

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ УРОВНЯ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ МЕТОДОМ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

Мелихова Е.В.

ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет», Волгоград, Россия (400002, пр-т Университетский, 26) e-mail: mel-v07@mail.ru

В статье рассмотрены проблемы численной многопараметрической оценки плодородия почв с учетом природно-климатических, почвенных, экологических и других факторов. Обосновано построение интегрального показателя уровня плодородия сельскохозяйственных земель на основе нечетко множественного подхода и представлены основные этапы нечеткого вывода с использованием алгоритма Мамдани (*Mamdani*) и графического интерфейса интерактивного моделирования. Представлена численная зависимость обобщенного показателя продуктивности сельскохозяйственных земель от величины урожайности зерновых культур, построенная при величине коэффициента биоклиматической продуктивности, нелинейность которой определяется продукционными правилами системы нечеткого вывода. Построенная модель позволяет получать оценки обобщенного показателя продуктивности сельскохозяйственных земель по вводимым значениям урожайности и биоклиматического коэффициента.

Ключевые слова: математическое моделирование, уровень продуктивности сельскохозяйственных земель, метод нечеткого вывода, урожайность, биоклиматический коэффициент

MATHEMATICAL MODELING AND SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE LEVEL OF PRODUCTIVITY OF AGRICULTURAL LAND BY THE METHOD OF FUZZY INFERENCE

Melikhova E.V.

Volgograd State Agrarian University, Volgograd, e-mail: mel-v07@mail.ru

The article considers the problems of numerical evaluation of multiparameter soil taking into account climatic, soil, environmental and other factors. Justified building a cumulative indicator of fertility of agricultural land based on fuzzy multiple approach and shows the basic steps of fuzzy inference algorithm Mamdani (*Mamdani*) and graphical user interface for interactive simulations. Represented by numeric indicator of generalized dependence of productivity of agricultural land from crop values, built when the largest bio-climatic factor productivity, non-linearity that defines the productional rules systems of fuzzy output. Constructed model allows getting generalized evaluation indicator of productivity of agricultural land by entered values yield and bioclimatic coefficient.

Keywords: mathematical modeling, the level of productivity of agricultural land, method of fuzzy inference, productivity, bioclimatic coefficient

Проблемы математического моделирования продуктивности сельскохозяйственных земель связаны с необходимостью учета значительного числа параметров различной физической природы, включая такие группы, как почвенные (тип, химический состав, структура, гидрология), климатические (тепло- и влаго обеспеченность, ветровая нагрузка), мелиоративное состояние (гумусовый слой, плотность сложения, засоленность), экологические и др. [2].

Для устранения описанной проблемы «проклятия размерности», присущей моделированию продуктивности сельскохозяйственных земель, предлагается использовать нечеткое множественное моделирование [4, 5], которое более эффективно, в случаях, когда

существует недостаточность или неопределенность информации об исследуемой антропогенной системе; значительная часть информации получена на основе экспертных данных или эмпирических описаний процессов; параметры и входные данные не являются точными и корректно сформулированными.

Традиционные подходы, используемые в математическом моделировании, такие как построение регрессионных моделей в виде системы уравнений, аддитивной или мультипликативной свертки, а также искусственные нейронные сети [1, 2, 3, 5, 7], в данном случае малоприменимы из-за слишком высокой размерности математических моделей. В связи с этим в качестве инструментария для моделирования продуктивности сельскохозяйственных земель был выбран нечетко-множественный подход, программная реализация которого предусмотрена в ряде программных комплексов для компьютерного математического моделирования.

Совокупность ключевых показателей, определяющих плодородие и продуктивность сельскохозяйственных земель в острозасушливых условиях нижнего Поволжья, в частности Волгоградской области, представлена в таблице 1 [6].

