
0,700	0,851	0,807	0,500	17,50	102,17	96,84	60,00
0,750	0,957	0,817	0,497	18,75	114,86	98,04	59,69
0,800	1,000	0,805	0,489	20,00	120,00	96,60	58,62
0,850	0,945	0,764	0,471	21,25	113,41	91,63	56,52
0,900	0,758	0,679	0,440	22,50	90,92	81,51	52,81
0,950	0,417	0,521	0,382	23,75	50,09	62,50	45,84
0,999	0,004	0,079	0,148	24,98	0,48	9,53	17,75

$$EZ = CB + СП; \quad (5)$$

$$CB = t_w \cdot M \cdot F_{op}; \quad СП = t_{noc} \cdot n_{выс} \cdot F_{op}$$

$CB$  – стоимость водопада, руб.;  $t_w$  – стоимость подачи одного кубометра, руб/м<sup>3</sup>;  $СП$  – стоимость посева, руб.;  $t_{noc}$  – стоимость посева с учетом стоимости семян, руб/т;  $n_{выс}$  – норма высева, т/га.

Формулируем задачу оптимизации в общей постановке: найти оптимальные значения переменных  $M, i, j, k$ , при которых ежегодный чистый доход ( $EЧД$ ), зависящий от урожайности  $Y$ , достигает максимума.

Константы:

$$F_{op}, t_p, t_w, t_{noc}, n_{выс}.$$

Управляемые (варьируемые) переменные:  $M$  – непрерывная переменная (оросительная норма);  $M_{\min} \leq M \leq M_{\max}$ ;  $i, j, k$  – дискретные целочисленные переменные, набор которых определяет свою функцию урожайности;  $i \in \{1, 2, 3\}$  – индекс режима орошения;  $j \in \{1, 2, 3\}$  – индекс способа посева;  $k \in \{1, 2\}$  – индекс сорта

Целевая функция (функционал):

$$EЧД = f(Y(i, j, k, M)) \rightarrow \max.$$

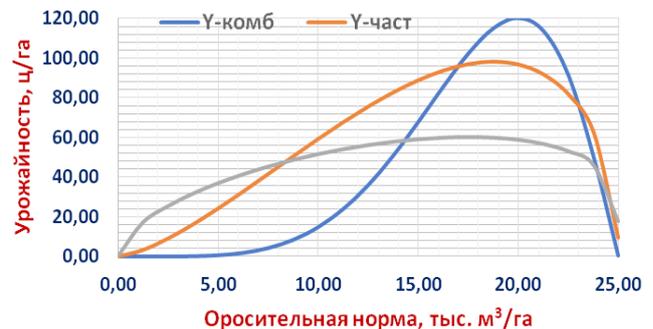


Рис. 2. Кривые урожайности риса на Петровско-Анастасиевской оросительной системе

Fig. 2. Curves of rice yields on the Petrovsko-Anastasievskaya irrigation system

Алгоритм модели сводится к вычислению максимального ежегодного чистого дохода для каждого из 18 рассмотренных сценариев с определением глобального оптимума и построением зависимости максимального  $EЧД$  от оросительной нормы  $M$ . В условиях дефицита водных ресурсов возможны компромиссные решения, не являющиеся самыми экономически выигрышными.

Решением задачи являются: режим орошения; значение оросительной нормы; способ посева; группа сортов риса.

Результаты моделирования представлены в таблице 3.

Стоимостные показатели во многом условны, поскольку их значения будут уточняться вместе с расширением перечня факторов влияния.

В работе выполнен цикл расчетов в имитационном режиме поиска варианта с максимальной величиной ЕЧД. Оптимизация осуществляется методом «обобщенного понижающего градиента» для гладких нелинейных задач посредством процедуры поиска решения «Solver».



