

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕЖИМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
РИСОВОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ РИСОВЫХ
ПОЛЕЙ КУБАНИ**

**A MATHEMATICAL MODEL OF THE OPERATION MODE OF A RICE
IRRIGATION SYSTEM USING THE EXAMPLE OF KUBAN RICE FIELDS**



УДК 631.6

DOI:10.24411/2588-0209-2020-10173

Сафронова Татьяна Ивановна

доктор техн. наук, профессор, кафедра «Высшей математики», 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

Safronova Tatyana Ivanovna

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

Prikhodko 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

Строительство рисовых оросительных систем коренным образом изменило исторически сложившиеся ландшафты. Почвообразующие породы кардинальным образом были переформированы, что привело к нарушению естественно сложившегося стока поверхностных и грунтовых вод. Зачастую все эти преобразования выполнялись с нарушением действующих требований. Беспорядочные, нерациональные управленческие решения на рисовой оросительной системе привели обеднению пахотного горизонта в связи с

вымыванием из него макро и микроэлементов, гумуса в нижележащие горизонты, а все это, наряду с высоким уровнем грунтовых вод на рисовых системах обусловило появление процессов осолонцевания и вторичного засоления пахотного слоя рисовых чеков. Существенным изменениям подвергается морфологический почвенный профиль, за счет изменения физико-химических показателей почв и протекающих элювиально-глеевого процесса. Защита агроресурсного потенциала почв в последние 10 лет получило большую поддержку на самом высоком уровне, так широко используются федеральные и краевые программы защиты земель от деградации. Следовательно, задачи, решаемые в наших исследованиях, являются актуальными, а их решения позволят укрепить экономическую безопасность России. Решение данной задачи в статье осуществляется путем описания режима функционирования рисовой оросительной системы с вероятностной точки зрения. В статье, с помощью пуассоновских потоков определенной интенсивности выполняется оценка последствия антропогенной нагрузки. Такой подход позволяет рассмотреть неопределенность в терминах вероятностных распределений. Введена в рассмотрение функция $S(t)$, характеризующая качество почвы. Функция $S(t)$ предполагается монотонно убывающей. Рассматривается вероятность $R(S)$ достижения определенного качества почвы. При минимальном количестве гумуса S_m почва деградирует. В этих предположениях получено выражение среднего значения и плотности вероятностей длительности наступления определенного состояния почвы.

Summary

The construction of rice irrigation systems has fundamentally changed historically formed landscapes. The parent rocks were radically reorganized, which led to the disruption of the naturally formed runoff of surface and ground waters. Often, all these transformations were performed in violation of applicable requirements. Random, irrational management decisions on the rice irrigation system have led to a depletion of the arable horizon due to leaching of macro and micronutrients, humus from it to the underlying horizons, and all this, along with a high level of groundwater in rice systems, has led to the emergence of salinization and secondary salinization of the arable layer rice checks. The morphological soil profile undergoes significant changes due to changes in the physicochemical parameters of soils and the ongoing eluvial-glue process. The protection of the agro-resource potential of soils in the last 10 years has received great support at the highest level, so federal and regional programs for protecting land from degradation are so widely used. Consequently, the tasks to be solved in our studies are relevant, and their solutions will strengthen the economic security of Russia. The solution of

this problem in the article is carried out by describing the functioning mode of the rice irrigation system from a probabilistic point of view. In the article, with the help of Poisson flows of a certain intensity, the consequences of anthropogenic load are estimated. This approach allows to consider uncertainty in terms of probability distributions. The function, characterizing soil quality $S(t)$ was introduced. The function $S(t)$ assumed to be monotonously decreasing. The probability $R(S)$ of achieving a certain soil quality was considered. In case of minimum amount of humus S_m the soil is degrading. In these assumptions the average value expression and probability density of particular soil condition onset duration was received.

Ключевые слова: севообороты, эффективность землепользования, урожайность культур, плодородие почвы.

Keywords: crop rotation, land use efficiency, crop yields, soil fertility.

Введение. В историческом аспекте произошла значительная трансформация ландшафтов Низовий Кубани. Особенно этому процессу были подвержены ландшафты в дельтово-плавневой зоне реки Кубань [1].

