

**СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА
ЭФФЕКТИВНОСТЬ РИСОВОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**
STATISTICAL ASSESSMENT OF FACTORS AFFECTING THE
EFFECTIVENESS OF THE RICE IRRIGATION SYSTEM



УДК 631; 519.86

DOI:10.24411/2588-0209-2021-10300

Сафронова Татьяна Ивановна

доктор технических наук, профессор кафедры высшей математики, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Калинина, 13), ORCID: 0000-0002-2877-0985, saf55555@yandex.ru

Степанов Виктор Иванович

кандидат педагогических наук, ректор, заведующий кафедры общих гуманитарных и социально-экономических дисциплин НЧОУ ВО «Алтайский экономико-юридический институт» (656015, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Красноармейский, 108), ORCID: 0000-0002-8334-1251, rector@aeli.altai.ru

Соколова Ирина Владимировна

кандидат педагогических наук, профессор кафедры высшей математики, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Калинина, 13), ORCID: 0000-0001-5041-7208, irin-sokolova@yandex.ru

Tatyana I. Safronova, doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Higher Mathematics, FSBOU "Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin" (350044, Krasnodar Territory, Krasnodar, Kalinin Str., 13), ORCID: 0000-0002-2877-0985, saf55555@yandex.ru

Stepanov V. Ivanovich, candidate of Pedagogical Sciences, Rector, Head of the Department of General Humanitarian and Socio-Economic Disciplines, NCHOU VO "Altai Economic and Legal Institute" (656015, Altai Territory, Barnaul, pr. Krasnoarmeysky, 108), ORCID: 0000-0002-8334-1251, rector@aeli.altai.ru

Irina V. Sokolova, candidate of Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Higher Mathematics, FSBOU "Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin" (350044, Krasnodar Territory, Krasnodar, Kalinin Str., 13), ORCID: 0000-0001-5041-7208, irin-sokolova@yandex.ru

Аннотация. Анализ научных исследований в сфере производства риса показал, что влияние длительного затопления рисовых карт проявляется в изменении мелиоративных, агрохимических, агрофизических, морфологических характеристик соответствующих почвогрунтов. Процесс получения урожая риса связан также со стохастической природой почвенных свойств: их значения, в основном, динамичны во времени, определяются суммарным вкладом многих факторов почвообразования, разнообразными комбинациями элементарных почвенных процессов. В статье предлагается разработанная авторами математическая модель оптимального объёма намечаемых к исполнению мероприятий по водообеспеченности рисового чека, направленных на рациональное использование природных ресурсов, повышение эффективности рисовой оросительной системы в регулируемых условиях. При этом указанные намечаемые мероприятия рассматриваются в модели стационарным пуассоновским потоком интенсивности λ . Составлена функция общей средней прибыли хозяйства, которая исследуется на экстремум. Получено выражение для оптимального объёма Q_{opt} мероприятий, намечаемых к исполнению. Результаты исследования могут быть использованы для природоохранных действий в сфере производства риса, а также для своевременной разработки эффективных мероприятий по недопущению ухудшения почвенно-мелиоративного состояния орошаемых земель.

Abstract. An analysis of scientific research in the field of rice production showed that the effect of prolonged flooding of rice maps is manifested in a change in the reclamation, agrochemical, agrophysical, morphological characteristics of the corresponding soils. The process of producing rice crops is also associated with the stochastic nature of soil properties: their values are mainly dynamic over time, determined by the total contribution of many soil formation factors, various combinations of elementary soil processes. The article proposes a mathematical model developed by the authors of the optimal volume of events intended for the execution of the water supply of a rice check aimed at the rational use of natural resources, increasing the efficiency of the rice irrigation system in regulated conditions. At the same time, these proposed events are considered in the model by a stationary Poisson flow of λ intensity. The function of the total average profit of the farm, which is investigated at extremum, is compiled. An expression was

obtained for the optimal volume of *Qopt* events intended for execution. The results of the study can be used for conservation actions in the field of rice production, as well as for the timely development of effective measures to prevent the deterioration of the soil reclamation state of irrigated land.

