

**ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ
УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ РИСОВОЙ
ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

**A PROBABILISTIC APPROACH TO SOLVING THE PROBLEMS OF
PROCESS CONTROL OF A RICE IRRIGATION SYSTEM**



УДК 631.6

DOI:10.24411/2588-0209-2020-10131

Сафронова Татьяна Ивановна

доктор техн. наук, профессор, кафедра «Высшей математики», Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар

Владимиров Станислав Алексеевич

кандидат с/х. наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов», Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар

Приходько Игорь Александрович

кандидат техн. наук, доцент, кафедра «Строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов», Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар

Vladimirov Stanislav Alekseevich

agricultural candidate. Sciences, Professor, Head of the Department of Construction and Operation of Water Management Facilities, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin

Safronova Tatyana Ivanovna

doctor tech. Sciences, Professor, Department of Higher Mathematics, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin

Prihodko Igor Alexandrovich

Candidate of Tech. Sciences, Associate Professor, Department of Construction and Operation of Water Management Facilities, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin

Аннотация

Опыт выращивания риса показывает, что плодородие освоенных под рис земель, через некоторый промежуток времени (10 - 15 лет) начинает падать. Причины отмеченного явления не полностью вскрыты. Основная из них связывается с деградацией почв при рисосеянии. Под деградацией почв рисовых полей подразумевается развитие при затоплении комплекса процессов элювиирования и внутри-горизонтальной сегрегации восстановленных соединений железа и марганца и выноса тонкодисперсных частиц. В конечном итоге деградированные горизонты приобретают признаки подзолистых или осолоделых почв. Деградационные процессы в почвах рисовых полей Кубани связаны, в основном, с уменьшением содержания гумуса, ухудшением его качественного состава, декальцинированием верхних горизонтов почвы и ее ощелачиванием. Отмечаются повышение плотности до $1,5 \text{ г/см}^3$ и явления слитизации, а также снижение величины общей порозности. Необходимо предупредить необратимую деградацию почв и предотвратить негативное воздействие на окружающую среду. В последнее время признана необходимость подготовки принятия решений. Для этого требуется разработка соответствующего информационно - методического обеспечения, основанного на сочетании опыта с результатами математического моделирования. Авторы отмечают, что для обеспечения эффективной и устойчивой эксплуатации рисовой оросительной системы необходимо создать новые системы управления, ориентированные на использование вероятностного подхода к решению проблем управления технологическими процессами, обеспечивающего экологически безопасное функционирование рисовой оросительной системы, предотвращающего необратимую деградацию почв. Авторами получено выражение, позволяющее количественно оценить ущерб с учетом вероятностной неопределенности экологических, экономических и других факторов проекта.

Summary

The experience of rice cultivation shows that the land fertility developed for rice begins to fall after a certain period of time (10-15 years). The reasons for this phenomenon are not fully disclosed. The main of them is associated with soil degradation during rice sowing. The degradation of rice field soils means the development of a complex of eluviation processes and intra-horizontal segregation of reduced iron and manganese compounds and the removal of fine particles during flooding. Eventually, degraded horizons acquire signs of podzol or rejuvenated soils. Degradation processes in soils of Kuban rice fields are mainly associated with a decrease in the content of humus, deterioration of its qualitative composition, decalcification of the upper soil horizons and its alkalinization. There is an increase

in density to 1.5 g / cm^3 and the phenomenon of slithering, as well as a decrease in total porosity. It is necessary to prevent irreversible soil degradation and avert negative impacts on environment. Recently, the need to prepare for decision-making has been recognized. It requires the development of appropriate information and methodological support based on a combination of experience with the results of mathematical modeling. The authors note that in order to ensure effective and sustainable operation of the rice irrigation system, it is necessary to create new management systems focused on the use of a probabilistic approach to solving the problems of technological process management, which ensures the environmentally safe operation of the rice irrigation system and prevents irreversible soil degradation. The authors obtained an expression that allows us to quantify the damage taking into account the probabilistic uncertainty of environmental, economic and other factors of the project.

Ключевые слова: *рисовая оросительная система, цена намечаемого мероприятия, количественная оценка, вероятностный подход.*

Keywords: *rice irrigation system, price of the planned event, quantitative assessment, probabilistic approach.*

Введение. Цель исследований – разработка принципиальной схемы управления технологическими процессами выращивания риса, учитывающей особенности агротехнологий и природных процессов, для выработки адекватных управляющих воздействий, не допускающих развития деградации почв и возникновения чрезвычайных ситуаций. Для достижения цели были рассмотрены причины деградации почв и условия возникновения чрезвычайных экологических ситуаций на рисовой оросительной системе (РОС) с использованием данных доклада «О состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2018 году».

