

---

---

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

---

---

УДК 621.311.25

**НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
И ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ  
ПРИ РАДИАЦИОННОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ**

© 2016 А.Ф. Рогачев, Е.В. Мелихова

*Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, Россия*

Развитие ядерной энергетики и ее влияние на все сферы экономики определяет важность рассмотрения вопросов моделирования и оценки уровня обеспечения экологической безопасности с учетом специфических угроз для сельскохозяйственного производства в рамках развития сельскохозяйственной радиозоологии. Значительное количество локальных факторов, определяющих общий уровень экологической и радиационной безопасности, требует обоснования системы моделируемых показателей и инструментария их агрегирования.

Цель работы: Разработка математического аппарата и нечетко-множественной модели для интегральной оценки экологической безопасности сельскохозяйственного производства при радиационном загрязнении.

Для реализации цели необходимо решение следующих задач:

- обоснование системы показателей и их укрупненных групп для моделирования экологической безопасности сельскохозяйственного производства с учетом специфических угроз;
- обосновать структуру и реализовать нечетко-множественную модель экологической безопасности регионального аграрного производства;
- осуществить компьютерную реализацию разработанной системы нечеткого вывода, с использованием которой выявить приоритетные направления совершенствования экологической безопасности аграрного производства региона на примере Волгоградской области.

Исследование проводилось с использованием свободно распространяемой программной среды «FisPro version 3.5», позволяющей в автоматизированном режиме строить моделирующие системы нечеткого логического вывода, а также статистических данных по условиям аграрного производства в условиях Волгоградской области.

Основные выводы:

1. Обоснована система показателей экологической безопасности аграрного производства с учетом специфических угроз радиационного загрязнения, включающая укрупненные группы, а также характеризующие их локальные показатели для нечетко-множественного моделирования.
2. Построенная на основе алгоритма нечеткого вывода Мамдани двухуровневая модель экологической безопасности, реализованная в среде «FisPro version 3.5», позволяет моделировать и оценивать влияние укрупненных групп системы экологических показателей на уровень экологической безопасности аграрного производства субъектов различного уровня в условиях специфических угроз загрязнения сельскохозяйственных земель.
3. Приоритетным направлением улучшения экологической безопасности аграрного производства Волгоградской области может быть совершенствование культуры земледелия и, прежде всего, поддержание состояния почвенного покрова с учетом региональной системы сухого земледелия.

*Ключевые слова:* математическое моделирование, экологическая безопасность, радиационное загрязнение, система экологических показателей, нечетко-множественная модель, состояние сельскохозяйственных земель.

Поступила в редакцию 20.03.2016 г.

Согласно действующей «Стратегии национальной безопасности РФ», утвержденной Указом Президента РФ от 12 мая 2009 г. № 537, «...Стратегическими целями обеспечения экологической безопасности страны ставятся сохранение обеспечение защиты окружающей природной среды, а также ликвидация экологических последствий хозяйственной деятельности ...» [1]. При этом отмечается наличие экологически неблагоприятных регионов в Российской Федерации, сохранение угроз в сфере экологической безопасности, а также то, что радиоактивные отходы неядерного топливного цикла остаются вне нормативного правового регулирования и надлежащего надзора.

Категория «Экологическая безопасность», как одна из существенных компонент национальной безопасности, включает совокупность требований, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности населения и устойчивое состояние природных эко- и биосистем.

Негативные эколого-экономические и социальные тенденции техногенного воздействия на среду определяют необходимость выявления и классификации специфических угроз и факторов риска, а также сокращения неблагоприятных последствий от их воздействия. Упомянутые направления являются основой региональной экологической политики и устойчивого эколого-экономического развития [2].

Развитие ядерной энергетики и ее влияние на все сферы экономики определяет важность рассмотрения вопросов моделирования и оценки уровня обеспечения экологической безопасности сельскохозяйственного производства в рамках развития сельскохозяйственной радиоэкологии.

В радиобиологии используется понятие коэффициента качества излучения, который позволяет учитывать возможные различия биологической эффективности ионизирующих излучений разного качества по критерию линейной передачи энергии (ЛПЭ). Коэффициент качества, учитывающий неблагоприятные биологические последствия облучения человека в малых дозах, составляет: для рентгеновского и гамма-излучения – 1, для протонов с энергией меньше 10 МэВ – 10, нейтронов с энергией 0,1-10 МэВ – 10, для альфа-излучения энергией меньше 10 МэВ – 20. Для учета биологической эффективности различных излучений введено понятие эквивалентная доза, являющееся основной дозиметрической величиной в области радиоэкологии, радиобиологии и радиационной безопасности.

