

УДК 631.6:519.87

Т. И. Сафронова

Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация

В. И. Степанов

Алтайский экономико-юридический институт, Барнаул, Российская Федерация

**ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МЕЛИОРАТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ**

Целью исследований являлось количественное оценивание проведения мелиоративных мероприятий – их состава, объема, очередности. С помощью мелиоративных приемов осуществляется регулирование водного и связанных с ним воздушного, теплового и питательного режимов почв. Основными видами мелиорации являются орошение, обводнение, осушение, борьба с эрозией почв, фитомелиорация, химическая мелиорация. Эти приемы обеспечивают повышение плодородия почв. С изменением экологических условий и развитием технического прогресса приемы улучшения условий жизни сельскохозяйственных культур постоянно совершенствуются, разрабатываются новые технические средства регулирования режимов почв. В таких условиях для исследователя очень важно уметь выявить перспективные направления мелиоративных исследований. Авторы предлагают одну из возможных моделей принятия управленческих решений при проведении мелиоративных мероприятий с учетом неконтролируемых факторов внешней среды, в которой рассматривают мелиоративные мероприятия пуассоновским потоком определенной интенсивности. Разработана вероятностная модель процесса снижения цены мелиоративного мероприятия. Подчеркнуто, что длительность фазы зависит от числа намечаемых мероприятий и среднее время до наступления удовлетворительного мелиоративного состояния – случайная величина. Определено математическое ожидание (среднее значение) времени достижения удовлетворительного мелиоративного состояния. Модель может быть использована для совершенствования управления мелиоративными системами и своевременной разработки мероприятий по недопущению ухудшения почвенно-мелиоративного состояния орошаемых земель, для повышения экологической надежности их функционирования.

Ключевые слова: мелиоративная система; длительность функционирования; неопределенность; математическая модель; вероятностные характеристики.

T. I. Safronova

Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

V. I. Stepanov

Altai Economics and Law Institute, Barnaul, Russian Federation

**PROBABILISTIC MODELLING OF MANAGERIAL DECISION-MAKING
WHEN IMPLEMENTING RECLAMATION MEASURES**

The aim of the research was the qualitative assessment of land reclamation measures realization – their structure, extent, priority. Water and related air, heat and nutrient regimes of soils are regulated with the help of reclamation techniques. The main types of land reclamation are irrigation, watering, drainage, soil erosion control, phytoreclamation, and chemical reclamation. These techniques provide the soil fertility increase. With the changing environmental conditions and development of technological progress, methods for improving the

growing conditions of crops are constantly improved, and new technical means of soil regimes regulation are developed. It is very important under such conditions for the researcher to be able to identify the promising areas of reclamation investigations. One of the possible models for making managerial decisions when conducting reclamation measures is proposed, taking into account uncontrolled environmental factors, where reclamation measures are considered with a Poisson flow of a certain intensity. A probabilistic model of the process of price reduction of land reclamation measures has been developed. It is emphasized that the duration of the phase depends on the number of planned activities and the average time to a satisfactory reclamation state is a random variable. The mathematical expectation (average value) of time for achieving a satisfactory reclamation state is determined. The model can be used for improving the management of reclamation systems and the timely development of measures to prevent the deterioration of the soil-reclamation state of irrigated lands, to improve the environmental reliability of their functioning.

Key words: reclamation system; duration of operation; uncertainty; mathematical model; probabilistic characteristics.

Введение. В мелиорации важнейшим объектом является земля с ее почвенным покровом. Потому важны методы, позволяющие заранее оценить намечаемые мероприятия для повышения плодородия почв и для ликвидации ущерба окружающей среде. Интенсивное развитие сельского хозяйства не может эффективно продолжаться без комплексных мероприятий по охране сельскохозяйственных земель от различных видов деградаций. С одной стороны, необходимо обеспечивать получение максимального урожая сельскохозяйственных культур, с другой – сохранить и приумножить плодородие почвы и не допустить отрицательного антропогенного воздействия на окружающую среду. Для расширенного воспроизводства почвенного плодородия необходима система мероприятий – внесение в почву минеральных и органических удобрений, агротехнические и мелиоративные приемы, стимулирование процессов гумусообразования и т. д. Повышение биогенности почв, пополнение запасов органического вещества – общее условие повышения устойчивости агроландшафтов. Необходимо определить оптимальный перечень мелиоративных работ, обеспечивающий максимальную эффективность мелиорации при заданных ограничениях на капиталовложения и другие ресурсы.