Таблица 1

№ п/п	Природная зона	Коэффициент биоклиматической продуктивности	Урожайность, ц/га			
			озимая пшеница	яровая пшеница	ячмень	кукуруза
1	Степная черноземных почв	1,24	42,1	21,7	25,7	40
2	Сухостепная темно-каштановых почв	1,08	36,0	16,5	22,0	35
3	Сухостепная каштановых почв, Правобережье	1,03	31,1	14,5	21,1	30
4	Сухостепная каштановых почв, Левобережье	0,93	25,3	14,0	20,1	-
5	Полупустынная светло-каштановых почв	0,90	23,0	-	13,1	-

Для построения математической модели в качестве базовых моделируемых параметров были приняты коэффициент биоклиматической продуктивности и урожайность зерновых культур, которые изменялись в пределах от 0,5–1,5 и 10–45 соответственно в зависимости от природно-климатических зон.

Разработана модель для оценки продуктивности сельскохозяйственных земель, которая позволяет провести лингвистическую оценку и ранжирование рисков с учетом как качественных, так и количественных факторов. Теоретической основой модели продуктивности земель является теория нечетких множеств, предусматривающая построение функции принадлежности для моделируемых показателей, правил логического вывода с использованием значений лингвистических переменных и последующую дефазификацию [8, 9].

Построение нечеткой модели реализовывалось в среде *MATLAB* с использованием модуля *Fuzzy Logic Toolbox* [8]. Структура разрабатываемой модели представлена на рис. 1.

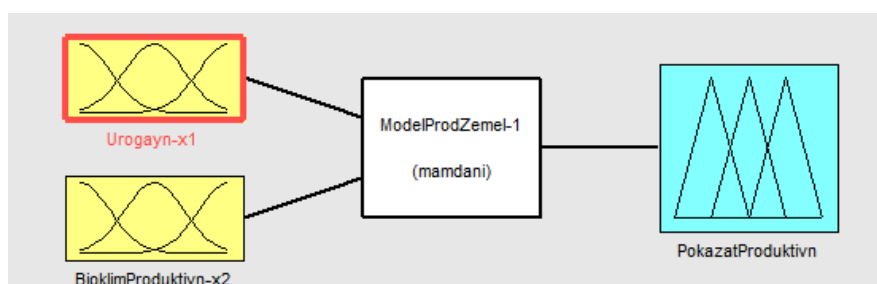


Рис. 1. Структура нечеткой модели с использованием алгоритма Мамдани

Реализация непосредственно нечеткого вывода модели осуществлялось на основе следующих стадий алгоритма Мамдани (*Mamdani*).

1. *Фазификация* — задание нечеткости с помощью функции принадлежности (ФП) для терм-множеств входных и выходных переменных на основе их лингвистических определений [3]:

x_1 — лингвистическая переменная «Урожайность»;

x_2 — лингвистическая переменная «Коэффициент биоклиматической продуктивности»;

y — лингвистическая переменная «Уровень продуктивности сельскохозяйственных земель».

Для входной лингвистической переменной x_1 и выходной y терм-множество состоит из трех термов $T = \{\text{Низкий (H), Средний (C), Высокий (B)}\}$, которые характеризуют соответственно низкий, средний и высокий уровень этих переменных. Для входной лингвистической переменной x_2 терм-множество включает два термина $T = \{\text{Низкий (H), Высокий (B)}\}$, которые характеризуют низкий и высокий уровень этих переменных [9]. На рисунке 2 приведены графики функций принадлежности терм-множеств входных лингвистических переменных.