Сельскохозяйственная радиоэкология (СХРЭ) изучает закономерности миграции радионуклидов по биологическим цепям в агропромышленной сфере и действие ионизирующих излучений, как одного из ведущих экологических факторов в современной биосфере, на агроценозы, сельскохозяйственные растения и животных [3]. СХРЭ разрабатывает способы ограничения вовлечения радионуклидов в биологический круговорот, снижения содержания радиоактивных веществ в продукции растениеводства и животноводства и обосновывает систему ведения агропромышленного производства, обеспечивающую минимальное радиационное воздействие на человека, а в некоторых случаях и на растения и животных, обосновывает принципы функционирования АПК на территориях с повышенным содержанием радиоактивных веществ.

В монографии [5] отмечается, что для условий размещения РоАЭС «уровень экологической напряженности, рассматриваемый в рамках трехзвенной цепи: антропогенная нагрузка (промышленная, сельскохозяйственная, транспортная) – загрязнение окружающей среды (атмосферного воздуха, питьевой воды, почв и сельхозпродукции) – здоровье человека, оценивается как кризисный».

Настоящая работа посвящена математическому моделированию и оценке

экологической безопасности сельскохозяйственного производства в условиях специфических угроз радиационного загрязнения. В качестве объекта исследования рассматривается нечеткая математическая модель для оценки уровня экологической безопасности сельскохозяйственного производства.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Вопросы математического моделирования экологической безопасности, в частности аграрного производства, рассматривались отечественными исследователями А. Голубевым, В. Зеляковской, М. Крассом, Г. Лобачевой, Н. Мосиенко, Е. Литвиновым, И. Наталухой, Р. Нижегородцевым, Е. Попковой, Е. Шаврак и другими.

В работах перечисленных авторов рассматриваются основные источники радиоактивного загрязнения биосферы и ее составной части – агроценозов, общие принципы организации аграрного производства в условиях радиоактивного загрязнения, проблемы, возникающие в связи с миграцией радионуклидов по пищевым цепям: «почва – растение – человек», «почва – растение – с.-х. животное – продукция животноводства – человек». Сельское хозяйство является основным каналом, через который происходит вовлечение радионуклидов в пищевые цепи. Обобщенная классификация видов загрязнения сельскохозяйственных земель представлена на рисунке 1.

Растения могут загрязняться в процессе выпадения радионуклидов из воздуха (авральный путь загрязнения). В то же время, выпавшие радионуклиды попадают в почву, из почвы – в корни растений, и снова через растения - в организм животного и человека. Основным источником поступления радионуклидов в организм человека – молоко и молочные продукты. В некоторых случаях с растительной пищей (овощи, злаки) может поступать в организм человека до 40-60% стронция-90 и цезия-137 [9].

Рассмотрим угрозы радиоактивного загрязнения, специфические для аграрного производства. По мере расширения сети АЭС и увеличения объемов радиоактивных отходов, будет возрастать число районов с повышенным содержанием искусственных радионуклидов. Даже при безаварийной работе ядерных реакторов образуются газообразные радионуклиды, поступающие в атмосферу. Количество некоторых радионуклидов в расчете на МВт мощности реактора за год его работы составляет:  $^{85}\text{Kr}$  -  $1,4 \cdot 10^{13}$  Бк;  $^3\text{H}$  -  $7,4 \cdot 10^{11}$  Бк;  $^{222}\text{Rn}$  –  $2,1 \cdot 10^9$  Бк. Кроме того, в биосферу поступают и природные радионуклиды, ассоциированные с органическими отложениями: так, на 1 МВт мощности, получаемой при сжигании угля, за год работы в биосферу попадает:  $^{226}\text{Ra}$  –  $2 \cdot 10^7$  Бк,  $^{228}\text{Ra}$  –  $1,3 \cdot 10^7$  Бк, а также уран и торий. В результате неполадок в работе и аварий ядерные реакторы становятся потенциальными источниками таких радионуклидов, как  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ .

В результате испытания ядерного оружия в биосфере возросло содержание не только продуктов радиоактивного распада, образующихся непосредственно в процессе ядерной реакции, но и таких радионуклидов, как  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{35}\text{Fe}$ , которые образуются под воздействием потока нейтронов в зоне ядерного взрыва. По некоторым оценкам, в результате ядерных взрывов в атмосферу попало 2100 кг радионуклида  $^{14}\text{C}$  и 215 кг трития, что значительно превышает количество этих радионуклидов, образующихся в результате естественных процессов в верхних слоях атмосферы (естественный уровень трития в атмосфере 1,8 кг, ежегодно в верхних слоях атмосферы образуется 8 кг радионуклида  $^{14}\text{C}$ ).

Аэральное радиоактивное загрязнение растений происходит в результате выпадения радиоактивных осадков из атмосферы. Радиоактивные аэрозоли, вносимые в атмосферу в результате ядерных взрывов, а также аварий и разрушений атомных

электростанций и предприятий ядерного топливного цикла, постепенно осаждаются и загрязняют биосферу.