Такой переход обуславливается изменением окислительно-восстановительного баланса почвенных реакций и перераспределением соотношения объемов поверхностного и грунтового стока.

В результате восстановительные почвенные процессы, протекающие по болотному типу, приобрели сезонный (сменный) характер. А в основу технологических процессов по возделыванию риса как мелиорирующей культуры был заложен принципиально новый подход к регулированию окислительно-восстановительного потенциала почв. Основной акцент в технологических предпосевных операционных обработках почвы был направлен на стимулирование окислительных процессов [2].

Как следствие – природные дельтовые ландшафты во многом не пригодные для возделывания сельскохозяйственных культур приобрели свойства культурных ирригационно-рисовых агроландшафтов.

Эти свойства усилили инженерные совершенные в мелиоративном аспекте, системы, в которых обеспечивался промывной режим, разделена водоподача и водотоотвод и регулирование условий формирования уровненного режима грунтового стока [3].

В результате обеспечения такого более чем 50-летнего почвенного режима, были сформированы так называемые «рисовые нивы»: луговые-черноземные, луговые, аллювиальные луговые насыщенные и аллювиально лугово-болотные.

После такой исторической трансформации почвы получили новые потребительские свойства, социальную и экологическую значимость.

Однако антропогенные воздействия на такую систему имеют схожие тенденции, характерные для орошаемого земледелия [4,5].

Материал и методы. Рассмотрим с вероятностной точки зрения основные факторы деградации почв рисовых полей Кубани – уменьшение содержания гумуса, ухудшение его качественного состава, декарбонизация верхних горизонтов почвы и ее ощелачивание [6,7].

Пусть $S(t)$ – характерное качество почвы (например, наличие определенного количества и качества гумуса). Рассматриваем $S(t)$ монотонно убывающей функцией от времени от некоторого значения $S_0 = S(0)$. Уравнение $S(t) = S$ можно однозначно разрешить относительно аргумента t и получить соотношение $t = t(S)$.

Будем считать, что проводимые мелиоративные мероприятия образуют пуассоновский поток постоянной интенсивности λ . Введем обозначение: $R(S)$ – вероятность достижения качества почвы, разумеется, зависящая от самого качества. Тогда $1 - R(S)$ есть вероятность того, что почва не обладает нужным качеством. Будем считать далее, что $R(S)$ – монотонно убывающая функция, т. е. со временем состояние почвы ухудшается. Кроме этого, будем считать, что при минимальном количестве гумуса S_m почва деградирует, так что $R(S_m) = 1$ и $\lim_{t \rightarrow \infty} S(t) = S_m$.

Результаты. Подготовим вероятностную характеристику (*математическое ожидание*) длительности наступления определенного состояния почвы [8,9].

Время τ между моментом времени t и моментом приобретения почвой определенного качества – случайная величина. Обозначим через $m_t(S)$ условное математическое ожидание величины τ при условии, что в момент времени t почва не обладала рассматриваемым качеством и ее характеристика была равна S , то есть $m_t(S) = M\{\tau | S(t) = S\}$. Составим уравнение для $m_t(S)$.

Для момента времени $t + \Delta t$ можно отметить: за интервал времени Δt с вероятностью $\lambda R(S)\Delta t$ определенное состояние наступит и оставшееся время станет равным 0. С вероятностью $1 - \lambda R(S)\Delta t$ состояние не будет достигнуто и оставшееся время станет равным $m_t(S + \Delta S)$. Учитывая проведенные рассуждения, можем записать

$$m_t(S) = \Delta t + \lambda R(S)\Delta t \cdot 0 + (1 - \lambda R(S)\Delta t)m_t(S + \Delta S). \quad (1)$$

Запишем ряд Тейлора для $m_t(S + \Delta S)$

$$m_t(S) = \Delta t + (1 - \lambda R(S)\Delta t)[m_t(S) + m'_t(S) \cdot \Delta S].$$

После преобразований и перехода к пределу при $\Delta t \rightarrow 0$ получим

$$0 = 1 - \lambda R(S)m_t(S) + m'_t(S) \frac{dS}{dt}.$$

Найдем зависимость $t = t(S)$ и введем функцию

$$a(S) = - \left. \frac{dS}{dt} \right|_{t=t(S)}. \quad (2)$$

Так как функция S – убывающая, $a(S) > 0$.