Методы исследования, характеристика объекта исследования. По объемам водопотребления рисоводство абсолютно преобладает среди других отраслей сельского хозяйства. С учетом нарастающего дефицита воды эффективность использования водных ресурсов в рисовых оросительных системах выступает важным фактором хозяйственного развития региона. Затопление посевов риса на длительный срок (60–80 суток и более) обуславливает появление в почве болотных процессов с оглеением горизонтов, накоплением токсичных для риса соединений сероводорода, закисных соединений железа, марганца. Происходит также подщелачивание среды, вызываемое новообразованием бикарбонатов и силикатов щелочей. Плодородие почв снижается [1].

Для восстановления плодородия почвы необходимо создать в ней в межполивной период аэробные условия, что достигается понижением уровня грунтовых вод. Установлено, что если после поверхностного предуборочного осушения почв уровень грунтовых вод за 20 – 25 суток понизился на глубину до 1,8 – 2 м и поддерживался до следующего оросительного сезона, то создаются наиболее благоприятные условия для восстановления и повышения плодородия почв и получения высокого урожая риса [2,3].

Рисовые оросительные системы по глубине залегания уровня грунтовых вод в межполивной период распределяются следующим образом: до 1 м – 5%, от 1 до 2 м – 43,6%,

свыше 2 м – 51,4%. Таким образом, только половина рисового поля Кубани с этой точки зрения находится в удовлетворительном состоянии, на остальной части могут протекать болотные процессы и вторичное засоление почв.

Степень дренированности почвы на поливной карте определяется глубиной дренажно-сбросных каналов и расстоянием между ними. Преобладающая часть карт имеет междуренье 360 – 420 м, что не обеспечивает оптимальный водный режим. Это явилось причиной высокого уровня грунтовых вод в межполивной период и заболачивания значительной части территории рисовых систем.

Одним из факторов, ухудшающих мелиоративное состояние почв рисовых систем, и, следовательно, снижающих почвенное плодородие, является перерасход воды. Величина мелиоративно-оросительной нормы по территории Краснодарского края достигает в отдельных хозяйствах 22 – 26 тыс. м³/га [4,5]. Непроизводительные потери воды составляют более 60%. При этом отмечена закономерность – чем выше перерасход воды, тем ниже урожайность риса [6]. Объясняется это перегрузкой дренажно-сбросной сети, ухудшением окислительного режима почвы, вымыванием гумуса и питательных веществ из корнеобитаемого слоя почвы, подтоплением прилегающих площадей как занятых рисом, так и с сухоходными культурами рисового севооборота, что также является причиной снижения почвенного плодородия, появления деградационных явлений.

Сбросные воды транспортируют в водоприемники остатки высокотоксичных пестицидов и удобрений, а также продукты их метаболизма. Из питательных элементов наиболее сильно подвержены выносу с рисовых систем нитраты и нитриты, а также калий. Ежегодно выносятся в Азовское море и лиманы азота до 10, калия – до 30 тыс. т. Все эти элементы, естественно, безвозвратно теряются из почвы, что ухудшает её плодородие.

Таким образом, при вовлечении почв дельты Кубани под культуру риса происходит обеднение верхних горизонтов илистыми частицами, снижается содержание гумуса. Степень развития деградации почв рисовых систем изменяется от очень слабой до сильной.

В большей степени деградационные процессы, связанные с потерей гумуса, при культуре риса выражены на относительно «молодых» почвах Приазовских плавней (перегнойно-глеевых, торфяно-глеевых и торфяниках). Относительной стабильностью по отношению к развитию деградационных процессов отличаются почвы лугового типа.

На почвах Закубанского массива все типы почв за период рисосеяния увеличили содержание ила в верхних горизонтах, поэтому деградационные процессы по этому показателю здесь не выражены.

В основу оценки мелиоративного состояния заложены основные факторы засоления и солонцеватость почв, глубина залегания и минерализация грунтовых вод, изменение водно-физических свойств почв рисовых полей [7,8].

Ход исследования. Изменение гидрогеологических условий

Наблюдения за гидрогеологической обстановкой на рисовых системах проводились с использованием расположенной на РОС стационарной сетью режимных скважин и данных гидрогеологической «срезки».

Систематические наблюдения позволяют сделать ретроспективный анализ характера колебаний уровней грунтовых вод за многолетний период, изменение их химического состава и минерализации.

Наиболее высокие уровни грунтовых вод (УГВ) отмечаются в середине периода вегетации. В период вегетации на площадях, занятых рисом, УГВ четко реагирует на изменение водоподачи на чеки. В то же время на площадях, занятых сопутствующих рису культурами, на изменение УГВ влияет количество выпавших атмосферных осадков.