Ключевые слова: рисовая оросительная система, математическая модель, оптимальный объём мероприятий.

Key words: rice irrigation system, mathematical model, optimal volume of events.

Введение.

В 2018 году площадь сева риса в РФ составила – 182 тыс. га, из них 117,3 тыс. га расположены в Краснодарском крае. Доля региона в общероссийском объеме производства агрокультуры составляет около 80%. Урожайность риса в крае на 8,5 ц/га выше, чем в среднем по стране. Посевная площадь риса в хозяйствах всех категорий Краснодарского края, по состоянию на 2019 г., – 125,0 тыс. га, что на 8 тыс. га больше уровня 2018 года.

В соответствии со стратегией развития сельского хозяйства планируется получить более 900 тыс. т валового сбора риса и расширить посевные площади до 150 тыс. га. Для выполнения программы необходимо создание новых технологий.



Рисунок 1 – Рисовая оросительная система Краснодарского края

Существует множество экологических и техногенных факторов, влияющих качество урожая – засоление, переувлажнение, загрязнение почв и др. В связи с этим очень важным является познание причин и закономерностей, вызывающих эти явления, определяющих степень их влияния на формирование урожая сельскохозяйственных культур.

Интенсивность и направленность почвообразовательных процессов различна у разных типов почв и проявляется в изменении их свойств – структурности, водопроницаемости, гумусности, поглотительной способности и других. Различная интенсивность и направленность изменчивости свойств почв при длительном затоплении требует разработки системы зональных показателей. От правильного выбора режима орошения, оросительной нормы риса и расходных статей водного баланса рисового чека, гидромодуля подачи и сброса воды, технологии полива зависит эффективность производства на рисовой оросительной системе [1].

Материал и методика исследования.

Процесс получения урожая связан также со стохастической природой почвенных свойств – их значения, в основном, динамичны во времени, определяются суммарным вкладом многих факторов почвообразования, разнообразными комбинациями элементарных почвенных процессов [2, 3]. Поэтому в современных условиях представляется актуальной разработка методологических подходов к прогнозированию урожайности риса с использованием стохастического анализа данных.

По результатам длительных наблюдений за состоянием рисовых оросительных систем (РОС) можно получить статистические характеристики территории [4, 5]. Если засоление на чеке изменяется от слабой степени до сильной, то среднее засоление по чеку будет весьма мало информативно. Поэтому необходимы сведения по стандартным отклонениям, коэффициентам вариации, законам распределения, тренду мелиоративных показателей в пространстве и времени.

Составим математическую модель оптимального объема Q_{opt} мероприятий, намечаемых к исполнению.

Будем предполагать, что мелиоративные мероприятия проводятся независимо друг от друга и объем каждого мероприятия ξ есть случайная величина с математическими ожиданиями $M\{\xi\} = a_1$ и $M\{\xi^2\} = a_2$. Введем в рассмотрение некоторые фиктивные мероприятия, то есть, если бы была необходимость, то эти мероприятия были бы проведены.

Обозначим n – число фиксированных мероприятий. Объем мероприятий x_n в течение рассматриваемого периода представим в виде

$$x_n = \xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n.$$

Пусть $p_n(x)$ – плотность вероятностей величины x_n , $p(n)$ – распределение вероятностей числа возможных мероприятий n , x – общий объем мероприятий. Плотность вероятностей $p(x)$ величины x запишем следующим выражением [6, 7]:

$$p(x) = \sum_{n=1}^{\infty} p_n(x) p(n).$$

Если $p(x)$ найдено, подсчитаем среднюю прибыль хозяйства при выполнении мероприятий объема Q .

На выполнение мероприятий объема Q было истрачено Qd денег.