Обозначим $p(S) = \lambda R(S)/a(S)$.

Имея в виду выражение для функции (S) , можем записать

$$m'_t(S)a(S) + p(S)m_t(S) = 1,$$

После деления на $a(S)$ получаем окончательно уравнение для $m_t(S)$:

$$m'_t(S) + g(S)m_t(S) = \frac{1}{a(S)}. \quad (3)$$

Общее решение уравнения (3)

$$m_t(S) = C_0 \cdot \exp\left(-\int_{S_m}^S g(x)dx\right) + \int_{S_m}^S \frac{1}{a(y)} \exp\left(-\int_y^S g(x)dx\right) dy. \quad (4)$$

Чтобы найти произвольную постоянную, проведем следующие рассуждения. Если $S(t) = S_m$ и $R(S_m) = 1$, то можем утверждать, что среднее время равно $1/\lambda$, так как поток проводимых мероприятий является пуассоновским потоком интенсивности λ , [4,10]. И тогда из (4) при $S = S_m$ получим $C_0 = 1/\lambda$.

$$m_t(S) = \frac{1}{\lambda} \cdot \exp\left(-\int_{S_m}^S g(x)dx\right) + \int_{S_m}^S \frac{1}{a(y)} \exp\left(-\int_y^S g(x)dx\right) dy. \quad (5)$$

Выражение (5) определяет среднюю длительность наступления определенного состояния почвы.

Найдем теперь плотность вероятностей длительности наступления определенного состояния, используя преобразование Лапласа. Введем функцию

$$G_t(q, S) = M\{e^{-q\tau} | S(t) = S\}. \quad (6)$$

Для момента времени $t + \Delta t$ можем записать

$$G_t(q, S) = \lambda R(S) \Delta t \cdot e^{-q\Delta t} + (1 - \lambda R(S) \Delta t \cdot e^{-q\Delta t} G_t(q, S + \Delta S)) \quad (7)$$

Далее имеем

$$e^{-q\Delta t} = 1 - q\Delta t + o(\Delta t),$$

$$G_t(q, S + \Delta S) = G_t(q, S) + \frac{\partial G_t(q, S)}{\partial S} \Delta S + o(\Delta t).$$

Подставляем подготовленные выражения в (7):

$$G_t(q, S) = G_t(q, S) + \frac{\partial G_t(q, S)}{\partial S} \Delta S - (\lambda R(S) + q) G_t(q, S) \Delta t + \lambda R(S) \Delta t.$$

После преобразований и перехода к пределу при $\Delta t \rightarrow 0$, найдем

$$\frac{\partial G_t(q, S)}{\partial S} a(S) + (\lambda R(S) + q) G_t(q, S) = \lambda R(S),$$

или

$$\frac{\partial G_t(q, S)}{\partial S} + \left(g(S) + \frac{q}{a(S)}\right) G_t(q, S) = g(S). \quad (8)$$

Запишем общее решение соответствующего однородного уравнения

$$\frac{\partial G_t(q, S)}{\partial S} + \left(g(S) + \frac{q}{a(S)}\right) G_t(q, S) = 0$$

$$G_t(q, S) = C(q) \cdot \exp\left(-\int_{S_m}^S \left(g(x) + \frac{q}{a(x)}\right) dx\right).$$

Далее будем искать общее решение уравнения (8) в виде

$$G_t(q, S) = C(q, S) \cdot \exp\left(-\int_{S_m}^S \left(g(x) + \frac{q}{a(x)}\right) dx\right).$$

Используя полученное выражение, можем записать

$$\frac{\partial C(q, S)}{\partial S} = g(S) \cdot \exp\left(\int_{S_m}^S \left(g(x) + \frac{q}{a(x)}\right) dx\right),$$

откуда

$$C(q, S) = C_0(q) + \int_{S_m}^S g(y) \cdot \exp\left(\int_{S_m}^y \left(g(x) + \frac{q}{a(x)}\right) dx\right) dy.$$