Водохозяйственные комплексы Нижней Кубани представлена на рисунке 1. На значительных площадях Чибийской, Темрюкской систем грунтовые воды характеризуются напорным режимом. Изменение пьезометрического уровня в меньшей степени зависит от режима орошения, влияние атмосферных осадков на режим грунтовых вод в оросительный период незначительно.

В наиболее благоприятном гидрологическом режиме до строительства систем находилась восточная и северо-восточная часть Марьяно-Чебургольского массива. Но даже здесь отсутствовали почвы, не затронутые гидроморфными процессами. По данным, проводимым Е. С. Блажним [9], почвы лугово-черноземные имели глубину залегания грунтовых вод 3 – 4 м, лугово-черноземовидные (по старой классификации) 2 – 3 м, лугово-болотные до 2 м, перегнойно-глеевые до 1,5 м, иловато-торфяно-глеевые, иловато-торфяные, иловато-глеевые до 1 м.

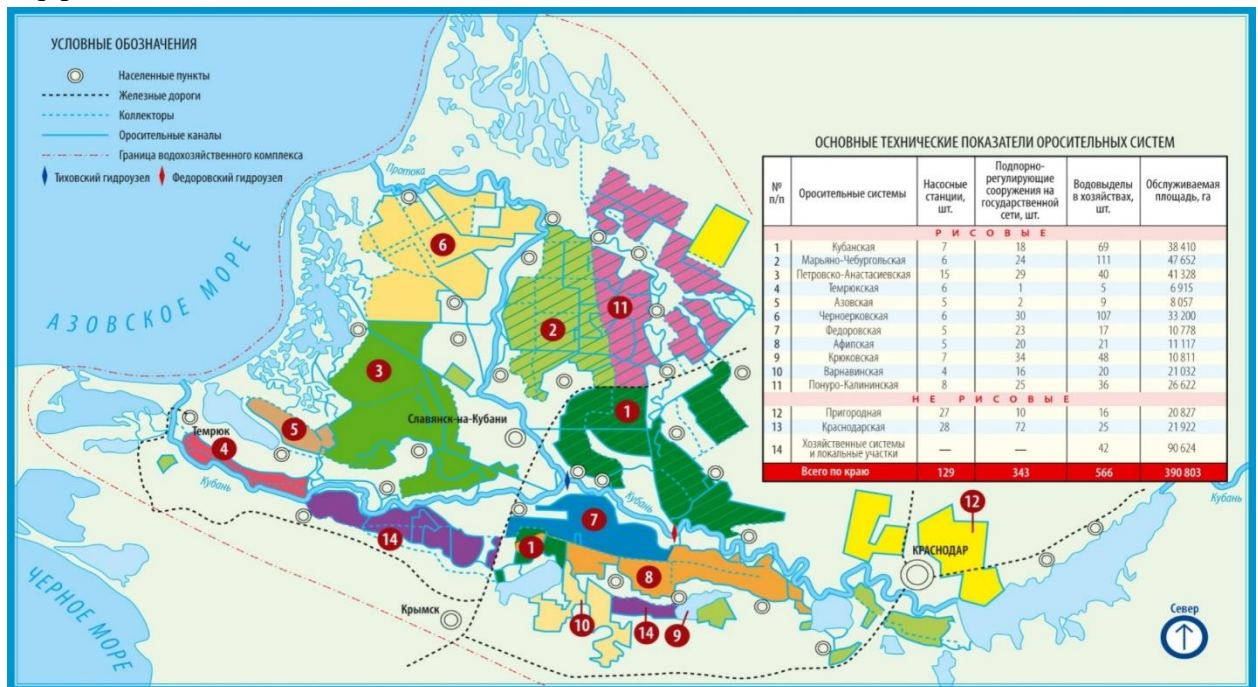


Рисунок 1 – Водохозяйственные комплексы Нижней Кубани

Ориентировочно, по распределению земель водохозяйственных массивов по типам почв (таблица 1), можно оценить площади с различным залеганием грунтовых вод. Так, для аллювиальных луговых и аллювиальных дерновых почв не дается значений глубины залегания грунтовых вод, относим их соответственно к уровням 1,5 – 2 м и более 2 м. Грунтовые воды с глубиной до метра распространены на территории 26,4 тыс. га, 1 – 1,5 м – 20 тыс. га, 1,5 – 2 м – 128,1 тыс. га, больше двух метров – 75,9 тыс. га. Чтобы избежать ошибок, площади неблагоприятных земель приводятся по минимуму. Так перегнойно-глеевые почвы отнесены в интервал УГВ 1 – 1,5 м, хотя имеются земли с УГВ менее метра. Все лугово-болотные почвы отнесены в интервал 1,5 – 2 м. По результатам проведенных исследований видно, что количество земель с неудовлетворительным состоянием УГВ (до

1,5 м) рисовых систем, по сравнению с их состоянием до строительства, сократилось почти в два раза – с 46,4 тыс. га до 25,7 тыс. га.