Рис. 3. Анализирующая кривая – функция ЕЧД = f (M)

Fig. 3. Analysis curve – EFR function = f (M)

Таблица 3. Параметры модельного расчета

Table 3. Model calculation parameters

Показатели <i>Indicators</i>	Режим орошения / <i>Irrigation regime</i>		
	Комбинированный режим (i = 1) <i>Combined mode (i = 1)</i>	Укороченный режим (i = 2) <i>Shortened mode (i = 2)</i>	Постоянное затопление (i = 3) <i>Permanent flooding (i = 3)</i>
Орошаемая площадь участка исследований ПАОС, га <i>Irrigated area of the PAOS study site, ha</i>	135	135	135
Максимальные значения урожайности, тыс. м <sup>3</sup> /га <i>Maximum yield values, thousand m<sup>3</sup>/ha</i>	12,000	9,804	6,000
Коэффициенты сокращения максимальной урожайности при разных режимах орошения <i>Coefficients of maximum yield reduction under different regimes of irrigation</i>	1,000	0,817	0,500
Коэффициенты сокращения урожайности в зависимости от способа посева <i>Coefficients of yield reduction depending on the sowing method</i>	Способы посева / <i>Methods of sowing</i>		
	Разбросной <i>broadcast</i>	Рядовой <i>drill</i>	Перекрестный <i>cross</i>
	1,00	0,90	0,80
Стоимость водоподачи, установленная на 2025 год, руб. / м <sup>3</sup> , <i>Cost of water supply established for 2025, rubles / m<sup>3</sup></i>	3,05	3,05	3,05
Коэффициенты сокращения урожайности в зависимости от сорта риса <i>Coefficients of yield reduction depending on the rice variety</i>	Сорта семян / <i>Varieties of seeds</i>		
	Среднепозднеспелый <i>Mid ripening</i>	среднепозднеспелый <i>late ripening</i>	
	1,00	0,75	
Норма высева, т/га / <i>Sowing rate, kg / ha</i>	0,240	0,240	0,240
Стоимость посева, включая стоимость семян – тыс. руб./т (принято условно) <i>Cost of sowing, including cost of seeds – thousand rubles / t (accepted conditionally)</i>	50,0	60,0	80,0
Задаваемая оросительная норма (при посеве с заделкой семян) до моделирования, м <sup>3</sup> /га <i>The defined irrigation rate (under sowing with seeds embedding) up to modeling, m<sup>3</sup>/ha</i>	10 000		
Рыночная стоимость риса, тыс. руб./т <i>Selling price of rice, thousand rubles / t</i>	90		
Стоимость реализации продукции в % от цены (принята условно) <i>Cost of sales of produce in % from the price</i>	20		
Оптимальная оросительная норма (результат моделирования), м <sup>3</sup> /га <i>Optimal irrigation rate (result of modeling), m<sup>3</sup>/ha</i>	19389		

По результатам расчетов построена анализирующая зависимость (рис. 3).

Как следует из данных таблицы 3 и рисунка 3, оптимальный вариант соответствует оросительной норме 19390 м<sup>3</sup>/га, при котором

получена урожайность 11,87 т/га в случае комбинированного орошения с перекрестным способом посева среднеспелых сортов риса. Расчетный листинг программного модуля представлен в таблице 4.