Если $x > Q$, то все условия будут выполнены. Это произойдет с вероятностью

$$\int_Q^{\infty} p(x) dx \text{ и хозяйство получит выручку } - Qc.$$

Если $x \leq Q$, то будут выполнены мероприятия объёма x и хозяйство получит $xс$ денег. Мероприятия объёма $Q - x$ останутся невыполненными. и придётся ликвидировать (утилизировать) сделанные заготовки. Если d_{ut} – цена утилизации единицы невыполненных мероприятий, то утилизация будет оценена количеством денег – $d_{ut}(Q - x)$. Средняя выручка хозяйства составит в этом случае величину

$$c \int_0^Q xp(x) dx - d_{ut} \int_0^Q (Q - x) p(x) dx.$$

Запишем общую среднюю прибыль хозяйства

$$S = cQ \int_Q^\infty p(x) dx + c \int_0^Q xp(x) dx - d_{ut} \int_0^Q (Q - x) p(x) dx - d_{opt} Q \quad (1)$$

или

$$S = cQ \int_Q^\infty p(x) dx + c \int_0^Q xp(x) dx - d_{ut} Q \int_0^Q p(x) dx + \\ + d_{ut} \int_0^Q xp(x) dx - d_{opt} Q.$$

Оптимальный объём мероприятий, намечаемых для исполнения, найдётся из условия

$$S \Rightarrow \max_Q, \text{ которое выполнимо при } \frac{dS}{dQ} = 0.$$

Вычислив производную, получим

$$\frac{dS}{dQ} = c \int_Q^\infty p(x) dx - cQp(Q) + cQp(Q) - \\ - d_{ut} \int_0^Q p(x) dx - d_{ut} Qp(Q) + d_{ut} Qp(Q) - d_{opt} = 0,$$

или

$$c \int_Q^\infty p(x) dx - d_{ut} \int_0^Q p(x) dx = d_{opt}. \quad (2)$$

Но, с другой стороны,

$$\int_0^Q p(x) dx = 1 - \int_Q^\infty p(x) dx.$$

Следовательно,

$$\int_Q^\infty p(x) dx = \frac{d + d_{ut}}{c + d_{ut}} \quad (3)$$

Найдем $p(x)$. Для этого введем $g(\omega)$ – характеристическую функцию случайной величины ξ , а именно $g(\omega) = M\{e^{i\omega\xi}\}$.

$D\{\xi\} = a_2 - a_1^2$ есть дисперсия величины ξ . Для $\ln g(\omega)$ справедливо разложение

$$\ln g(\omega) = i\omega a_1 - \frac{\omega^2 D\{a\}}{2} + O(\omega^3). \quad (4)$$

Пусть число мероприятий $n \gg 1$. Тогда, согласно центральной предельной теореме, n – нормальная случайная величина, $M\{n\} = m_T$ и $D\{n\} = \sigma_T^2$. Величины m_T и σ_T^2 при больших T асимптотически пропорциональны T [6].

Характеристическая функция $G_x(\omega)$ величины x равна

$$G_x(\omega) = \sum_{n=0}^{\infty} g^n(\omega) p(n). \quad (5)$$

Сделаем приближенную запись

$$\begin{aligned} G_x(\omega) &= \frac{1}{\sigma_T \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} g^z(\omega) e^{-\frac{(z-m_T)^2}{2\sigma_T^2}} dz = \\ &= \frac{1}{\sigma_T \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{z \ln g(\omega)} e^{-\frac{(z-m_T)^2}{2\sigma_T^2}} dz. \end{aligned} \quad (6)$$

Результаты и обсуждение.

С учетом равенства

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-ax^2+bx} dx = \sqrt{\frac{\pi}{a}} \exp\left(\frac{b^2}{4a}\right)$$

вычисляем интеграл (15) и получаем

$$G_x(\omega) = \exp\left(m_T \ln g(\omega) + \frac{\sigma_T^2}{2} \ln^2 g(\omega)\right).$$

Подставим в сделанную запись разложение (4) для $g(\omega)$

$$G_x(\omega) = \exp\left(i\omega a_1 m_T - \frac{\omega^2}{2} (m_T D\{\xi\} + a_1^2 \sigma_T^2) + O(\omega^3)\right).$$