Величина радиоактивного загрязнения растительности тем меньше, чем больше времени пройдет от начального выпадения радиоактивных осадков на посевы до уборки урожая.



Рис. 1. – Классификация видов загрязнения сельскохозяйственных земель

Зная величину плотности радиоактивных выпадений, коэффициент первичного удерживания и динамику полевых потерь, можно рассчитать загрязнение растительной массы на любое время после одноразового выпадения на посевы:

$$A_t = \sigma \left( \alpha_0 - \frac{ПП_t}{100} \right) \quad (1)$$

где  $A_t$  – содержание радиоактивных веществ в растительной массе с площади  $1 \text{ м}^2$  через  $t$  дней после загрязнения посева, Ки;  
 $\sigma$  – плотность радиоактивных выпадений, Ки;  
 $\alpha_0$  – коэффициент первичного удерживания (в долях единицы);  
 $ПП_t$  – полевые потери, процент первоначально задержанного растениями количества радиоактивных веществ за время  $t$ .

Кроме аэрального загрязнения, имеет место и корневое загрязнение растений радионуклидами. Почва как основной компонент агроценоза оказывает определяющее

влияние на интенсивность включения радиоактивных веществ в кормовые и пищевые цепи. Величины перехода  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в растения прежде всего зависят от типа почв. Наиболее высокие уровни загрязнения наблюдаются на дерново-подзолистых почвах, особенно легкого гранулометрического состава, меньшие – на серых лесных почвах и сероземах и самые низкие – на черноземах. Из кислых почв радионуклиды поступают в растения в значительно больших количествах, чем из почв слабокислых, нейтральных или слабощелочных. Гранулометрический состав почв сильнее влияет на поступление в растения  $^{137}\text{Cs}$ , чем на накопление  $^{90}\text{Sr}$ . Это обусловлено спецификой сорбции Цезия в почвах и, в частности, необменной сорбцией его в некоторых глинистых минералах.

Для характеристики накопления радионуклидов в растениях при поступлении их из водного раствора и почв используется коэффициент накопления — отношение содержания радионуклида в единице растительной массы к содержанию его в единице массы почвы или единице объема раствора.

При поступлении из водного раствора величина коэффициента накопления  $^{137}\text{Cs}$  значительно выше, чем  $^{90}\text{Sr}$ , тогда как при поступлении из почвы коэффициент накопления  $^{137}\text{Cs}$  намного меньше, чем  $^{90}\text{Sr}$  (см. табл.). Отметим, что размеры накопления радионуклидов в растениях зависят от их видовых и сортовых биологических особенностей. Имеет место аналогия в поступлении в растения  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  и их химических аналогов кальция и калия. Растения, содержащие больше кальция, накапливают  $^{90}\text{Sr}$  в повышенных количествах, а растения, отличающиеся высоким содержанием калия, в большинстве накапливают и больше  $^{137}\text{Cs}$ .

**Таблица 1.** – Коэффициенты накопления радионуклидов для разных типов почв

Радио- нуклид	Из водного раствора		Из дерново-подзолистой суглинистой почвы		Из выщелоченного чернозема	
	солома	зерно	солома	зерно	солома	зерно
$^{90}\text{Sr}$	24,1	3,4	10,0	0,5	1,2	0,09
$^{137}\text{Cs}$	100,3	36,5	0,8	0,3	0,13	0,03

Кроме того, поступление радионуклидов зависит от распределения корневой системы в почве, продуктивности растений, продолжительности вегетационного периода и некоторых других биологических особенностей. В товарной части растениеводческой продукции (зерно, корнеплоды, клубни) на единицу сухой массы урожая больше всего упомянутых радионуклидов содержат корнеплоды (столовая свекла, морковь) и бобовые культуры (горох, соя, вика), затем картофель, более низкое количество – зерновые злаки.

Следует отметить существенную разницу в накоплении радионуклидов в урожае озимых и яровых зерновых культур. Озимые зерновые культуры (пшеница, рожь) как правило накапливают в 2-2,5 раза меньше  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , чем яровые зерновые культуры (пшеница, овес, ячмень). Это объясняется более высоким урожаем озимых, чем яровых.

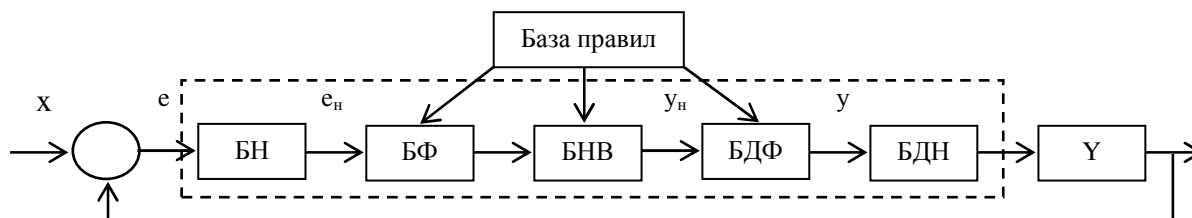
Определенную опасность для человека представляет потребление загрязненных радионуклидами овощных культур, поскольку овощи в большинстве случаев поступают в пищу без переработки. Нуклиды  $^{90}\text{Sr}$  больше всего накапливается в корнеплодах столовой свеклы и меньше – в плодах томатов и клубнях картофеля, что в известной мере связано с концентрацией кальция в этих частях урожая.