Таблица 4. Расчетный листинг модели

Table 4. Model calculation listing

№ сценария	Режим орошения	Максимальная урожайность, т/га	Способ посева	Урожайность с учетом способа посева, т/га	Сорт риса	Урожайность с учетом сорта, т/га	Стоимость водоподачи на 1 га, тыс. руб.	Стоимость посева, тыс. руб/га	Итого ежегодные затраты, тыс. руб	Цена урожая Д, тыс. руб	Чистый доход, тыс. руб.	ЕЧД, тыс. руб. с 1 га	ЕЧД, млн руб.
1	Постоянное затоплен	5,870	Разбросной	5,870	Среднеспелый	5,870	60,83	12,000	72,826	528,305	422,644	349,818	47,23
2			Разбросной	5,870	Среднепозднесп.	4,403	60,83	12,000	72,826	396,229	316,983	244,157	32,96
3			Рядовой	5,283	Среднеспелый	5,283	60,83	12,000	72,826	475,474	380,379	307,553	41,52
4			Рядовой	5,283	Среднепозднесп.	3,962	60,83	12,000	72,826	356,606	285,285	212,458	28,68
5			Перекрестный	4,696	Среднеспелый	4,696	60,83	12,000	72,826	422,644	338,115	265,289	35,81
6			Перекрестный	4,696	Среднепозднесп.	3,522	60,83	12,000	72,826	316,983	253,586	180,760	24,40
7	Укороченный режим	9,674	Разбросной	9,674	Среднеспелый	9,674	60,83	12,000	72,826	870,627	696,502	623,676	84,20
8			Разбросной	9,674	Среднепозднесп.	7,255	60,83	12,000	72,826	652,970	522,376	449,550	60,69
9			Рядовой	8,706	Среднеспелый	8,706	60,83	12,000	72,826	783,565	626,852	554,025	74,79
10			Рядовой	8,706	Среднепозднесп.	6,530	60,83	12,000	72,826	587,673	470,139	397,312	53,64
11			Перекрестный	7,739	Среднеспелый	7,739	60,83	12,000	72,826	696,502	557,201	484,375	65,39
12			Перекрестный	7,739	Среднепозднесп.	5,804	60,83	12,000	72,826	522,376	417,901	345,075	46,59
13	Комбинированное орош	11,999	Разбросной	11,999	Среднеспелый	11,999	60,83	12,000	72,826	1079,952	863,962	791,135	106,80
14			Разбросной	11,999	Среднепозднесп.	9,000	60,83	12,000	72,826	809,964	647,971	575,145	77,64
15			Рядовой	10,800	Среднеспелый	10,800	60,83	12,000	72,826	971,957	777,566	704,739	95,14
16			Рядовой	10,800	Среднепозднесп.	8,100	60,83	12,000	72,826	728,968	583,174	510,348	68,90
17			Перекрестный	9,600	Среднеспелый	9,600	60,83	12,000	72,826	863,962	691,169	618,343	83,48
18			Перекрестный	9,600	Среднепозднеспелый	7,200	60,83	12,000	72,826	647,971	518,377	445,551	60,15

**Результаты и их обсуждение.** Повышение урожайности сельскохозяйственных культур наряду с экономией водных ресурсов неизменно является актуальной проблемой мелиорации. Для орошаемого земледелия решение задачи связано с одновременным учетом множества факторов, влияющих на эффективность проектирования и эксплуатации различных оросительных систем, в том числе искусственно затапливаемых рисовых чеков. Увеличение оросительных норм до определенных значений способствует повышению продуктивности, но характер зависимости обусловлен влиянием режима орошения, способа посева, сортом риса, агротехническими приемами возделывания, особенностями регионального агроменеджмента.

В работе предпринята попытка одновременного учета ряда факторов с выходом на наиболее оптимальный сценарий. В дальнейшем планируется расширить перечень факторов влияния и уточнить характер предложенных функций продуктивности риса. Затронутые в статье вопросы являются, на наш взгляд,

предметом научной дискуссии и в определенном смысле вписываются в стратегию «точного земледелия».

### Выводы

Функции продуктивности риса достаточно хорошо аппроксимируются кривыми Пирсона I-го типа, что способствует оптимизации оросительной нормы с учетом нескольких факторов влияния, таких, как режим орошения, способы посева, сорт риса.

На основании имитационного моделирования для условий ПАОС в Краснодарском крае наиболее оптимальным решением, исходя из полученной величины ЕЧД, оказалась технология возделывания риса, предусматривающая:

- комбинированный режим орошения;
- оросительную норму  $M = 20$  тыс.  $m^3$ /га;
- разбросной способ посева семян;
- использование среднеспелых сортов риса.

Направление дальнейших исследований связано с обоснованием функций продуктивности, расширением числа факторов влияния и уточнением удельных технико-экономических показателей.