Разработка количественных методов обоснования выбора наиболее целесообразных вариантов и принятия управленческих решений актуальна в настоящее время [1, 2]. Чем сложнее, дороже намечаемое мероприятие, тем менее допустимы в нем волевые решения и тем актуальнее становятся научные методы, позволяющие заранее оценить последствия каждого решения, исключить недопустимые варианты и рекомендовать наиболее удачные. Цена принимаемых решений очень высока.

Материал и методы. Рассмотрим математическую модель процесса снижения стоимости намечаемого мелиоративного мероприятия.

Пусть на начальном этапе планируются мелиоративные мероприятия на длительность функционирования T_1 , стоимость которых S_1 (S_i – эксплуатационные затраты). Если за время T_1 отрицательные последствия мелиоративных мероприятий не устранены, намечаются новые мелиоративные мероприятия, стоимость которых S_2 и длительность функционирования T_2 . Если за время T_2 отрицательные последствия не устранены, намечаются новые мелиоративные мероприятия на длительность функционирования T_3 стоимостью S_3 и т. д. Каждый отрезок времени будем называть фазой, и отмечаем, что длительность фазы зависит от числа намечаемых мероприятий. Этот процесс пояснен рисунком 1.

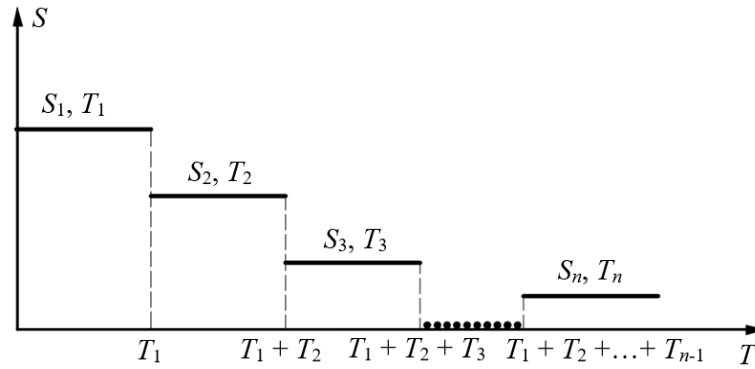


Рисунок 1 – Модель выбора намечаемых мероприятий с понижением стоимости

Рассматриваем последовательность намечаемых мелиоративных мероприятий пуассоновским потоком интенсивности λ . На n -й фазе удовлетворительное мелиоративное состояние будет достигнуто с вероятностью $R_n = R(S_n)$.

Определим среднее время до наступления удовлетворительного мелиоративного состояния.

Рассмотрим некоторую фазу (отрезок времени) длительностью T , в которой удовлетворительное состояние наступает с вероятностью R . Поток намечаемых эксплуатационных мероприятий есть пуассоновский поток интенсивности λ . Так как мероприятия независимы друг от друга и вероятность положительного исхода равна R , то поток мероприятий, приводящих систему к удовлетворительному состоянию, является также пуассоновским потоком, но с интенсивностью, равной λR [3–5]. Поэтому плотность вероятностей интервалов времени τ имеет вид $p(\tau) = R\lambda e^{-\lambda R\tau}$.

Если в интервале времени длиной T удовлетворительное состояние наступило, то условная плотность вероятностей интервала времени от начала фазы до этого момента будет равна:

$$p(\tau | \tau \leq T) = \frac{p(\tau)}{P(\tau \leq T)}, \quad 0 \leq \tau \leq T.$$

Сделаем подробную запись:

$$p(\tau | \tau \leq T) = \frac{R\lambda e^{-\lambda R\tau}}{\int_0^T R\lambda e^{-\lambda R\tau} d\tau} = \frac{R\lambda e^{-\lambda R\tau}}{1 - P}, \quad (1)$$

где P – вероятность того, что в интервале времени длиной T удовлетворительное состояние не наступило.

