

**МОДЕЛЬ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА РИСОВЫХ
ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ С УЧЕТОМ СТОХАСТИЧЕСКИХ
ФАКТОРОВ**

**BUSINESS MODEL ON RICE IRRIGATION SYSTEMS TAKING INTO
ACCOUNT STOCHASTIC FACTORS**



УДК 631; 519.86

DOI:10.24411/2588-0209-2020-10226

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: В основе комплекса факторов хозяйственной деятельности лежат экономические показатели и состояние природных ресурсов. Прогнозирование перспектив развития любого предприятия возможно при условии наличия полной, достоверной и объективной информации на всех этапах и об условиях, в которых она осуществляется. В современных условиях представляется актуальной разработка методологических вопросов анализа хозяйственной деятельности предприятий в условиях неопределенности, обусловленной климатическими факторами и стохастической природой почвенных свойств. Предметом исследования является методология моделирования деятельности управленческих структур на рисовых оросительных системах в условиях неопределенности. Авторы предлагают характеризовать режим функционирования рисовой оросительной системы с вероятностной точки зрения, оценивать последствия антропогенной нагрузки, рассматривая эксплуатационные мероприятия пуассоновским потоком определенной интенсивности. Такой подход позволяет рассмотреть неопределенность в терминах вероятностных распределений. В этих предположениях получено выражение для оптимального объема $Q_{\text{опт}}$ мероприятий, намечаемых к исполнению. Результаты исследований могут быть использованы работниками агропромышленного комплекса при принятии управленческих решений на рисовой оросительной системе.

Abstract: Economic indicators and the state of natural resources form the basis of the set of factors of economic activity. Forecasting the development prospects of any enterprise is possible provided that full, reliable and objective information is available at all stages and about the conditions under which it is carried out. In modern conditions, it seems relevant to develop methodological issues of analysis of economic activities of enterprises in conditions of uncertainty due to climatic factors and stochastic nature of soil properties. The subject of the study is a methodology for modeling the activities of management structures on rice irrigation systems in conditions of uncertainty. The authors propose to characterize the mode of functioning of the rice irrigation system from a probabilistic point of view, to assess the consequences of anthropogenic load, considering operational measures by the Poisson flow of a certain intensity. This approach allows you to consider uncertainty in terms of probabilistic distributions. In these assumptions, an expression is obtained for the optimal volume of Q_{opt} measures intended for

execution. The results of research can be used by employees of the agro-industrial complex in making managerial decisions on the rice irrigation system.

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

Key words: rice irrigation system, mathematical model, uncertainty, optimal scope of measures.

Введение.

Будем рассматривать рисовую оросительную систему (РОС) сложным динамическим комплексом с учетом неопределенностей, обусловленных влиянием климата и стохастической природой почвенных свойств [1]. На рисунке 1 представлен космический снимок рисовой оросительной системы в низовьях реки Кубань.