Таким образом, общее решение уравнения (8) имеет вид

$$G_t(q, S) = C_0(q) \cdot \exp\left(-\int_{S_m}^S \left(g(x) + \frac{q}{a(x)}\right) dx\right) + \int_{S_m}^S g(y) \cdot \exp\left(-\int_y^S \left(g(x) + \frac{q}{a(x)}\right) dx\right) dy. \quad (9)$$

Находим $C_0(q)$. При $t = S_m$, $p(S_m) = 1$. Так как поток проводимых мероприятий является пуассоновским потоком интенсивности λ , то плотность вероятностей величины временного интервала до наступления определенного состояния будет равна $p(\tau) = \lambda e^{-\lambda\tau}$ и преобразование Лапласа от этой функции имеет вид $\frac{\lambda}{\lambda+q}$ [8,11].

Из общего решения (9) при $S = S_m$ получаем

$$G_t(q, S) = \frac{\lambda}{\lambda+q} \cdot \exp\left(-\int_{S_m}^S \left(g(x) + \frac{q}{a(x)}\right) dx\right) + \int_{S_m}^S g(y) \cdot \exp\left(-\int_y^S \left(g(x) + \frac{q}{a(x)}\right) dx\right) dy. \quad (10)$$

Если в момент времени $t = 0$, $S(0) = S_0$, то

$$G_t(q, S_0) = \frac{\lambda}{\lambda+q} \cdot \exp\left(-\int_{S_m}^{S_0} \left(g(x) + \frac{q}{a(x)}\right) dx\right) + \int_{S_m}^{S_0} g(y) \cdot \exp\left(-\int_y^{S_0} \left(g(x) + \frac{q}{a(x)}\right) dx\right) dy \quad (11)$$

Далее найдем обратное преобразование Лапласа от этого выражения.

Опуская промежуточные выкладки окончательно получим

$$p(\tau) = \begin{cases} -g(S(\tau)) \cdot \exp\left(-\int_{S(\tau)}^{S_0} g(x) dx\right) S'(\tau), & 0 \leq \tau < t(S_m), \\ \lambda e^{-\lambda(\tau-t(S_m))} \cdot \exp\left(-\int_{S_m}^{S_0} g(x) dx\right), & \tau \geq t(S_m). \end{cases} \quad (12)$$

Далее проверим для $p(\tau)$ выполнение условия нормировки.

$$\int_{t(S_m)}^{\infty} \lambda e^{-\lambda(\tau-t(S_m))} d\tau \cdot \exp\left(-\int_{S_m}^{S_0} g(x) dx\right) = \exp\left(-\int_{S_m}^{S_0} g(x) dx\right).$$

Далее,

$$-\int_0^{t(S_m)} g(S(\tau)) \cdot \exp\left(-\int_{S(\tau)}^{S_0} g(x) dx\right) S'(\tau) d\tau = \int_{S_m}^{S_0} g(y) \cdot \exp\left(-\int_y^{S_0} g(x) dx\right) dy = \int_{S_m}^{S_0} d_y \cdot \exp\left(-\int_y^{S_0} g(x) dx\right) = \exp\left(-\int_y^{S_0} g(x) dx\right) \Big|_{S_m}^{S_0} = 1 - \exp\left(-\int_{S_m}^{S_0} g(x) dx\right).$$

Отсюда следует, что $\int_0^{\infty} p(\tau) d\tau = 1$, то есть условие нормировки выполнено.

Обсуждение. Следует отметить, что в рисовом севообороте с 65%-ым насыщением рисом, годовой прирост надземной массы составляет 5-6 т/га, подземной 2,5-3 т/га, но это не компенсирует потери органического вещества почвы даже в случае измельчения и заправки соломы [12].

Деградационные явления в почвах рисовых полей в определенной мере связаны с механико-физическими воздействиями при обработках. Применение капитальной и эксплуатационных планировок, большой объем других земляных работ при строительстве рисовых систем приводит к перемещению и перемешиванию больших почвенных масс. Образовавшийся при этом новый пахотный горизонт, как правило, существенно отличается от первоначального гумусового горизонта целины, причем в сторону снижения содержания органического вещества и элементов минерального питания.

Рассмотрим графическую интерпретацию плотности вероятностей при различных наборах параметров, определяющих характерное качество почвы

Пусть зависимость качества почвы от времени имеет вид

$$S(t) = S = S_m + (S_0 - S_m)e^{-\alpha t}, \quad (13)$$

так что $S(0) = S_0$ и $\lim_{t \rightarrow \infty} S(t) = S_m$.