Из выражения (1) следует:

$$M\{\tau | \tau \leq T\} = \frac{\int_0^T R\lambda \tau e^{-\lambda R\tau} d\tau}{1 - P}.$$

После вычисления интеграла в числителе получим:

$$M\{\tau | \tau \leq T\} = \frac{T}{1 - P} \cdot \varphi_1(\lambda RT). \quad (2)$$

В равенство (2) введена функция:

$$\varphi_1(x) = \frac{1 - (1 + x)e^{-x}}{x},$$

график которой приведен на рисунке 2:

$$M\{\tau | \tau \leq T\}(1 - P) = T \cdot \varphi_1(\lambda RT).$$

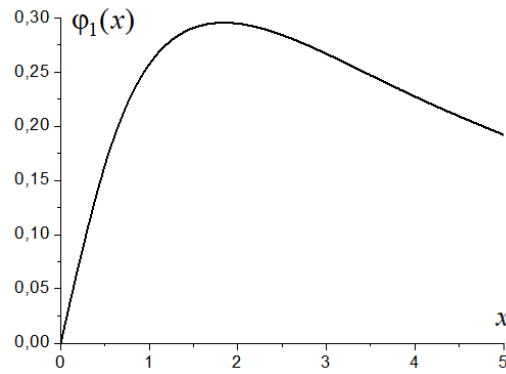


Рисунок 2 – График функции $\varphi_1(x)$

Результаты и обсуждение. Результатом исследований является разработка инновационных технологических карт, учитывающих весь спектр особенностей выращивания культуры в данном регионе с учетом природно-климатических и почвенных факторов. Данную методику можно назвать эколого-адаптивной технологией, базирующейся на математической модели повышения урожайности сельскохозяйственных культур с сохранением плодородия почв и экологической ситуации. Решение данной задачи заключается в необходимости определения оптимального перечня мелиоративных работ, обеспечивающего максимальную эффективность мелиорации [6].

Теперь составим выражение для математического ожидания времени наступления удовлетворительного мелиоративного состояния [7, 8]. Так как удовлетворительное состояние наступает на n -й фазе с вероятностью $Q_n = \prod_{i=1}^{n-1} P_i \cdot (1 - P_n)$, то:

$$M\{\tau\} = \bar{\tau} = \sum_{n=1}^{\infty} \left[(T_1 + T_2 + \dots + T_{n-1}) \prod_{i=1}^{n-1} P_i (1 - P_n) + T_n \varphi_1(\lambda R_n T_n) \prod_{i=1}^{n-1} P_i \right],$$

где P_i – вероятность того, что в интервале времени длиной T_i удовлетворительное состояние не наступило.

При этом считается, что $\prod_{i=1}^0 P_i = 1$.

После упрощения можем записать:

$$\bar{\tau} = \sum_{n=1}^{\infty} (1 - P_n) \prod_{i=1}^{n-1} P_i \left(\sum_{k=1}^{n-1} T_k \right) + \sum_{n=1}^{\infty} T_n \varphi_1(\lambda R_n T_n) \prod_{i=1}^{n-1} P_i.$$

Рассмотрим первое слагаемое. Переставив в первом слагаемом суммы, получим:

$$\sum_{n=1}^{\infty} (1 - P_n) \prod_{i=1}^{n-1} P_i \left(\sum_{k=1}^{n-1} T_k \right) = \sum_{k=1}^{\infty} T_k \sum_{n=k+1}^{\infty} (1 - P_n) \prod_{i=1}^{n-1} P_i.$$

Так как $\prod_{i=1}^{\infty} P_i = 0$, можем записать:

$$M\{\tau\} = \bar{\tau} = \sum_{n=1}^{\infty} T_n P_n \prod_{i=1}^{n-1} P_i + \sum_{n=1}^{\infty} T_n \varphi_1(\lambda R_n T_n) \prod_{i=1}^{n-1} P_i = \sum_{n=1}^{\infty} T_n \psi_1(\lambda R_n T_n) \prod_{i=1}^{n-1} P_i,$$

$$\psi_1(\lambda R_n T_n) = P_n + \varphi_1(\lambda R_n T_n) = e^{-\lambda R_n T_n} + \varphi_1(\lambda R_n T_n).$$

Отсюда следует выражение для функции:

$$\psi_1(x) = e^{-x} + \varphi_1(x) = \frac{1 - e^{-x}}{x},$$

график которой изображен на рисунке 3. Итак, окончательно:

$$\bar{\tau} = \sum_{n=1}^{\infty} T_n \psi_1(\lambda R_n T_n) \cdot \exp\left(-\sum_{k=1}^{n-1} \lambda R_k T_k\right),$$

где считается, что $\sum_{k=1}^0 \lambda R_k T_k = 0$.