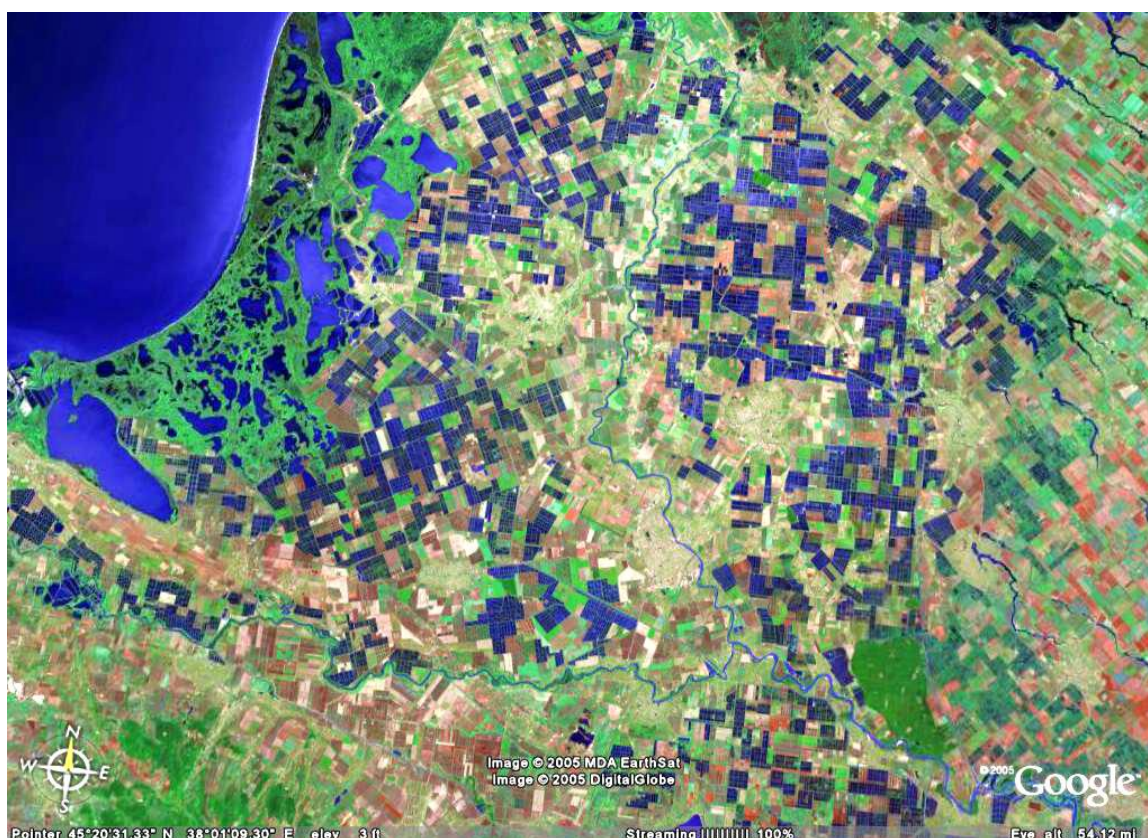


Рисунок 1 – Космический снимок рисовой оросительной системы в низовьях реки Кубань (Краснодарский край)

С целью обоснования хозяйственных мероприятий и повышения научной обоснованности экологической экспертизы, охраны земель на рисовой оросительной системе, необходима разработка соответствующего информационно-методического обеспечения [2]. В нем должны качественно сочетаться опыт, новые технологии и результаты математического моделирования [3, 4]. Региональные модели должны отражать специфику каждого района, определяемую в первую очередь его природными условиями.

Модель может давать достоверный прогноз в случае максимального учета факторов, прямо или опосредовано влияющих на конкретную деятельность. [5, 6].

Материал и методика исследования.

В модели рисовой оросительной системы, описанной в [7], оросительный период вегетации риса разделяют на 10 этапов, поливные нормы для которых различны. Каждый из этапов включает либо одну какую-либо фазу развития риса, либо ее часть, для которой требования к слою затопления одинаковы. Продолжительность каждого этапа зависит от совокупности факторов, влияющих на скорость прохождения фаз вегетации и от выбранного режима орошения для конкретных условий. Так, продолжительность первого этапа зависит от водопоглотительной способности почвогрунта, мощности оросителя и пропускной способности сети каналов самой рисовой системы. Сроки проведения других этапов в общем случае зависят от засоренности риса, пропускной способности сбросной сети и др.

В настоящее время также актуальна разработка количественных методов обоснования выбора наиболее целесообразных вариантов и принятия управленческих решений в АПК в целом [8]. В сложных, дорогостоящих намечаемых мероприятиях недопустимы непродуманные волевые решения. Именно поэтому важны научные методы, позволяющие заранее оценить последствия каждого решения, исключить недопустимые варианты и рекомендовать наиболее продуктивные и обоснованные. Цена принимаемых решений очень велика. Резервом оптимизации является поиск оптимального распределения затрат между возможными мероприятиями: внесение удобрений; система обработки почвы, мероприятия по устранению щелочности и кислотности почв и др. В связи с этим возникает проблема выбора адекватных стоимостных показателей процесса.

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.

В связи с этим для агроэкологов очень важным является познание причин и закономерностей, вызывающих эти явления, определяющих степень их влияния на урожайность культур.

По результатам длительных наблюдений за состоянием рисовых оросительных систем можно получить статистические характеристики территории. Анализ исследований показал, что влияние длительного затопления проявляется в изменении мелиоративных, агрохимических, агрофизических, морфологических характеристик почвогрунтов. 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.

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.

Эффективность производства на рисовой оросительной системе напрямую зависит от правильного выбора режима орошения, оросительной нормы риса и расходных статей

водного баланса рисового чека, гидромодуля подачи и сброса воды, технологии полива и других факторов.

Математическая модель.

Будем рассматривать параметры, характеризующие систему, случайными величинами. Предполагаем, что мелиоративные мероприятия проводятся независимо друг от друга и объём каждого мероприятия ξ есть случайная величина с $M\{\xi\} = a_1$ 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. Объём 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 объём мероприятий. Плотность вероятностей $p(x)$ величины x запишем следующим выражением:

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

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

На выполнение мероприятий объёма Q было истрачено Q_d денег.