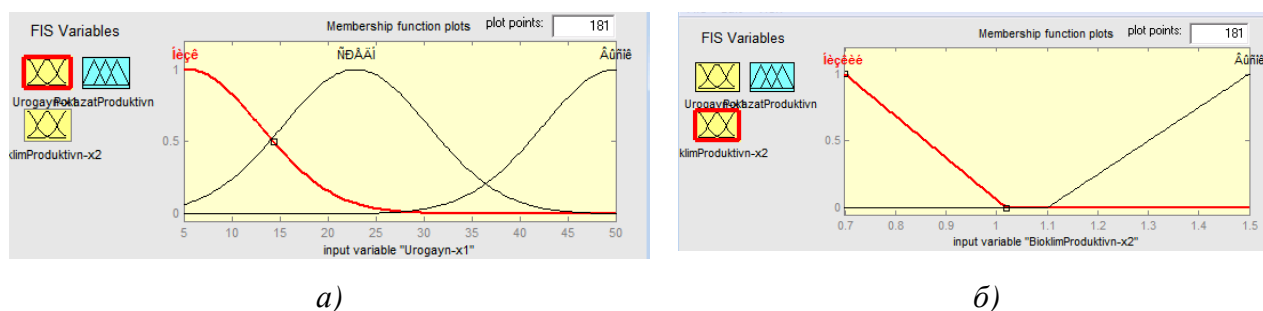


Рис. 2. Функции принадлежности: а) для входной переменной x_1 ;

б) для входной переменной x_2

Для выходной переменной y (лингвистическая переменная «Уровень продуктивности сельскохозяйственных земель») терм-множество состоит из трех термов: *Низкая*

продуктивность земель (LOW); Средняя продуктивность земель (MIDDLE); Высокая продуктивность (HI), представленных на рисунке 3.

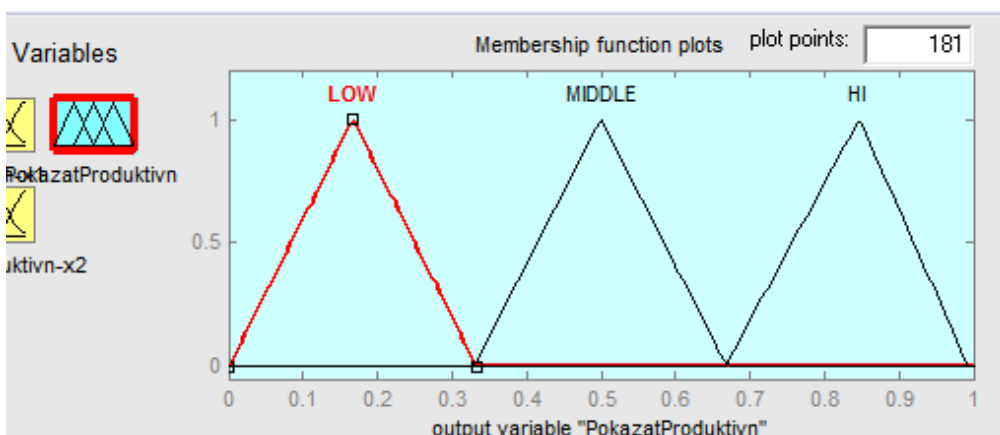


Рис. 3. Функции принадлежности для выходной переменной Y

2. Задание правил разрабатываемой модели нечетко-логического вывода. В алгоритме Мамдани база правил задана в виде структуры с двумя входами и одним выходом (рис. 1).

Правила нечетко-логического вывода, реализуемые моделью, записываются в виде «ЕСЛИ $X = a$, ТО $Y = b$ » и отражают логические взаимосвязи входных лингвистических переменных x_i и выходной y , где $i=1,2$. Эти правила формируются на основе общих теоретических представлений продуктивности сельскохозяйственных земель и позволяют смоделировать механизм логического вывода. Сформулированные правила нечетко-логического вывода представлены в таблице 1 (фрагмент).

Таблица 1

Фрагмент базы нечетких продукционных правил

Номер правила	Антецедент	Консеквент
1	$x_1 = \text{Низк} \vee x_2 = \text{Низк}$	$y = \text{LOW}$
2	$x_1 = \text{Средн}$	$y = \text{MIDDLE}$
3	$x_1 = \text{Высок} \vee x_2 = \text{Высок}$	$y = \text{HI}$

Базы правил из таблицы 1 вводится в систему нечеткого вывода в окне «Rule Editor».