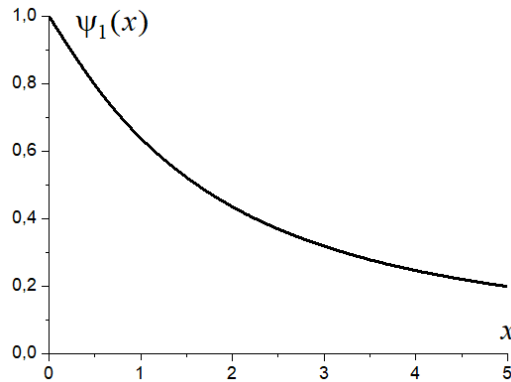


Рисунок 3 – График функции $\psi_1(x)$ для нахождения $\bar{\tau}$

Далее рассмотрим вопрос об оптимальном законе изменения стоимости мероприятий [8]. Если удовлетворительное состояние системы наступит в момент времени τ , то общий доход Q предприятия от проведенных мероприятий можно записать в виде:

$$Q = \int_0^{\infty} (S(\tau) - K(\tau)) \lambda R(S(\tau)) \exp\left(-\int_0^{\tau} \lambda R(S(t)) dt\right) d\tau, \quad (3)$$

и потребовать $Q \rightarrow \max_{S(\tau)}$.

В выражении (3) функция $S(\tau)$ – стоимость мероприятий, осуществленных до момента времени τ , функция $K(\tau)$ характеризует экологический ущерб, который будет нанесен оросительной системе, если удовлетворительное состояние системы наступит в момент времени τ . Нами рассмотрен частный случай выражения ущерба $K(\tau) = K_0 \tau$, K_0 – коэффициент линейной зависимости.

В выражении (3) заменим $S(\tau)$ на $\Delta S(\tau)$ и составим выражение для δQ . В полученном выражении согласно основной лемме вариационного исчисления на экстремали множитель при $\delta S(\tau)$ должен обращаться в нуль. После преобразования полученного соотношения получаем дифференциальное уравнение для оптимального значения $S(\tau)$:

$$\left[2 - \frac{R(S(\tau))R''(S(\tau))}{(R'(S(\tau)))^2}\right] S'(\tau) - \lambda \frac{R^2(S(\tau))}{R'(S(\tau))} - K'(\tau) = 0. \quad (4)$$

Запишем для рассматриваемого частного случая выражения ущерба $K(\tau) = K_0 \tau$ дифференциальное уравнение (4):

$$\left[2 - \frac{R(S(\tau))R''(S(\tau))}{(R'(S(\tau)))^2}\right] S'(\tau) - \lambda \frac{R^2(S(\tau))}{R'(S(\tau))} - K_0 = 0. \quad (5)$$

Решение уравнения (5) имеет вид $S(\tau) = S_0$. Тогда $S'(\tau) = 0$ это приводит к алгебраическому соотношению:

$$-\lambda \frac{R^2(S_0)}{R'(S_0)} = K_0. \quad (6)$$

Принимаем зависимость выполняемых мероприятий на оросительной системе от времени функцией:

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

В этом случае $S(0) = S_0$ и $\lim_{t \rightarrow \infty} S(t) = S_m$, где S_m – минимальная стоимость мероприятий, при которой неудовлетворительное состояние системы наступит обязательно, $R(S_m) = 1$.

С учетом принятого выражения функции $S(t)$ выражение (6) имеет вид:

$$K_0 = \lambda \frac{(S_M - S_0)^2}{S_M - S_m}, \quad (7)$$

где K_0 – коэффициент линейной зависимости в выражении ущерба;

S_M – максимальная стоимость мероприятий, при которой не будет ущерба природной среде;

S_0 – начальная стоимость мероприятий.

Приоритетным направлением выполняемых мелиораций является разработка рекомендаций сельхозпроизводителям, которые должны базироваться на следующих положениях:

- системы обработки почвы с разработкой технологических карт;
- оптимизация методов и способов внесения органических и минеральных удобрений;
- регулирование рН почвы;
- совершенствование способов и методов снижения и предупреждения переувлажнения земель, а также мелиораций, направленных на устранение последствий переувлажнения почв;
- использование современных технологий орошаемого земледелия;
- использование технологий точного земледелия при выполнении агро-мелиораций.

Выводы. Анализ формулы (7) показал, что предложенная модель допускает прогноз влияния изменений условий эксплуатации оросительного объекта на количественном уровне и может быть использована для своевременной разработки мероприятий по недопущению ухудшения почвенно-мелиоративного состояния орошаемых земель, для повышения экологической надежности их функционирования.