Таблица 1– Распределение земель водохозяйственных массивов Нижней Кубани по типам почв, га [10]

Водохозяйственные массивы	Типы почв								всего
	лугово-черноземные насыщенные мощные	аллювиальные							
		дерновые насыщенные	луговые насыщенные	лугово-болотные	болотные				
					перегнойно-глеевые	иловато-торфяно-глеевые	иловато-торфяные	иловато-глеевые	
Марьяно-Чебургольский	9252	52579	32400	11358	1238	3040	-	-	109867
Междуреченский	-	-	35100	18700	8100	12500	8400	2500	85300
Закубанский	-	14100	18700	11800	10700	-	-	-	55300
Всего:	9252	66679	86200	41858	20038	15540	8400	2500	250467

По многолетним наблюдениям за мелиоративной обстановкой на рисовых оросительных системах можно отметить, что величина засоленности площадей под рисом, да и других культур, не всегда зависит от этой обстановки. Так, например, наиболее неблагоприятная в мелиоративном отношении Азовская РОС на протяжении многих лет ежегодно дает довольно высокие урожаи риса. А такие оросительные системы, как Чибийская, Афипская, которые относятся к «хорошим системам», по урожайности этой культуры значительно отстают от Азовской. Сказанное относится так же и к отдельным участкам внутри той и другой РОС, которые могут по мелиоративной обстановке и урожайности риса резко отличаться друг от друга. Такой контраст с мелиоративной обстановкой и урожайностью риса объясняется тем, что для оценки мелиоративной обстановки на рисовых системах используются преимущественно два фактора – уровень грунтовых вод и засоленность почвогрунтов, которых явно недостаточно и они не дают возможности полностью оценить мелиоративную обстановку на оросительных системах. В условиях низовий Кубани, где почвогрунты относятся к «тяжелым» с низкими фильтрационными свойствами, плохими водно-воздушными условиями верхних горизонтов важное значение имеют вышеназванные показатели, но при оценке земель они не используются и в мелиоративном кадастре не отражены [11].

Вследствие низкой фильтрации верхний слой почвы после выпадения атмосферных осадков долго не просыхает, почвы еще более уплотняются и сельхоз техника не может быть выведена для обработки почвы в оптимальные сроки. Все это не позволяет получать высокие урожаи риса. Такая обстановка часто формируется именно на «тяжелых» почвогрунтах Чибийской, части Варнавинской, части Черноерковской оросительных систем. Имеющиеся на рисовых системах каналы отводят избыточную влагу только с площади, прилегающей к этим каналам, а большая часть площади рисового чека остается не осушенной. В условиях переувлажнения нами рекомендуется простой способ осушения поверхности чека путем проделки борозд, канавок и кротования площадей.

Достоверность предлагаемой оценки мелиоративного состояния рисовой оросительной системы подтверждается многолетней урожайностью риса, которая существенно отличается на землях с хорошим и неудовлетворительным состоянием (таблица 2).

Таблица 2 – Урожайность риса (ц/га) на участках с различным мелиоративным состоянием (по данным Е. П. Гусенкова, Ю. М. Ещенко и В. Л. Кузнецова)

Мелиоративное состояние почв с учетом модели оптимального состояния	Рисовые оросительные системы			
	Темрюкская		Азовская	
	средняя	граничные	средняя	граничные
Хорошее	42,2	39,3-45,1	47,9	45,9-49,9
Неудовлетворительное	34,3	32,5-36,1	39,1	37,5-40,7

При сложившемся комплексе природно-мелиоративных условий и существующих конструкциях РОС вероятность повышения продуктивности почв рисовых оросительных систем дельты Кубани не велика. Это связано, прежде всего, с тем, что не менее чем на 70% площади рисовых оросительных систем верхняя метровая толща почв сложена глинистыми разновидностями с вертикальной фильтрацией значительно ниже оптимальной, а существующие конструкции РОС не позволяют в должной мере ее регулировать.

Анализ изменений гидрогеолого-мелиоративной обстановки. Как следует из анализа динамики засоления, на всех стационарных площадках произошло или происходит значительное рассоление верхнего двухметрового горизонта почвы. В первом метровом слое изменения содержания солей более существенные, чем во втором.

На некоторых участках, хотя и произошло рассоление, его уровень достаточно высок. При отсутствии орошения на таких участках может происходить реставрация засоления. Эти участки характеризуются близким залеганием грунтовых вод, их высокой минерализацией, низкими абсолютными отметками чеков. Засоления почв и минерализация грунтовых вод на них подвержена значительным колебаниям, как в пространстве, так и во времени.