Если $x > Q$, то все условия будут выполнены. Это произойдёт с вероятностью $\int_Q^{\infty} p(x) dx$ и хозяйство получит выручку $-Q_c$.

Если $x \leq Q$, то будут выполнены мероприятия объёма x и хозяйство получит x_c 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 средняя 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

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

или

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

Но, с другой стороны,

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

Перепишем уравнение (2) в виде

$$(c + d_{\text{ut}}) \int_Q^\infty p(x) dx = d_{\text{opt}} + d_{\text{ut}},$$

или

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

Оптимальный объём мелиоративных мероприятий можно определить из полученного уравнения.

Теперь найдем $p(x)$. Пусть $g(\omega)$ – характеристическая функция случайной величины ξ , то есть

$$g(\omega) = M\{e^{i\omega\xi}\}.$$

$D\{\xi\} = a_2 - a_1^2$ 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 .

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

$$G_x(\omega) = \frac{1}{\sigma_T \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} g^z(\omega) e^{-\frac{(z-m_T)^2}{2\sigma_T^2}} dz =$$

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

С учетом равенства

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

вычисляем интеграл (6) 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

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

и, учитывая свойства характеристических функций, запишем

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

В пределе при $T \rightarrow \infty$ отметим

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

Полученная запись позволяет утверждать, что ζ – асимптотически стандартная нормальная случайная величина $N(0, 1)$. 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 определить оптимальный объёме 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

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

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

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

Область применения результатов.

Предложенный авторами подход и построенная модель делают возможным получить количественные оценки различных факторов, влияющих на урожайность риса и определить оптимальный объём мероприятий, намечаемых к исполнению.

Намеченный подход позволит принимать обоснованные, своевременные и продуманные решения по рациональному использованию материальных и трудовых ресурсов на сельскохозяйственном предприятии, учитывать разнообразные природные условия, сельскохозяйственную специализацию регионов и оптимально размещать производительные силы.

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., Луценко Е.В. Когнитивная структуризация и формализация задачи управления качеством грунтовых вод на рисовых оросительных системах // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2004. № 7. С. 29-43.
3. Корч Е.А., Микенина П.С., Соколова И.В. Математическая модель прогнозирования финансового состояния предприятия. В сборнике: Студенческие научные работы инженерно-землеустроительного факультета: сборник статей по материалам студенческой научно-практической конференции. 2017. С. 63-67.
4. 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.
5. Сафронова Т.И., Соколова И.В. О дисциплине «Математическое моделирование процессов в компонентах природы» на факультете гидромелиорации // Международный журнал экспериментального образования. 2018. № 3. С. 27-31.
6. Сафронова Т.И., Луценко Е.В. Синтез, оптимизация и верификация семантической информационной модели управления качеством грунтовых вод на рисовых оросительных

системах // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2004. № 7. С. 44-51.

7. Трубилин, А. И. Аграрная экономика России: проблемы и векторы развития: монография / А. И. Трубилин [и др.]; науч. Ред. А. И. Трубилин. Краснодар: Куб ГАУ, 2018. 342 с.

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

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., Lucenko E.V. Kognitivnaya strukturizaciya i formalizaciya zadachi upravleniya kachestvom gruntovyh vod na risovyh orositel'nyh sistemah // Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2004. № 7. S. 29-43.

3. Korch E.A., Mikenina P.S., Sokolova I.V. Matematicheskaya model' prognozirovaniya finansovogo sostoyaniya predpriyatiya. V sbornike: Studencheskie nauchnye raboty inzhenerno-zemleustroitel'nogo fakul'teta: sbornik statej po materialam studencheskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2017. S. 63-67.

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

5. Safronova T.I., Sokolova I.V. O discipline «Matematicheskoe modelirovanie processov v komponentah prirody» na fakul'tete gidromelioracii // Mezhdunarodnyj zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya. 2018. № 3. S. 27-31.

6. Safronova T.I., Lucenko E.V. Sintez, optimizaciya i verifikaciya semanticheskoy informacionnoj modeli upravleniya kachestvom gruntovyh vod na risovyh orositel'nyh sistemah // Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2004. № 7. S. 44-51.

7. Trubilin, A. I. Agrarnaya ekonomika Rossii: problemy i vektory razvitiya: monografiya / A. I. Trubilin [i dr.]; nauch. Red. A. I. Trubilin. Krasnodar: Kub GAU, 2018. 342 s.

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