3. Дефазификация представляет собой процесс определения числовых значений выходной переменной.

Разработанная в среде *Fuzzy Logic Toolbox* система нечеткого вывода позволяет получить оценку моделируемой продуктивности сельскохозяйственных земель на этапе дефазификации.

Исходные значения входных параметров следует вводить в интерфейсе Rule Viewer окна графического вывода (рис. 4).

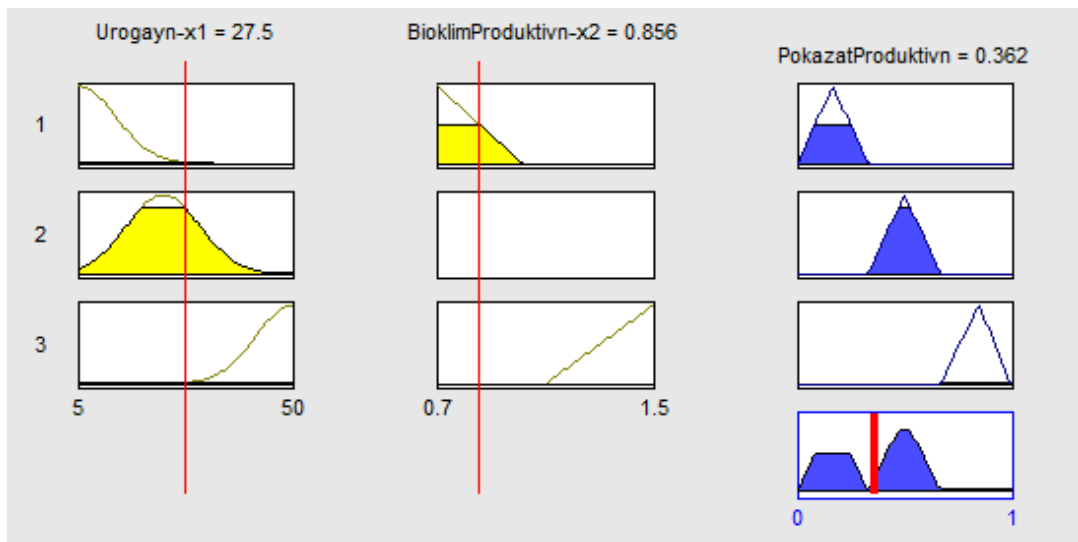
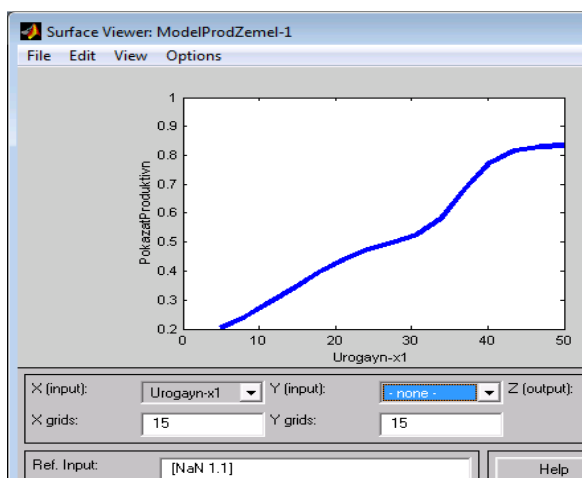