По данным почвенно-солевых стационарных площадок на рисовых системах происходит интенсивное рассоление. Так как рисовые системы имеют эффективную систему дренажа, происходит улучшение почвенно-мелиоративной обстановки прилегающих земель. Улучшается обстановка территорий, находящихся в зоне влияния магистральных и главных коллекторов. При выращивании культуры риса почвы, считающиеся малопродуктивными или не пригодными для сельскохозяйственного производства (соответственно луговые и болотные), достигли и превзошли по урожайности и ценности получаемого зерна лучшие земли края. По данным вновь открытых площадок почвы рассоляются по экспоненциальной зависимости. Вначале происходит резкое рассоление, затем его темпы снижаются, и происходит стабилизация засоления на некотором уровне [12,13].

Рисовые орошаемые земли имеют высокую агроэкономическую ценность, причем со временем ценность земель болотного и засоленных лугового ряда существенно возрастает.

Проведенный анализ позволяет сделать выводы:

1. Почвенные процессы на рисовых оросительных системах отличаются от естественных (до строительства РОС) дефицитом пополнения органического вещества и

подвижных питательных веществ в результате активирования обмена вещества и энергии, промывного режима, обусловленных густой сетью дренажно-сбросных и оросительных каналов.

2. Наблюдается усиление процессов деградации почв. Почвы РОС подлежат особой охране, направленной на сохранение их площадей, предотвращение развития негативных почвенных процессов и повышение плодородия почв.

3. Необходима разработка принципиально новой системы управления технологическими процессами на РОС, ориентированной не только на получение высоких урожаев, но и на сохранение и повышение плодородия почв.

В последнее время все более востребованным становится применение методов математического моделирования. Для учета неопределенностей, возникающих при учете природных процессов, нами предлагается вероятностный подход к решению проблем управления технологическими процессами РОС. Будем рассматривать намечаемые мероприятия пуассоновским потоком определенной интенсивности.

В нашей статье [14] описана модель непрерывного изменения цены мероприятия. В настоящей статье рассмотрим случай ступенчатого изменения цены.

Обозначим S_i – затраты на мелиоративные мероприятия (например, по регулированию уровня грунтовых вод, мероприятия, учитывающие меры предотвращения и борьбы с водорослями и вредителями риса при получении всходов и особенности получения всходов в зависимости от водного режима и сорта риса).

Пусть в момент начала работ намечены мелиоративные мероприятия на длительность функционирования T_1 , цена которых S_1 . Если за время T_1 мелиоративные мероприятия не приводят к удовлетворительному результату, намечаются новые мелиоративные мероприятия, цена которых S_2 и длительность функционирования T_2 .

Если за время T_2 удовлетворительное состояние не достигнуто, намечаются новые мелиоративные мероприятия на длительность функционирования T_3 и цене S_3 и т.д. Каждый отрезок времени будем называть фазой. Длительность фазы поставим в зависимость от числа намечаемых мероприятий.

Будем считать, что в начальный момент устанавливается цена S_1 . Мелиоративные мероприятия вводятся в эксплуатацию, m_1 – число возможных мероприятий. Если удовлетворительное состояние будет достигнуто – процесс закончен. Если выбранные m_1 мероприятий не приводят к удовлетворительному состоянию, то намечаются m_2 возможных мероприятия, цена которых S_2 . Если намеченные мероприятия приводят систему к приемлемому состоянию – процесс закончен, если нет – выбираются другие m_3 возможных мероприятия, оцениваемых ценой S_3 , и т.д. [15].

Рассмотрим оптимизационную задачу о мелиоративных мероприятиях на каждой фазе. Составим выражение математического ожидания общего дохода по использованию РОС

$$\Phi = \sum_{n=1}^{\infty} (S_n - K_n)(1 - P_n) \prod_{i=1}^{n-1} P_i. \quad (1)$$

Здесь K_n - потери производителя, если удовлетворительное состояние будет достигнуто на n -й фазе, P_n - вероятность того, что на n -й фазе удовлетворительное состояние не достигнуто

Задача на оптимизацию Φ по $\{S_n\}$ сводится к решению системы уравнений

$$\frac{\partial \Phi}{\partial S_m} = 0, \quad m = \overline{1, \infty}.$$

Рассмотрим явный вид этих уравнений. Первый раз величина S_m встречается в слагаемом, равном $(S_m - K_m)(1 - e^{-\lambda R(S_m)T_m}) \prod_{i=1}^{m-1} P_i$. Так как в $\prod_{i=1}^{m-1} P_i$ величины S_m нет, производная от этого слагаемого по S_m равна

$$\left[1 - e^{-\lambda R(S_m)T_m} + (S_m - K_m)\lambda R'(S_m)T_m e^{-\lambda R(S_m)T_m} \right] \prod_{i=1}^{m-1} P_i. \quad (2)$$