Более низкое содержание  $^{90}\text{Sr}$  в клубнях картофеля, чем в корнеплодах свеклы и моркови, объясняют тем, что корнеплод – это видоизмененный корень, через который

$^{90}\text{Sr}$  поступает из почвы в растение, клубень же картофеля – видоизмененный стебель, и радионуклид может поступать из почвы в надземную часть растения, минуя клубни.

Отметим, что продукты животноводства как важнейшие ингредиенты питания относятся к основным источникам радионуклидов для человека. Сельскохозяйственные животные в общей схеме миграции радионуклидов занимают особое место. Прежде всего это жвачные животные, которым требуется много грубых и сочных кормов – в пастбищный период корова в течение суток поедает траву с площади 100-300 м<sup>2</sup>. При этом вместе с травой она потребляет большое количество радионуклидов, выпавших на пастбище, являясь своеобразным аккумулятором и передатчиком радионуклидов человеку по пищевой цепи.

Многообразие рисков и угроз специфических загрязнений обуславливает необходимость выбора соответствующего математического аппарата для их адекватного учета. Математический аппарат нечеткой логики обычно применяют, когда имеющейся количественной и качественной информации недостаточно, либо она неполная для получения статистически значимых выводов с требуемой степенью надежности. Такой подход позволяет формировать обобщенные индикаторы на основе нечетких оценок их технико-экономических показателей путём экспертного ранжирования, либо решения формулируемой задачи экономико-математической оптимизации. Гибкость методов теории нечеткой математики позволяет рассматривать их как эффективный инструмент для решения различных перспективных задач анализа и прогнозирования сложных природно-экономических и социальных систем. Основой компьютеризированной системы нечеткого вывода является FIS-структура, которая содержит данные для функционального отображения “входы-выходы”. Обобщенная структура получаемой системы нечеткого логического вывода для моделирования уровня экологической безопасности представлена на рисунке 2.



**Рис. 2.** – Обобщенная структура системы нечеткого логического вывода параметров экологической безопасности:

X – четкий вектор входных параметров; БН – блок нормирования; БФ – блок фаззификации, формирующий значение ФП; БНВ – блок нечеткого вывода, формирующий вывод о соответствующем нечетком множестве значений; БДФ, БДН – блоки дефаззификации и денормирования реализуют обратные процедуры: по нескольким «усеченным» функциям принадлежности вычисляют четкие значения соответствующего показателя; Y – выходной четкий вектор параметров экологической безопасности

Проведенный обзор специфических угроз загрязнения для сельскохозяйственного производства и математических подходов к их агрегированию позволяет обосновать систему показателей, которые необходимо учитывать при моделировании его экологической безопасности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Среди множества (порядка нескольких сотен) критериальных показателей оценки состояния сельскохозяйственных экосистем, включающие такие группы, как критерии экологической оценки состояния почв (13 показателей), истощения водных ресурсов (6

показателей), степени химического загрязнения поверхности оросительных вод (10 показателей), деградации наземных с.-х. экосистем (12 показателей), загрязнения атмосферы (4 показателя), биогеохимические критерии (6 показателей) оценки с.-х. территорий [4]. Отметим, что каждый из частных показателей в соответствующей функциональной группе также может подразделяться на компоненты. В частности, среди 13 частных показателей группы критериев экологической оценки состояния почв учитывают, в рамках показателя «Площадь радиоактивного загрязнения» такие его компоненты, как площадь радиоактивного загрязнения цезием-137, стронцием-90 и плутонием (сумма изотопов), параметры которых численно нормированы для случаев ограничения благополучия, экологического бедствия и чрезвычайной экологической ситуации. С учетом значительного количества локальных показателей в каждой из функциональных групп, последние для моделирования и последующего анализа были сведены к трем укрупненным «Почва», «Атмосфера», «Вода».

Следовательно, проблема выбора математического аппарата для адекватного оценивания уровня экологической безопасности сельскохозяйственного производства должна решаться с учетом необходимости учета множества разнородных по физической природе и размерностям показателей.