Тогда

$$\frac{dS}{dt} = -\alpha(S_0 - S_m)e^{-\alpha t} = -\alpha(S - S_m),$$

так что $\alpha(S) = \alpha(S - S_m)$. Функция $\alpha(S)$ была введена равенством (2)

Рассмотрим $R(S)$ в виде

$$R(S) = \frac{S_M - S}{S_M - S_m},$$

так что $R(S_M) = 0$ и $R(S_m) = 1$. Величина S_M – максимальное качество, при котором не отмечается ущерб природной среде, S_m – минимальное качество, при котором всегда отмечается ущерб природной среде.

В этом случае

$$g(S) = \frac{\lambda}{\alpha} \cdot \frac{S_M - S}{(S_M - S_m)(S - S_m)},$$

Обозначим $\frac{\lambda}{\alpha} = \rho$ – безразмерная величина.

С учетом (13) выражение для плотности вероятностей $p(\tau)$ случайной величины (длительности наступления определенного состояния системы) можно записать в следующем виде:

$$p(\tau) = \frac{\rho}{S_M - S_m} \cdot \frac{(S_M - S_m) - (S_0 - S_m)e^{-at}}{(S_0 - S_m)e^{-at}} \times \alpha(S_0 - S_m)e^{-at} \times \exp\left(-\rho \int_{S_m + (S_0 - S_m)e^{-at}}^{S_0} \frac{S_M - x}{(x - S_m)(S_M - S_m)} dx\right),$$

Перейдем к безразмерной величине $\zeta = a\tau$. После ряда упрощений можно получить:

$$p(\zeta) = \rho(1 - \Delta e^{-\zeta}) \exp\left(-\rho \int_{e^{-\zeta}}^1 \frac{1 - \Delta u}{u} du\right),$$

Вычислив интеграл, получаем окончательно

$$p(\zeta) = \rho(1 - \Delta e^{-\zeta}) \exp\left(-\rho\zeta + \rho\Delta(1 - e^{-\zeta})\right), \zeta \geq 0.$$

В выражении (17) использовано обозначение параметра

$$\Delta = \frac{S_0 - S_m}{S_M - S_m}, \tag{18}$$

который изменяется в пределах $0 \leq \Delta \leq 1$.

Отметим, что $p(0) = \rho(1 - \Delta)$ и $p(+\infty) = 0$.

Примеры графиков $p(\zeta)$ при разных наборах параметров Δ и ρ приведены на рис. 1–2.