При $n > m$ в слагаемых величина S_m присутствует только в сомножителе $P_m = \exp(-\lambda R(S_m)T_m)$ и производная от него равна

$$P'_m = -\lambda R'(S_m)T_m \cdot P_m. \quad (3)$$

Запишем $\frac{\partial \Phi}{\partial S_m}$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial S_m} = & \left[1 - e^{-\lambda R(S_m)T_m} + (S_m - K_m)\lambda R'(S_m)T_m e^{-\lambda R(S_m)T_m} \right] \prod_{i=1}^{m-1} P_i - \\ & - \lambda R'(S_m)T_m \cdot \sum_{n=m+1}^{\infty} (S_n - K_n) \prod_{i=1}^{n-1} P_i (1 - P_n). \end{aligned} \quad (4)$$

Приравняем это выражение нулю, делим на $\prod_{i=1}^{m-1} P_i$ и получаем

$$\left[1 - e^{-\lambda R(S_m)T_m} + (S_m - K_m)\lambda R'(S_m)T_m e^{-\lambda R(S_m)T_m} \right] - \lambda R'(S_m)T_m \cdot F_m = 0, \quad (5)$$

где

$$F_m = \sum_{n=m+1}^{\infty} (S_n - K_n) \prod_{i=m}^{n-1} P_i (1 - P_n). \quad (6)$$

Чтобы найти рекуррентное соотношение для F_m выделим первое слагаемое

$$F_m = (S_{m+1} - K_{m+1})P_m(1 - P_{m+1}) + P_m \sum_{n=m+2}^{\infty} (S_n - K_n)(1 - P_n) \prod_{i=m+1}^{n-1} P_i.$$

Сравнение позволяет записать рекуррентное соотношение для F_m :

$$F_m = (S_{m+1} - K_{m+1})P_m(1 - P_{m+1}) + P_m F_{m+1}. \quad (7)$$

Теперь выводим рекуррентное соотношение для S_m . Запишем выражение (6) в виде

$$\frac{1 - e^{-\lambda R(S_m)T_m}}{\lambda R'(S_m)T_m} + (S_m - K_m)\lambda R'(S_m)T_m e^{-\lambda R(S_m)T_m} = F_m. \quad (8)$$

По аналогии:

$$\frac{1 - e^{-\lambda R(S_{m+1})T_{m+1}}}{\lambda R'(S_{m+1})T_{m+1}} + (S_{m+1} - K_{m+1})\lambda R'(S_{m+1})T_{m+1} e^{-\lambda R(S_{m+1})T_{m+1}} = F_{m+1}. \quad (9)$$

Учитывая (7), запишем

$$\begin{aligned} & \frac{1 - e^{-\lambda R(S_m)T_m}}{\lambda R'(S_m)T_m} + (S_m - K_m)\lambda R'(S_m)T_m e^{-\lambda R(S_m)T_m} = \\ & = (S_{m+1} - K_{m+1})e^{-\lambda R(S_m)T_m} (1 - e^{-\lambda R(S_{m+1})T_{m+1}}) + \\ & + e^{-\lambda R(S_m)T_m} \left[\frac{1 - e^{-\lambda R(S_{m+1})T_{m+1}}}{\lambda R'(S_{m+1})T_{m+1}} + (S_{m+1} - K_{m+1})\lambda R'(S_{m+1})T_{m+1} e^{-\lambda R(S_{m+1})T_{m+1}} \right]. \end{aligned} \quad (10)$$

После умножения на $e^{\lambda R(S_m)T_m}$ получим

$$S_m - K_m + \frac{e^{\lambda R(S_m)T_m} - 1}{\lambda R'(S_m)T_m} = S_{m+1} - K_{m+1} + \frac{1 - e^{-\lambda R(S_{m+1})T_{m+1}}}{\lambda R'(S_{m+1})T_{m+1}}. \quad (11)$$

Выражение (11) связывает S_m и S_{m+1} . Это рекуррентное соотношение используем следующим образом. Задавшись S_0 , численно находим S_1 , затем, зная S_1 , находим S_2 , и т.д. В результате получаем величину Φ , зависящую только от S_0 . Далее исследуем функцию на экстремум и численно находим $\max_{S_0} \Phi$.

Область применения результатов. Разработанная модель дает возможность исследовать особенности функционирования системы в любых реальных ситуациях, обосновать организацию мелиоративных работ по подготовке внутривозвращенной сети РОС к поливу и другие работы [16]. Рассмотренный вероятностный подход дает возможность прогнозировать поведение системы при изменении условий окружающей среды и снизить риски неопределенностей при принятии управленческих решений.

Выводы. Авторами разработана математическая (вероятностная) модель функционирования оросительной системы при ступенчатом изменении цены намечаемых мероприятий.