### Список использованных источников

1. Барсукова Г.Н. Анализ отечественного и зарубежного опыта развития рисоводства / Г.Н. Барсукова, М.Д. Говердовская // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. 2022. № 4. DOI: 10.55186/02357801\_2022\_7\_4\_3. EDN: VYMPMPJ
2. Балакай Г.Т. К вопросу разработки норм водопотребности риса и водоотведения с рисовых оросительных систем. / Г.Т. Балакай, Л.М. Докучаева, Р.Е. Юркова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2018. № 3(31), С. 1-22. DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-1-22 EDN: XWARKP
3. Исаева С.Д. Научно обоснованные рекомендации по совершенствованию управления водопользованием в сельском хозяйстве в бассейнах рек Нижней Волги и Кубани в условиях дефицита водных ресурсов на основе использования современных информационно-аналитических и цифровых технологий / С.Д. Исаева, Э.Б. Дедова, А.Л. Бубер // Научно-технические достижения и разработки ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» (2016-2021 гг.): Сборник научных трудов. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, 2021. С. 67-69. EDN: MSMHBQ
4. Раткович Е.Л. Теоретические подходы к оптимизации водопользования на рисовых оросительных системах Нижней Кубани / Е.Л. Раткович, Ю.П. Добрачев, А.А. Бубер // Орошаемое земледелие. 2022. № 2(37). С. 18-22. DOI: 10.35809/2618-8279-2022-2-2. EDN: GHNHRG
5. Ладатко В.А. Влияние способов заделки рисовой соломы на урожайность риса / В.А. Ладатко, М.А. Ладатко // Рисоводство. 2019. № 1(42). С. 32-36. EDN: MHXNS
6. Тараненко В.В. Жизнеспособность и урожайность семян риса при разных способах посева и режимах орошения в условиях экологически безопасной технологии: специальность 06.01.05 «Селекция и семеноводство

### References

1. Barsukova G.N., Goverdovskaya M.D. Analysis of domestic and foreign experience of rice growing development / G.N. Barsukova, M.D. Goverdovskaya // International Journal of Applied Sciences and Technologies Integral. 2022. No. 4. DOI: 10.55186/02357801\_2022\_7\_4\_3. EDN: VYMPMPJ
2. Balakay G.T. On the issue of developing norms for water demand for rice and water disposal from rice irrigation systems. / G.T. Balakay, L.M. Dokuchaeva, R.E. Yurkova // Russian Research Institute for Land Reclamation Problems, Novochechensk, Russian Federation, Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems No. 3(31), 2018, P. 1-22. DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-1-22 EDN: XWARKP
3. Isaeva S.D. Scientifically based recommendations for improving water use management in agriculture in the Lower Volga and Kuban River basins in the context of water resources deficit based on the use of modern information, analytical and digital technologies / S.D. Isaeva, E.B. Dedova, A.L. Buber // Scientific and technical achievements and developments of the Federal State Budgetary Scientific Institution "VNIIGiM named after A.N. Kostyakov" (2016-2021): Collection of Scientific Works. Moscow: All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov, 2021. P. 67-69. EDN: MSMHBQ
4. Ratkovich E.L. Theoretical approaches to optimization of water use on rice irrigation systems of the Lower Kuban / E.L. Ratkovich Yu.P. Dobrachev, A.A. Buber // Irrigated agriculture. 2022. No. 2(37). P. 18-22. DOI: 10.35809/2618-8279-2022-2-2. EDN: GHNHRG
5. Ladatko V.A. The influence of rice straw incorporation methods on rice yield / V.A. Ladatko, M.A. Ladatko // Rice growing. 2019. No. 1(42). P. 32-36. EDN: MHXNS
6. Taranenko V.V. Viability and yield of rice seeds under different methods of sowing and irrigation regimes

сельскохозяйственных растений»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Тараненко Виктор Владимирович. – Краснодар, 2003. 24 с. EDN: NHKRKH

7. Шабанов Виталий Владимирович. Обоснование потребности в мелиорациях [Текст]: Автореферат дис. на соискание ученой степени доктора технических наук / Моск. гидромелиорат. ин-т. М.: [б. и.], 1969. 19 с.

8. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023622929. Цифровая информационная основа гидродинамической модели участка оросительной системы («ИП Фоменко», Краснодарский край): № 2023622694; заявл. 11.08.2023 / Е.Л. Раткович, А.А. Бубер, Ф.А. Каракулов, С.А. Филиппов; заявитель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова» (ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»). EDN: EAOVAC

9. Манжина С.А. Современные подходы к определению экономически обоснованной стоимости подачи воды на орошение / С.А. Манжина, Л.Н. Медведева // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 3(31). С. 148-170. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=556&id=566>. DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-148-170.