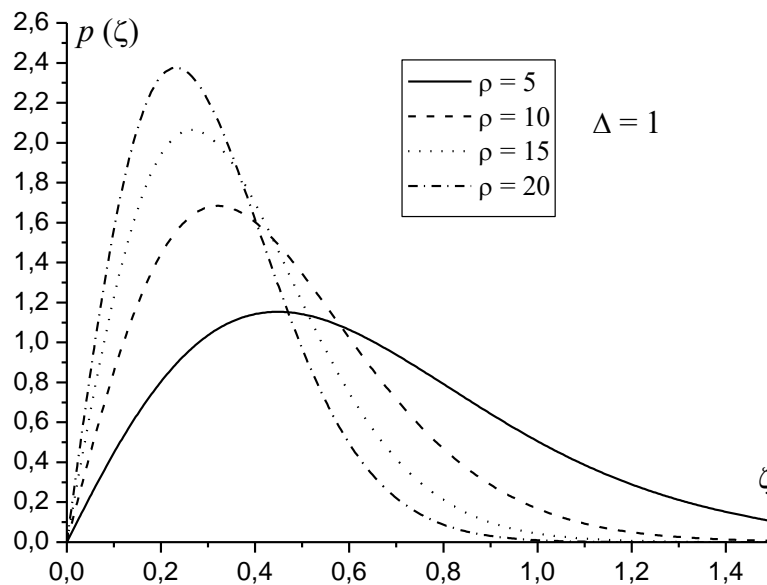


Рисунок 1 – График функции $p(\zeta)$, $\Delta = 1$

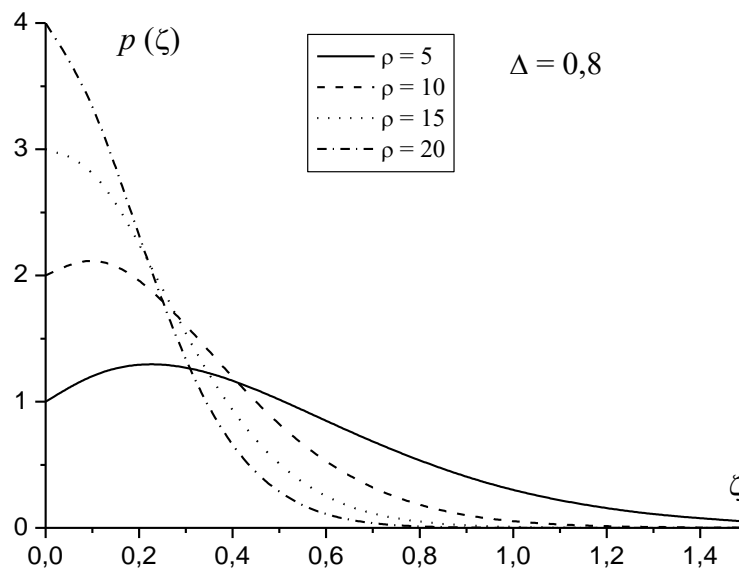


Рисунок 2 – График функции $p(\zeta)$, $\Delta = 0,8$

Выводы. В статье предлагается вероятностная модель оценки роли основных факторов деградации почв рисовых полей Кубани, которая позволяет снизить риски неопределенностей при принятии управленческих решений. Предложено рассматривать неопределенность в терминах вероятностных распределений. Оцениваемые параметры трактуются случайными величинами. Эксплуатационные мероприятия рассматриваются пуассоновским потоком определенной интенсивности при непрерывном изменении качества почвы.

Математическая модель отражает условия функционирования рисовых оросительных систем, дает оценку последствий антропогенной нагрузки и может расширяться при учете всевозможных факторов влияния на оценку состояния почвы. Предложенную модель можно использовать для управления рисовой оросительной системой в зависимости от природно-климатических факторов. Проведение планово-предупредительных природоохранных мероприятий позволит сократить капитальные затраты на ликвидацию негативных последствий.

Список использованной литературы

1. Сафронова, Т.И. Теоретическая модель оптимального проектирования агроландшафтов / Т.И. Сафронова, И.А. Приходько // Успехи современного естествознания. 2019. № 3-2. С. 204-209.
2. Сафронова Т.И. Мониторинг почвенно-мелиоративного состояния земель дельты реки Кубань / Т.И. Сафронова, И.А. Приходько // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного университета. 2006. №17. С.12 – 21
3. Сафронова Т.И. Информационная модель управления качеством состояния рисовой оросительной системы / Т.И. Сафронова, И.А. Приходько // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2007. № 6. С. 11-15.3.
4. Сафронова Т.И. Исследование семантической информационной модели управления качеством грунтовых вод на рисовых оросительных системах / Т.И. Сафронова,

Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного университета. 2004. № 7. С. 5 – 28

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

6. 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.

7. Кузнецов, Е.В. Способ подготовки почвы к посеву риса в паровом поле рисового севооборота / Е.В. Кузнецов, А.Е. Хаджиди, И.А. Приходько // Патент на изобретение RU 2457650 С1, 10.08.2012. Заявка № 2010153809/13 от 27.12.2010.

8. Кузнецов, Е.В. Оценка эффективности севооборотов на существующих и восстановленных рисовых полях для разработки сбалансированной рисовой оросительной системы / Е.В. Кузнецов, М.И. Чеботарев, И.А. Приходько // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2011. № 28. С. 149-152.

9. Чеботарев, М.И. Способ мелиорации почвы рисовой оро-сительной системы к посеву риса / М.И. Чеботарев, И.А. Приходько // Патент на изобретение RU 2482663 С2, 27.05.2013. Заявка № 2011123829/13 от 10.06.2011.