Рассмотрена оптимизационная задача о нахождении закона изменения цены удовлетворительного состояния системы, обеспечивающей максимальную прибыль с учетом потерь от неблагоприятного состояния. Получено рекуррентное соотношение для общего дохода производителя, связывающее намечаемые мероприятия на m -ой и $(m+1)$ -ой фазах. Это рекуррентное соотношение используется так: задавшись S_0 , численно находим S_1 , затем, зная S_1 , находим S_2 , и т.д. В результате получаем функцию общего дохода, зависящую только от S_0 . Далее исследуем функцию на экстремум и численно находим максимальную прибыль.

Список использованной литературы

1. Сафронова Т.И., Приходько И.А. Мониторинг почвенно-мелиоративного состояния земель дельты реки Кубань. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2006. - № 17. - С. 12-21.
2. Сафронова, Т.И. Моделирование динамики органического вещества почв / Т.И. Сафронова, И.В. Соколова // В сборнике: Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам 72-й научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2016 г. – 2017. – С. 42-43.
3. Сафронова, Т.И., Луценко Е.В. Исследование семантической информационной модели управления качеством грунтовых вод на рисовых оросительных системах // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного университета. – 2004. №7. – С. 5-28
4. Владимиров, С. А. Интенсификация рисоводства как фактор экологической напряженности / С.А. Владимиров, Е.И. Хатхоху, Н.Н. Крылова, Е.Ф. Чебанова // Науч. журнал Труды КубГАУ. – 2018. – Вып. 7(70). - С. 147-155.
5. Кузнецов, Е. В. Системно-информационная оценка экологического состояния рисовой оросительной системы / Е. В. Кузнецов, Т. И. Сафронова, И. А. Приходько // МиВХ, 2005. - № 3. - С. 28-30.
6. Дьяченко, Н. П. Оптимизация ресурсного обеспечения рисовой оросительной системы / Н. П. Дьяченко, И. А. Приходько // Науч. журнал Труды КубГАУ. - 2007. № 8. - С. 170-173
7. Третьякова Н.В., Шичиях Р.А., Тугуз Н.С. О математических моделях управления материальными потоками / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 133. С. 8-23.
8. Кузнецов, Е.В. Мониторинг экологической обстановки на рисовых оросительных системах / Е.В. Кузнецов, Н.П. Дьяченко, И.А. Приходько // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2007. № 9. С. 201-206.
9. Устройство для сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности воды: пат. 2392379 С1 Рос. Федерация: МПК E02B 15/04 (2006/.01) / О.Г. Дегтярева, Т.И. Сафронова, Г.В. Дегтярев, заявитель и патентодержатель ФГОУ ВПО «КубГАУ». – №. 2009111963/03 31.03.2009., бюл. №17, 7 с.
10. Сафронова, Т.И. Информационная модель управления качеством состояния рисовой оросительной системы / Т. И. Сафронова, И. А. Приходько // Науч. журнал Труды КубГАУ. - 2007. № 6. - С. 11-15.
11. Efrosinin, D. Reliability analysis of an aging unit with a controllable repair facility activation / D. Efrosinin, M. Farkhadov, J. Sztrik, N. Stepanova // Springer proceedings in mathematics and statistics. – 2018. – Pp. 403–417.
12. Владимиров, С.А. Компьютерно-реализуемые модели оптимизации ресурсопотребления в экологическом рисоводстве/ С.А. Владимиров, Е.И. Гронь, Г.В. Аксенов, А.В. Беззубов / Интеграция науки и производства – стратегия устойчивого развития АПК России в ВТО. Материалы междуна-родной научн.-практ. конф., посвященной 70-летию Победы в Сталинградской битве. 30 января – 1февраля 2013 г. г. Волгоград. том 3. – Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2013. С. 213-215.

13. Сафронова, Т.И. Мониторинг почвенно-мелиоративного состояния земель дельты реки Кубань / Т.И. Сафронова, И.А. Приходько // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2006. № 17. С. 12-21. (10 ссылок)

14. Чеботарев, М.И.К вопросу выбора оптимального рисового севооборота для повышения урожайности риса / М.И. Чеботарев, И.А. Приходько // В сборнике: Научное обеспечение агропромышленного комплекса 2012. С. 431-432.

15. Сафронова, Т.И. Теоретическая модель оптимального проектирования агроландшафтов / Т.И. Сафронова, И.А. Приходько // Успехи современного естествознания. 2019. № 3-2. С. 204-209.

16. Сафронова, Т.И. Анализ оценки земельных ресурсов в сельском хозяйстве / Т.И. Сафронова, И.А. Приходько, Л.Н. Кондратенко // Фундаментальные исследования. 2019. № 5. С. 110-114.