Приведение к безразмерному виду принципиальных сложностей не представляет, например, нормированием вида

$$f = \frac{f_{\text{измер}} - f_{\text{min}}}{f_{\text{max}} - f_{\text{min}}}, \quad (2)$$

где  $f_{\text{измер}}$  – нормируемый показатель;  
 $f_{\text{max}}, f_{\text{min}}$  – максимальное и минимальное значение критерия в выборке по нормируемому показателю.

Учет влияния частных показателей внутри перечисленных укрупненных групп, так и внутри каждой из упомянутых групп между собой предлагается с использованием математического аппарата нечеткой логики, широко используемого в системах искусственного интеллекта [8, 12].

В качестве инструментального средства, реализующего используемый нечетко-множественный подход, были проанализированы такие программные средства, как Fuzzy Logic Toolbox системы компьютерного моделирования MATLAB, а также ПС FuzzyTECH, FisPro и др. С учетом функциональных возможностей, мобильности и доступности было выбрано свободно распространяемое программное средство «FisPro version 3.5» (Open source software - IDDN.FR00t030u24.000.RP.2u05.0u3.31235. Authors: Serge Guillaume, Bricjrtle Charnomordic, Jean-Luc Lablee), позволяющий в автоматизированном режиме строить моделирующие системы нечеткого логического вывода.

Для построения функций принадлежности (ФП) каждого из частных показателей, определяющих уровень ЭБ по выявленным укрупненным группам, предварительно проводился анализ их изменений за предшествующий период на примере условий Волгоградской области.

В процессе математического моделирования ЭБ вначале определялись уровни лингвистических значений терм-множества с построением функций принадлежности для каждого из учитываемых частных показателей.

В качестве примера на рис. 3 представлены структура и параметры достаточно типичной ФП переменной «meat prod» («уровень экологической безопасности производства мяса») в системе «FisPro v.3.5», терм-множество которой представлено

три лингвистическими значениями («низкий»; «средний»; «высокий»). В частности, были приняты треугольная зависимость типа «trimf» для ФП терма «среднее» (MF2). Для термов «низкий» и «высокий» приняты ФП вида «semi trapezoidal». Аналогично формировались ФП для остальных показателей ПБ на основе анализа прогнозных моделей их динамики.

Представляется обоснованным, что для основных показателей в сфере сельскохозяйственного производства отклонение от «оптимальное» в любую сторону является нежелательным, что учитывалось при формировании базы продукционных правил в окне Rules, фрагмент которой представлен на рис. 4.

На первом уровне нечетко-множественной модели получены значения безразмерных показателей уровней ЭБ по сформированным ранее укрупненным группам.

Значения показателей, рассчитанные на первом уровне, принимались, в качестве входных переменных второго уровня, моделирующего значение  $I_{ЭБ}$  – интегрального безразмерного показателя с областью изменения в промежутке [0, 1].

Окно визуализации полученной поверхности отклика интегрального показателя уровня ЭБ позволяет выявить зоны, характеризующие ее высокие ( $I_{ЭБ} > 0,7$ ), средние ( $0,5 < I_{ЭБ} < 0,7$ ) и низкие значения ( $I_{ЭБ} < 0,5$ ). Более строгое графо-аналитическое исследование ее конфигурации и чувствительности к изменению входных переменных удобнее проводить в окне «Inference».

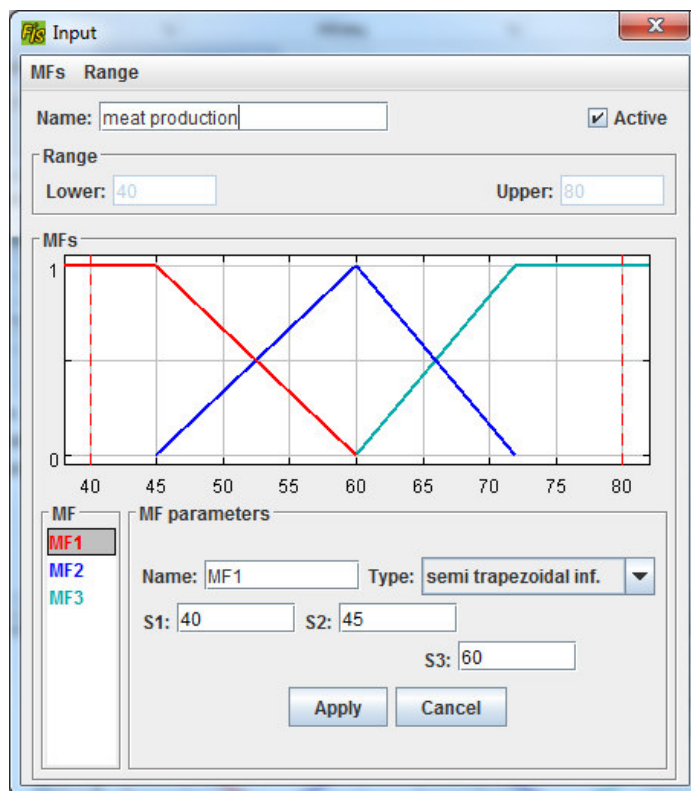


Рис. 3. – Конфигурация и параметры ФП входной переменной «meat prod» первого уровня

Значения интегрального и локальных по укрупненным группам (сферам) показателей ЭБ для условий Волгоградской области составили соответственно  $Ind\ ES = 0,54$  при  $Sph_1 = 0,51$ ;  $Sph_2 = 0,78$ ;  $Sph_3 = 0,52$ .