10. Сафронова Т.И. Исследование семантической информационной модели управления качеством грунтовых вод на рисовых оросительных системах [Текст] / Т.И. Сафронова, Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного университета. 2004. № 7. С. 5 – 28

11. Kumar, S. Developing soil matric potential based irrigation strategies of direct seeded rice for improving yield and water productivity / S. Kumar, B. Narjary, K. H.S. Kumar, Jat, S.K. Kamra, R.K. Yadav // Agricultural Water Management. 2019. Volume 215, Pages 8-15.

12. Bhuiyan, K.A. Grain yield, growth response, and water use efficiency of direct wet-seeded rice as affected by nitrogen rates under alternate wetting and drying irrigation system / K.A. Bhuiyan, S.U. Bhuiya, M.A. Saleque, A. Khatun // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2018. Volume 49, Issue 20, Pages 2527-2545.

Spisok ispol'zovannoi literatury

1. 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.

2. Safronova T.I. Monitoring pochvenno-meliorativnogo sostoyaniya zemel' del'ty reki Kuban' / T.I. Safronova, I.A. Prihod'ko // Politematicheskii setevoi ehlektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo universiteta. 2006. №17. S.12 – 21

3. Safronova T.I. Informatsionnaya model' upravleniya kachestvom sostoyaniya risovoi orositel'noi sistemy / T.I. Safronova, I.A. Prihod'ko // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2007. № 6. S. 11-15.3.

4. Safronova T.I. Issledovanie semanticheskoi informatsionnoi modeli upravleniya kachestvom gruntovykh vod na risovykh orositel'nykh sistemakh / T.I. Safronova, E.V. Lutsenko // Politematicheskii setevoi ehlektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo universiteta. 2004. № 7. S. 5 – 28

5. Safronova T.I. Analiz otsenki zemel'nykh resursov v sel'skom khozyaistve [Tekst] / T.I. Safronova, I.A. Prikhod'ko, L.N. Kondratenko // Fundamental'nye issledovaniya, 2019. – № 5. – S.110 – 114
6. Chebotarev, M.I. K voprosu vybora optimal'nogo risovogo sevooborota dlya povysheniya urozhainosti risa / M.I. Chebotarev, I.A. Prikhod'ko // V sbornike: Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa 2012. S. 431-432.
7. Kuznetsov, E.V. Sposob podgotovki pochvy k posevu risa v parovom pole risovogo sevooborota / E.V. Kuznetsov, A.E, Khadzhide, I.A. Prikhod'ko // Patent na izobretenie RU 2457650 C1, 10.08.2012. Zayavka № 2010153809/13 ot 27.12.2010.
8. Kuznetsov, E.V. Otsenka ehffektivnosti sevooborotov na sushchestvuyushchikh i vosstanovlennykh risovykh polyakh dlya razrabotki sbalansirovannoi risovoi orositel'noi sistemy / E.V. Kuznetsov, M.I. Chebotarev, I.A. Prikhod'ko // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2011. № 28. S. 149-152.
9. Chebotarev, M.I. Sposob melioratsii pochvy risovoi oro-sitel'noi sistemy k posevu risa / M.I. Chebotarev, I.A. Prikhod'ko // Patent na izobretenie RU 2482663 C2, 27.05.2013. Zayavka № 2011123829/13 ot 10.06.2011.
10. Safronova T.I. Issledovanie semanticheskoi informatsionnoi modeli upravleniya kachestvom gruntovykh vod na risovykh orositel'nykh sistemakh [Tekst] / T.I. Safronova, E.V. Lutsenko // Politematicheskii setevoi ehlektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo universiteta. 2004. № 7. S. 5 – 28
11. Kumar, S. Developing soil matric potential based irrigation strategies of direct seeded rice for improving yield and water productivity / S. Kumar, B. Narjary, K. H.S. Kumar, Jat, S.K. Kamra, R.K. Yadav // Agricultural Water Management. 2019. Volume 215, Pages 8-15.
12. Bhuiyan, K.A. Grain yield, growth response, and water use efficiency of direct wet-seeded rice as affected by nitrogen rates under alternate wetting and drying irrigation system / K.A. Bhuiyan, S.U. Bhuiya, M.A. Saleque, A. Khatun // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2018. Volume 49, Issue 20, Pages 2527-2545.