Spisok ispol'zovannoj literatury

1. Safronova T.I., Prihod'ko I.A. Monitoring pochvenno-meliorativnogo sostoyaniya zemel' del'ty reki Kuban'. Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2006. -№ 17. - S. 12-21.

2. Safronova, T.I. Modelirovanie dinamiki organicheskogo veshchestva pochv / T.I. Safronova, I.V. Sokolova // V sbornike: Nauchno obespechenie agropromyshlennogo kompleksa: sbornik statej po materialam 72-j nauchno-prakticheskoy konferencii prepodavatelej po itogam NIR za 2016 g. – 2017. – S. 42-43.

3. Safronova, T.I., Lucenko E.V. Issledovanie semanticheskoy informacionnoj modeli upravleniya kachestvom gruntovyh vod na risovyh orositel'nyh sistemah // Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2004. №7. – S. 5-28

4. Vladimirov, S. A. Intensifikaciya risovodstva kak faktor ekologicheskoy napryazhennosti / S.A. Vladimirov, E.I. Hathohu, N.N. Krylova, E.F. CHEbanova // Nauch. zhurnal Trudy KubGAU. – 2018. – Vyp. 7(70). - S. 147-155.

5. Kuznecov, E. V. Sistemno-informacionnaya ocenka ekologicheskogo sostoyaniya risovoj orositel'noj sistemy / E. V. Kuznecov, T. I. Safronova, I. A. Prihod'ko // MiVH, 2005. - № 3. - S. 28-30.

6. D'yachenko, N. P. Optimizaciya resursnogo obespecheniya risovoj orositel'noj sistemy / N. P. D'yachenko, I. A. Prihod'ko // Nauch. zhurnal Trudy KubGAU. - 2007. № 8. - S. 170-173

7. Tret'yakova N.V., SHichiyah R.A., Tuguz N.S. O matematicheskikh modelyah upravleniya material'nymi potokami / Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 133. S. 8-23.

8. Kuznecov, E.V. Monitoring ekologicheskoy obstanovki na risovyh orositel'nyh sistemah / E.V. Kuznecov, N.P. D'yachenko, I.A. Prihod'ko // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2007. № 9. S. 201-206.

9. Ustrojstvo dlya sbora nefi i nefteproduktov s poverhnosti vody: pat. 2392379 S1 Ros. Federaciya: MPK E02B 15/04 (2006/01) / O.G. Degtyareva, T.I. Safronova, G.V. Degtyarev, zayavitel' i patentoderzhatel' FGOU VPO «KubGAU». – №. 2009111963/03 31.03.2009., byul. №17, 7 s.

10. Safronova, T.I. Informacionnaya model' upravleniya kachestvom sostoyaniya risovoj orositel'noj sistemy / T. I. Safronova, I. A. Prihod'ko // Nauch. zhurnal Trudy KubGAU. - 2007. № 6. - S. 11-15.
11. Efrosinin, D. Reliability analysis of an aging unit with a controllable repair facility activation / D. Efrosinin, M. Farkhadov, J. Sztrik, N. Stepanova // Springer proceedings in mathematics and statistics. – 2018. – Pp. 403–417.
12. Vladimirov, S.A. Komp'yuterno-realizuemye modeli optimizacii resursopotrebleniya v ekologicheskom risovodstve/ S.A. Vladimirov, E.I. Gron', G.V. Aksenov, A.V. Bezzubov / Integraciya nauki i proizvodstva – strategiya ustojchivogo razvitiya APK Rossii v VTO. Materialy mezhduna-rodnoj nauchn.-prakt. konf., posvyashchennoj 70-letiyu Pobedy v Stalingradskoj bitve. 30 yanvarya – 1fevralya 2013 g. g. Volgograd. tom 3. – Volgograd: FGBOU VPO Volgogradskij GAU, 2013. S. 213-215.
13. Safronova, T.I. Monitoring pochvenno-meliorativnogo sostoyaniya zemel' del'ty reki Kuban' / T.I. Safronova, I.A. Prihod'ko // Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2006. № 17. S. 12-21. (10 ssylok)
14. CHEbotarev, M.I.K voprosu vybora optimal'nogo risovogo sevooborota dlya povysheniya urozhajnosti risa / M.I. CHEbotarev, I.A. Prihod'ko // V sbornike: Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa 2012. S. 431-432.
15. Safronova, T.I. Teoreticheskaya model' optimal'nogo proektirovaniya agrolandshaftov / T.I. Safronova, I.A. Prihod'ko // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2019. № 3-2. S. 204-209.
16. Safronova, T.I. Analiz ocenki zemel'nyh resursov v sel'skom hozyajstve / T.I. Safronova, I.A. Prihod'ko, L.N. Kondratenko // Fundamental'nye issledovaniya. 2019. № 5. S. 110-114.