Rule	Active	IF meat production	AND potato prod...	AND vegetable pr...	THEN production ...
1	<input checked="" type="checkbox"/>	MF3	MF3		High
2	<input checked="" type="checkbox"/>	MF3	MF2		High
3	<input checked="" type="checkbox"/>	MF3	MF1		Middle
4	<input checked="" type="checkbox"/>	MF3		MF1	Middle
5	<input checked="" type="checkbox"/>	MF2			Middle
6	<input checked="" type="checkbox"/>	MF1	MF3		Middle
7	<input checked="" type="checkbox"/>	MF1	MF2		Low
8	<input checked="" type="checkbox"/>	MF2	MF3	MF3	High

Рис. 4. – Фрагмент базы продукционных правил для выходной переменной первого уровня «ЭБ состояния почв»

Низкие значения уровней экологической безопасности укрупненной группы «Почва» (0,51) и «Вода» (0,52) обусловлены недостаточным экологическим уровнем, загрязненностью и запущенным состоянием (эрозией) части земель сельскохозяйственного назначения.

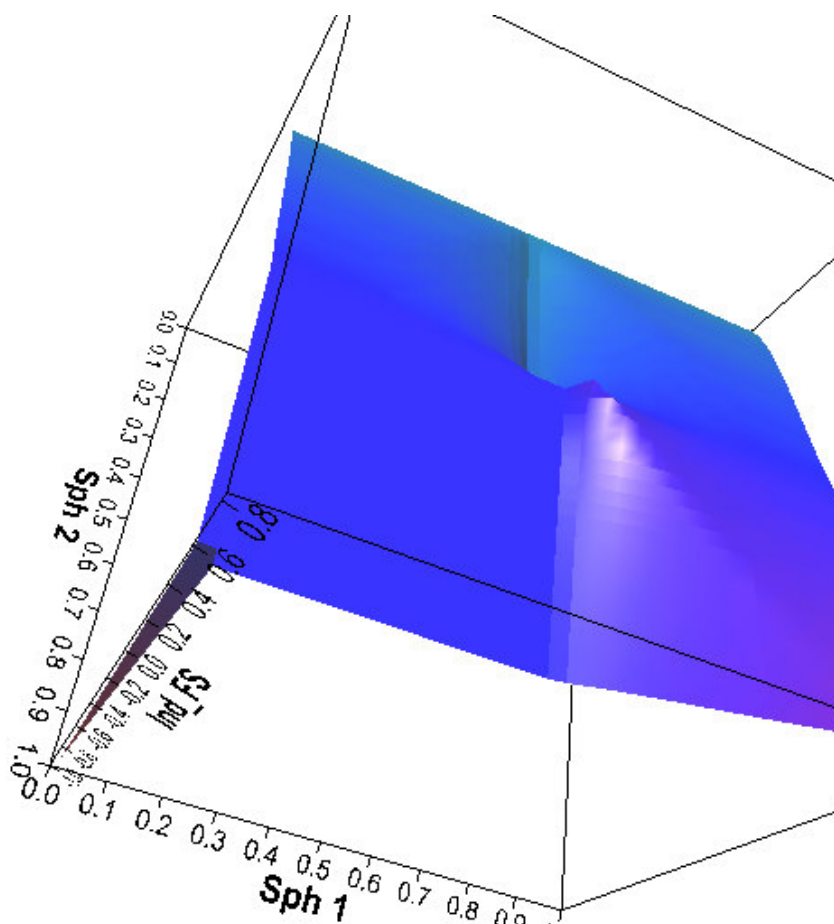


Рис. 5. – Поверхность отклика для выходной переменной второго уровня «Интегральный индекс ЭБ» в координатах укрупненных групп