Введем в рассмотрение величину

$$\zeta = \frac{x - a_1 m_T}{\sqrt{m_T D\{\xi\} + a_1^2 \sigma_T^2}}$$

Тогда можем записать

$$G_\zeta(\omega) = \exp\left(-\frac{\omega^2}{2} + O\left(\frac{\omega^3}{(m_T D\{\xi\} + a_1^2 \sigma_T^2)^{3/2}}\right)\right).$$

В пределе при $T \rightarrow \infty$ получим

$$\lim_{T \rightarrow \infty} G_\zeta(\omega) = \exp\left(-\frac{\omega^2}{2}\right).$$

Следовательно, x – нормальная случайная величина с $M\{x\} = m_x = a_1 m_T$ и $D\{x\} = \sigma_x^2 = m_T (a_2 - a_1^2) + \sigma_T^2 a_1^2$.

Теперь можем записать явный вид $p(x)$:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(m_T(a_2 - a_1^2) + \sigma_T^2 a_1^2)}} \exp\left(-\frac{(x - a_1 m_T)^2}{2(m_T(a_2 - a_1^2) + \sigma_T^2 a_1^2)}\right) \quad (7)$$

и получить выражение для оптимального объема Q_{opt} мероприятий, намечаемых к исполнению.

Получаем уравнение

$$\int_{Q_{opt}}^{\infty} p(x) dx = 1 - \Phi\left(\frac{Q_{opt} - a_1 m_T}{\sqrt{m_T(a_2 - a_1^2) + \sigma_T^2 a_1^2}}\right) = \frac{d + d_{ut}}{c + d_{ut}},$$

где $\Phi(\cdot)$ – функция Лапласа. Пусть $\Psi(\cdot)$ – функция, обратная функции $\Phi(\cdot)$, тогда окончательно

$$Q_{opt} = a_1 m_T + \sqrt{m_T(a_2 - a_1^2) + \sigma_T^2 a_1^2} \Psi\left(1 - \frac{d + d_{ut}}{c + d_{ut}}\right). \quad (8)$$

Если намечаемые мероприятия рассматривать стационарным пуассоновским потоком интенсивности λ , то $m_T = \lambda T$, $\sigma_T^2 = \lambda T$ и формула (8) приобретает вид

$$Q_{opt} = a_1 \lambda T + \sqrt{a_2 \lambda T} \Psi\left(1 - \frac{d_{opt} + d_{ut}}{c + d_{ut}}\right). \quad (9)$$

Область применения результатов.

Одной из ключевых проблем рисоводов является неупорядоченное использование земель рисового фонда, и как следствие, неоптимальное выполнение комплекса технологических операций на рисовых чеках, а также отсутствие высокоэффективного комплекса машин, необходимого для работы в условиях тяжелых почв [8, 9].

Предложенный авторами подход делает возможным получение количественной оценки различных факторов, влияющих на урожайность риса. Он позволяет установить характер и меру связей между свойствами почв и факторами почвообразования и использовать полученные результаты для выработки мер по повышению урожайности риса в регионах с различающимися природными условиями, оптимально размещать производительные силы.

В целом разработка методологического подхода к прогнозированию урожайности риса на региональном уровне должна заключаться в поэтапном решении обозначенных выше задач в процессе поиска оптимальной модели, а также тестировании разработанной модели на примере конкретного региона или муниципалитета.

Литература

1. Сафронова Т.И., Луценко Е.В. Проблема управления качеством грунтовых вод на рисовых оросительных системах и концепция ее решения // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2004. № 7. С. 52-60.
2. Сафронова Т.И., Соколова И.В. О дисциплине «Математическое моделирование и проектирование» на агрономическом факультете. В сборнике: Математика в образовании. сборник статей. Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова; Межрегиональная общественная организация «Женщины в науке и образовании». Чебоксары, 2016. С. 88-92.

3. Сафронова Т.И., Хаджиди А.Е., Холод Е.В. Обоснование метода управления агресурсным потенциалом агроландшафтов // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-1. С. 223.