Модель дает возможность исследовать особенности функционирования системы в любых реальных ситуациях, прогнозировать поведение системы при изменении условий окружающей среды и снизить риски неопределенностей при принятии управленческих решений и обоснованном выборе мероприятий.

Список использованных источников

1 Сафронова, Т. И. Моделирование динамики органического вещества почв / Т. И. Сафронова, И. В. Соколова // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: материалы 72-й науч.-практ. конф. преподавателей по итогам НИР за 2016 г. – Краснодар, 2017. – С. 42–43.

2 Кондратенко, Л. Н. Рациональное использование земли на основе экономико-статистического анализа показателей в ООО «АПФ «Рубин» / Л. Н. Кондратенко, Е. В. Касьянова // Научные исследования – сельскохозяйственному производству: материалы междунар. науч.-практ. конф. – 2018. – С. 431–437.

3 Сафронова, Т. И. Управление мелиоративным состоянием почв для воспроизводства плодородия сельскохозяйственных земель Краснодарского края / Т. И. Сафронова, И. А. Приходько // Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф.; под общ. ред. В. А. Солопова. – 2018. – С. 279–282.

4 Сафронова, Т. И. Теоретическая модель оптимального проектирования агро-

ландшафтов / Т. И. Сафронова, И. А. Приходько // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 3 (ч. 2). – С. 204–209.

5 Сафронова, Т. И. Математическое моделирование природных процессов в природообустройстве / Т. И. Сафронова, В. И. Степанов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 8-2. – С. 172–173.

6 Сафронова, Т. И. Оценка мелиоративного состояния рисовой оросительной системы по интегральному показателю / Т. И. Сафронова, И. А. Приходько // Мелиорация и водное хозяйство. – 2009. – Вып. 3. – С. 42–43.

7 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. – P. 403–417.

8 Kitaeva, A. V. Linear On/Off Inventory Control / A. V. Kitaeva, N. V. Stepanova // Proceedings, 15th Applied Stochastic Models and Data Analysis (ASMDA 2013) International Conference, Mataro (Barcelona), Spain, 25–28 June 2013. – Mataro, 2013. – P. 497–504.

УДК 631.51.01

Н. А. Рябцева

Донской государственный аграрный университет, Персиановский, Российская Федерация

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР НА ЧЕРНОЗЕМЕ ОБЫКНОВЕННОМ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В работе изучали влияние почвозащитной технологии возделывания ярового ячменя, озимой пшеницы, подсолнечника (без обработки почвы) в звеньях севооборота на их рост, развитие, урожайность, агрофизические свойства чернозема обыкновенного, экономическую эффективность в зоне неустойчивого увлажнения Ростовской области. Растительные остатки на поверхности почвы способствуют большему накоплению и лучшему сохранению продуктивной влаги в почве за счет большего накопления снега, снижения температуры поверхности поля и уменьшения скорости ветра в приземном слое. Почвозащитная технология возделывания полевых культур не оказала существенного влияния на плотность почвы. По обеим технологиям возделывания полевых культур наблюдался смешанный тип засоренности посевов. Перед посевом большее засорение наблюдалось по всем культурам по почвозащитной технологии. Во время вегетации культур существенной разницы между технологиями по количеству и массе сорных растений не наблюдалось. Установлено увеличение урожайности всех изучаемых культур при возделывании по почвозащитной технологии, но прибавка урожая подсолнечника была в пределах ошибки опыта и математически недоказуема. Озимая пшеница и яровой ячмень достоверно увеличили урожайность по почвозащитной технологии (прибавка составила 12,4 и 19 % соответственно). Наибольшую экономическую эффективность обеспечивает возделывание полевых культур по почвозащитной технологии. Рентабельность сельскохозяйственных культур по этой технологии составила от 75 до 96 %, а по традиционной технологии – 28–69 %. В среднем рентабельность производства по почвозащитной технологии была на 36 % больше, чем по традиционной.

Ключевые слова: почвозащитная технология; земледелие; эффективность производства; яровой ячмень; озимая пшеница; подсолнечник.

N. A. Ryabtseva

Don State Agrarian University, Persianovsky, Russian Federation

EFFICIENCY OF FIELD CROPS CULTIVATION TECHNOLOGIES ON THE ORDINARY CHERNOZEMS IN ROSTOV REGION