Прежде всего это относится к отрасли животноводства и кормопроизводства, что определило относительно невысокий уровень интегрального показателя экологической безопасности региона (0,54) и выявило резервы (0,46) его повышения по группам и локальным показателям.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, обоснована система показателей экологической безопасности аграрного производства с учетом специфических угроз радиационного загрязнения, включающая укрупненные группы, а также характеризующие их локальные показатели для нечетко-множественного моделирования. Построенная на основе алгоритма нечеткого вывода Мамдани двухуровневая модель экологической безопасности, реализованная в среде «FisPro version 3.5», позволяет моделировать и оценивать влияние укрупненных групп системы экологических показателей на уровень экологической безопасности аграрного производства субъектов различного уровня в условиях специфических угроз загрязнения сельскохозяйственных земель. Приоритетным направлением улучшения экологической безопасности аграрного производства Волгоградской области может быть совершенствование культуры земледелия и, прежде всего, поддержание состояния почвенного покрова с учетом региональной системы сухого земледелия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента РФ от 12.05.2009 №537 (ред. от 01.07.2014) «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года» [Текст]. – М., 2009.
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 03.03.2012 № 297-р «Об утверждении Основ государственной политики использования земельного фонда Российской Федерации на 2012–2017 годы» [Текст]. – М., 2012.
3. Доклад о состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2010 году [Текст] / под ред. О.В. Горелова [и др.]. – М.: СМОТРИ, 2011. – 352 с.
4. Зеляковская, В.М. и др. Эколого-экономическое обоснование ущерба от потерь продуктивности сельскохозяйственных земель / В.М. Зеляковская и др. – Волгоград, Изд-во Волгогр. гос. ун-та, 1996. – 56 с.
5. Иванов, П.В. и др. Экономико-математическое моделирование в АПК / П.В. Иванов, И.В. Ткаченко. – Ростов н/Д : Феникс, 2013. – 254 с.
6. Исаев, И.В. и др. Проблемы ранжирования функциональных характеристик интерфейса системы поддержки принятия решений в сфере эколого-экономического менеджмента [Текст] / И.В. Исаев, А.Ф. Рогачев // Фундаментальные исследования. – 2015. – №9–3. – С. 560–564.
7. Орлинский, А.С. и др. Экохозяйственная сбалансированность и устойчивое развитие территорий. Подходы, методы, применение [Текст] / А.С. Орлинский, А.Д. Хаванский. – Саарбрюкен: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 262 с.
8. Рогачев, А.Ф. Методические подходы к моделированию эколого-экономической безопасности [Текст] / А.Ф. Рогачев // Экономика и предпринимательство. – 2013. – №12–4(41-4). – С. 107–109.
9. Сельскохозяйственная экология / Под общ. ред. А.В. Голубева, Н.А. Мосиенко. Саратов: Саратов. гос. с.-х. акад., 1997. – 418 с.
10. Шаврак, Е.И. и др. Оценка экологической безопасности территории размещения Ростовской АЭС [Текст] / Е.И. Шаврак, М.В. Гуляев, В.М. Сапельников // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №3(8). – С. 19–25.
11. Skiter Natalia, Rogachev Aleksey F., Mazaeva Tamara I. Modeling Ecological Security of a State. Mediterian Journal of Social Science. 2015, Vol. 6 No. 3 S6 June 2015. pp. 192–195.
12. Rogachev A. Economic and Mathematical Modeling of Food Security Level in View of Import Substitution. Asian Social Science, 2015, Vol. 11, No. 20, pp. 178–184.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ukaz Prezidenta RF ot 12.05.2009 №537 (red. ot 01.07.2014) «O Strategii natsionalnoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii do 2020 goda» [The decree of the Russian President of 12.05.2009 No. 537 (edition of 01.07.2014) "About Strategy of national security of the Russian Federation till 2020"]. M. 2009. (in Russian)
- [2] Rasporyazhenie Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 03.03.2012 № 297-r «Ob utverzhdenii Osnov