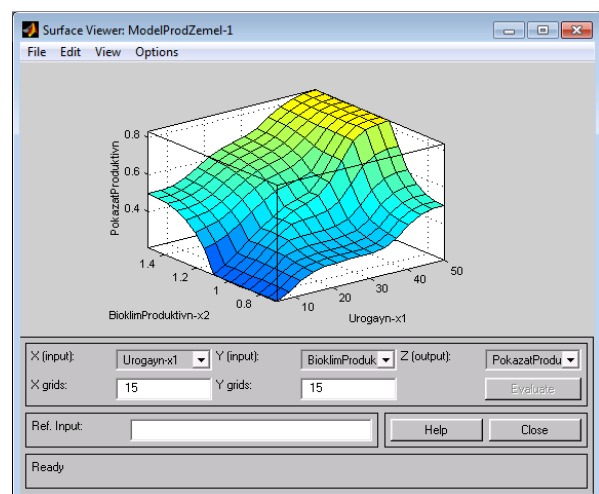
Рис. 4. Окно нечеткого вывода моделируемых показателей

При величине урожайности 27,5 ц/га значение лингвистической переменной x_1 соответствует терму *Средний* (С). При величине $x_2 = 0,856$ значение лингвистической переменной x_2 соответствует терму *Низкий* (Н).

По заданным значениям x_1 и x_2 активизируются правила 1 и 2. Результирующее значение выходной переменной U соответствует значению 0,386.



а)



б)

Рис. 5. а) График функции зависимости обобщенного показателя продуктивности земель от величины урожайности зерновых культур; б) поверхность отклика разработанной системы нечеткого вывода

На рисунке 5 представлена численная зависимость обобщенного показателя продуктивности сельскохозяйственных земель от величины урожайности зерновых культур, построенная при величине коэффициента биоклиматической продуктивности, равном 1,1, нелинейность которой определяется производственными правилами системы нечеткого вывода.

Разработанная методом нечеткого вывода и реализованная в среде *Fuzzy Logic Toolbox* программного комплекса *MATLAB* основа нечеткого вывода обобщенных оценок продуктивности сельскохозяйственных земель обладает широкими возможностями адаптации к диапазонам возможного изменения и модельным значениям входных показателей, а также их функций принадлежности, задаваемых экспертами.

Список литературы

1. Глущенко С.А., Долженко А.И. Система поддержки принятия решения нечеткого моделирования рисков информационной безопасности организации // Информационные технологии. – 2015. – № 1. – С. 68–74.
2. Мелихова Е.В. Математическое моделирование и оптимизация режима орошения корнеплодов на светло-каштановых почвах Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2009. № 1. С. 126–132.
3. Рогачёв А.Ф. Методические подходы к моделированию эколого-экономической безопасности // Экономика и предпринимательство. 2013. № 12-4 (41-4). С. 107–109.
4. Рогачёв А.Ф. Оценивание эколого-экономической безопасности промышленных предприятий методами нечеткой логики / А.Ф. Рогачёв, А.А. Шевченко, В.А. Кузьмин // Труды СПИИРАН. 2013. № 7 (30). С. 77–87.
5. Рогачёв А.Ф., Федорова Я.В. Нечеткое моделирование эколого-экономических систем // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. С. 317.
6. Сажин А.Н., Кулик К.Н., Васильев Ю.И. Погода и климат Волгоградской области. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2010. – 306 с.
7. Шубнов М.Г. Информационные технологии нейросетевого моделирования урожайности в условиях рискованного земледелия / М.Г. Шубнов, А.Ф. Рогачёв // Вестник Университета (Государственный университет управления). 2013. № 21. С. 193–197.
8. Modeling Ecological Security of a State / Natalia Skiter, Aleksey F. Rogachev, Tamara I. Mazaeva // Mediterian Journal of Social Science. Vol. 6 No. 3 S. 6 June 2015. P. 192–195.
9. Rogachev A. Economic and Mathematical Modeling of Food Security Level in View of Import Substitution // Asian Social Science Vol. 11, No. 20, 2015. P. 178–184.

Рецензенты:

Рогачев А.Ф. д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Математическое моделирование и информатика» ФГБОУ ВПО «Волгоградский ГАУ», г.Волгоград;

Бородычев В.В. д.с.-х.н., профессор, директор Волгоградского филиала ГНУ ВНИГим,
г.Волгоград.