4. Соколова И.В. Метод линейного программирования при решении землеустроительных задач / В сборнике: Качество современных образовательных услуг - основа конкурентоспособности вуза. сборник статей по материалам межфакультетской учебно-методической конференции. Ответственный за выпуск М. В. Шаталова. 2016. С. 90-93.

5. Степанов В.И., Приходько И.А., Сафронова Т.И. Моделирование функционирования рисовой оросительной системы по текущему состоянию растений // International Agricultural Journal. 2020. Т. 63. № 6. С. 1.

6. Соколова И.В., Сергеев А.Э. Прикладная математика. Краснодар, КубГАУ. 2018. 96 с.

7. Efrosinin D., Farkhadov M., Efrosinin D., Sztrik J., Stepanova N. Reliability analysis of an aging unit with a controllable repair facility activation // Springer proceedings in mathematics and statistics. 2018. Pp. 403–417.

8. Сафронова Т.И., Соколова И.В. О преподавании элементов дисциплины «Математическое моделирование процессов в компонентах природы» / В сборнике: Высшее образование в аграрном вузе: проблемы и перспективы. Сборник статей по материалам учебно-методической конференции. Отв. за вып. Д.С. Лилякова. 2018. С. 52-53.

9. Degtyareva O.G., Safronova T.I., Sokolova I.V. The calculation of a drain seasonal regulation reservoir volume probability // Materials Science Forum, 2018, 931 MSF, Pp. 991–995.

References

1. Safronova T.I., Lucenko E.V. Problema upravleniya kachestvom gruntovyh vod na risovyh orositel'nyh sistemah i koncepciya ee resheniya // Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2004. № 7. S. 52-60.

2. Safronova T.I., Sokolova I.V. O discipline «Matematicheskoe modelirovanie i proektirovanie» na agronomicheskom fakul'tete. V sbornike: Matematika v obrazovanii. sbornik statej. SChuvashskij gosudarstvennyj universitet imeni I.N. Ul'yanova; Mezhhregional'naya obshchestvennaya organizaciya «ZHenshchiny v nauke i obrazovanii». SHeboksary, 2016. S. 88-92.

3. Safronova T.I., Hadzhidi A.E., Holod E.V. Obosnovanie metoda upravleniya agrosursnym potencialom agrolandshaftov // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. № 2-1. S. 223.

4. Sokolova I.V. Metod linejnogo programmirovaniya pri reshenii zemleustroitel'nyh zadach / V sbornike: Kachestvo sovremennyh obrazovatel'nyh uslug - osnova konkurentosposobnosti vuza. sbornik statej po materialam mezhhfakul'tetskoj uchebno-metodicheskoj konferencii. Otvetstvennyj za vypusk M. V. SHatalova. 2016. S. 90-93.

5. Stepanov V.I., Prihod'ko I.A., Safronova T.I. Modelirovanie funkcionirovaniya risovoj orositel'noj sistemy po tekushchemu sostoyaniyu rastenij // International Agricultural Journal. 2020. Т. 63. № 6. S. 1.

6. Sokolova I.V., Sergeev A.E. Prikladnaya matematika. Krasnodar, KubGAU. 2018. 96 s.

7. Efrosinin D., Farkhadov M., Efrosinin D., Sztrik J., Stepanova N. Reliability analysis of an aging unit with a controllable repair facility activation // Springer proceedings in mathematics and statistics. 2018. Pp. 403–417.

8. Safronova T.I., Sokolova I.V. O prepodavanii elementov discipliny «Matematicheskoe modelirovanie processov v komponentah prirody» / V sbornike: Vyshee obrazovanie v agrarnom vuze: problemy i perspektivy. Sbornik statej po materialam uchebno-metodicheskoj konferencii. Otv. za vyp. D.S. Lilyakova. 2018. S. 52-53.

9. Degtyareva O.G., Safronova T.I., Sokolova I.V. The calculation of a drain seasonal regulation reservoir volume probability // Materials Science Forum, 2018, 931 MSF, Pp. 991–995.