- gosudarstvennoy politiki ispolzovaniya zemelnogo fonda Rossiyskoy Federatsii na 2012–2017 gody» [The instruction of the Russian Federation Government of 03.03.2012 No. 297-р "About the statement of Bases of a state policy of use of land fund of the Russian Federation for 2012-2017"]. M. 2012. (in Russian)
- [3] Gorelova O.V. etc. Doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy Volgogradskoy oblasti v 2010 godu [The report on a state of Volgograd region environment in 2010]. M. Pub. SMOTRI, 2011. 352 p. (in Russian)
- [4] Zelyakovskaya V.M. etc. Ekologo-ekonomicheskoe obosnovanie ushcherba ot poter produktivnosti sel'skokhozyaystvennykh zemel. Volgograd [Ecological and economic justification of damage from losses of farmland productivity]. Pub. Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta [Publishing house of the Volgograd state university], 1996, ISBN 5-85534-069-4, 56 p. (in Russian)
- [5] Ivanov P.V., Tkachenko I.V. Ekonomiko-matematicheskoe modelirovanie v APK [Economic and mathematical simulation in agrarian and industrial complex]. Rostov-na-Donu [Rostov-in-Don]. Pub. Phenix, 2013, ISBN 978-5-222-21474-9, 254 p. (in Russian)
- [6] Isaev I.V., Rogachev A.F. Problemy ranzhirovaniya funktsionalnykh kharakteristik interfeysa sistemy podderzhki prinyatiya resheniy v sfere ekologo-ekonomicheskogo menedzhmenta [Problems of ranging of the functional characteristics of the interface of decision making support system in the sphere of ecological and economic management]. Fundamentalnye issledovaniya [Basic Research]. 2015, №9–3, ISSN 1812-7339, pp. 560–564. (in Russian)
- [7] Orlinkiy A.S., Khavanskiy A.D. Ekokochoyaystvennaya sbalansirovannost i ustoychivoe razvitie territoriy. Podkhody, metody, primeneniye [Ecoeconomic balance and sustainable development of the territories. Approaches, methods, application]. Saarbrücken. Pub. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. ISBN 9783843309462, 262 p. (in Russian)
- [8] Rogachev A.F. Metodicheskie podkhody k modelirovaniyu ekologo-ekonomicheskoy bezopasnosti [Methodical approaches to simulation of ecological and economic safety]. Ekonomika i predprinimatelstvo [Economy and business]. 2013, №12–4(41-4), ISSN 1999-2300, pp. 107–109. (in Russian)
- [9] Selskokhozyaystvennaya ekologiya [Agricultural ecology]. Pod obshechey redaktsiyey [Edited by] A.V. Golubeva, N.A. Mosienko. Saratov. Saratovskaya gosudarstvennaya selskokhozyaystvennaya akademiya [Saratov state agricultural academy], 1997, ISBN 5-704-0495-8, 418 p. (in Russian)
- [10] Shavrak E.I., Gulyaev M.V., Sapelnikov V.M. Otsenka ekologicheskoy bezopasnosti territorii razmeshcheniya Rostovskoy AES [Assessment of ecological safety of the territory of placement of the Rostov NPP]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global nuclear safety]. 2013, №3(8), ISSN 2305-414X, pp. 19–25. (in Russian)
- [11] Skiter Natalia, Rogachev Aleksey F., Mazaeva Tamara I. Modeling Ecological Security of a State. Mediterian Journal of Social Science. 2015, Vol. 6 No 3 S6 June 2015, ISSN 2039-9340, DOI: 10.5901/mjss.2015.v6n3s6p185, pp. 192–195. (in English)
- [12] Rogachev A. Economic and Mathematical Modeling of Food Security Level in View of Import Substitution. Asian Social Science, 2015, Vol. 11, No. 20, ISSN 1911-2017, DOI: 10.5539/ass.v11n20p178, pp. 178–184. (in English)

## Indistinct and Multiple Simulation and Assessment of Farmland Ecological Safety in Case of Radiation Pollution

**A.F. Rogachev\*, E.V. Melikhova\*\***

*Volgograd State Agricultural University,  
26 Univercitetski prospect, Volgograd, Volgograd region, Russia 400002  
\*e-mail: rafr@mail.ru ; \*\*e-mail: mel-v07@mail.ru*

**Abstract** – BACKGROUND: Development of nuclear power engineering and its influence on all spheres of economy defines importance of reviewing of simulation questions and an assessment of ecological safety level taking into account specific threats for agricultural production within development of agricultural radio ecology. The significant amount of the local factors defining the overall level of ecological and radiation safety requires reasons for system of the modelled indices and tools of their aggregation.

**OBJECTIVES:** Development of mathematical apparatus and indistinct and multiple model for an integral assessment of agricultural production ecological safety in case of radiation pollution.

It is necessary to solve the following problems:

–reasons for system of indices and their integrated groups for simulation of agricultural production ecological safety taking into account specific threats;

–to justify the structure and to realize indistinct and multiple model of ecological safety of regional agrarian production;

–to enable the computer realization of the developed system of an indistinct output with the help of which to reveal the priority directions of enhancement of agrarian production ecological safety of the region on the example of the Volgograd region.

**METHODS:** Research was conducted with use of freely extended software environment of "FisPro version 3.5", allowing to build the simulating systems of an indistinct logical output in the automated mode, and also statistical data under the terms of agrarian production in the conditions of the Volgograd region.

**CONCLUSIONS:**

1. The system of ecological safety indices of agrarian production taking into account specific threats of radiation pollution including the integrated groups, and also local indices characterizing them for indistinct and multiple simulation is justified.

2. The two-level model of ecological safety constructed on the basis of algorithm of an indistinct output by Mamdani realized in the environment "FisPro version 3.5" allows to simulate and estimate influence of the integrated groups of ecological indices system on the ecological safety level of agrarian production of different level subjects in the conditions of specific threats of farmland pollution.

3. Enhancement of the farming standard and, first of all, maintenance of soil cover taking into account regional system of dry agriculture can be the priority direction of improving of agrarian production ecological safety of the Volgograd region.

*Keywords:* mathematical simulation, ecological safety, radiation pollution, system of ecological indices, indistinct and multiple model, farmland state.