10. Полутина Т.Н. Ключевые тенденции и перспективы развития рисоводства в Краснодарском крае / Т.Н. Полутина, С.Ю. Губиева // Продовольственная безопасность: проблемы и пути решения: Сборник статей по материалам XVI Международной научно-практической конференции, Краснодар, 03-05 июня 2021 года. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2021. С. 155-161. EDN: KPFEUU

11. Мальшева Н.Н. Экономические аспекты производства риса на мелиоративных системах Краснодарского края / Н.Н. Мальшева, С.В. Кизинек // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 1(37). С. 200-216. DOI: 10.31774/2222-1816-2020-1-200-216. EDN: OINPUH

#### Об авторах

**Исаева София Давидовна**, д-р техн. наук, зав. отделом экосистемного водопользования и экономики; <http://orcid.org/0000-0001-9640-2191>; Scopus Author ID: 57193422572; SPIN-код: 3272-6924, AuthorID: 332517; isaeva7sofia@yandex.ru

**Раткович Евгений Львович**, соискатель, научный сотрудник отдела мелиоративно-водохозяйственного комплекса; <https://orcid.org/0000-0001-9408-760X>; Scopus Author ID: 57363124800; SPIN-код: 8356-6904, AuthorID: 1037469; [evgeniirat@mail.ru](mailto:evgeniirat@mail.ru)

#### Критерии авторства / Criteria of authorship

Исаева С.Д., Раткович Е.Л. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare that there are no conflicts of interest

#### Вклад авторов / Contribution of authors

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 06.03.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Received after peer review 12.05.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 12.05.2025

in the conditions of ecologically safe technology: speciality 06.01.05 “Selection and seed production of agricultural plants”: abstract of the dissertation for the degree of candidate of agricultural sciences / Taranenko Viktor Vladimirovich. – Краснодар, 2003. 24 p. EDN: NHKRKH

7. Shabanov Vitaly Vladimirovich. Substantiation of the need for land reclamation [Text]: Abstract of diss. for the scientific degree of doctor of technical sciences / Moscow. Hydromeliorative Institute, Moscow, 1969. 19 p.

8. Certificate of State Registration of the Database No 2023622929. Digital Information Basis of the Hydrodynamic Model of the Irrigation System Section (“IP Fomenko”, Krasnodar Territory): No 2023622694: application. 11.08.2023 / E.L. Ratkovich, A.A. Buber, F.A. Karakulov, S.A. Filippov; applicant: Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov” (FSBI “VNIIGiM named after A.N. Kostyakov”). EDN: EAOVAC

9. Manzhina S.A. Modern approaches to determining the economically justified cost of water supply for irrigation / S.A. Manzhina, L.N. Medvedeva. Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2018. № 3(31). P. 148-170. Available at: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=556&id=566>. DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-148-170.

10. Polutina T.N., Gubieva S.Y. Key trends and prospects for the development of rice growing in the Krasnodar region / T.N. Polutina S.Yu. Gubieva // Food Security: Problems and Ways of Solution: Collection of Articles on the Materials of the XVI International Scientific and Practical Conference, Krasnodar, June 03-05, 2021. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 2021. Pp. 155-161. EDN: KPFEUU

11. Malysheva N.N. Economic aspects of rice production on reclamation systems of the Krasnodar region / N.N. Malysheva, S.V. Kizinek. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2020. № 1(37). P. 200-216. DOI: 10.31774/2222-1816-2020-1-200-216. EDN: OINPUH

#### About the authors

**Sofiya D. Isaeva**, DSc (Eng), head of the department of eco system water use and economics; <http://orcid.org/0000-0001-9640-2191>; Scopus Author ID: 57193422572; SPIN-code: 3272-6924, Author ID: 332517; isaeva7sofia@yandex.ru

**Evgeniy L. Ratkovich**, applicant, researcher at the Department of Melioration and Water Management Complex; <https://orcid.org/0000-0001-9408-760X>; Scopus Author ID: 57363124800; SPIN-code: 8356-6904, AuthorID: 1037469; [evgeniirat@mail.ru](mailto:evgeniirat@mail.ru)

Isaeva S.D., Ratkovich E.L. carried out practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, carried out practical and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote a manuscript