

УДК 591.86: 330.4

Нечёткая модель экономической оценки экологического ущерба

Тиндова Мария Геннадьевна

Кандидат экономических наук,
доцент кафедры прикладной математики и информатики,
Саратовский государственный социально-экономический университет,
410003, Россия, Саратов, ул. Радищева, 86;
e-mail: mtindova@mail.ru

Аннотация

В работе рассмотрен вопрос отбора лингвистических переменных для построения нечёткой модели экономической оценки экологического ущерба. Приведено обоснование названий переменных, их термов, а также функций принадлежности. В работе построена база знаний и рассмотрен пример оценки экологического ущерба на основе разработанной модели.

Ключевые слова

Нечёткое моделирование, лингвистические переменные и база знаний, экономическая оценка, экологический ущерб.

Введение

Проблема ограниченности ресурсов тесно связана с проблемой загрязнения окружающей среды.

По мере усложнения функционирования экономических систем, увеличения производства и потре-

бления роль природного фактора постоянно усиливается. Трата «природного капитала» ощутимо отражается на экономическом положении, приводит к росту цен на продовольствие, воду и энергоресурсы. Потребление человечества настолько высоко, что природа не успевает восстанавливаться.

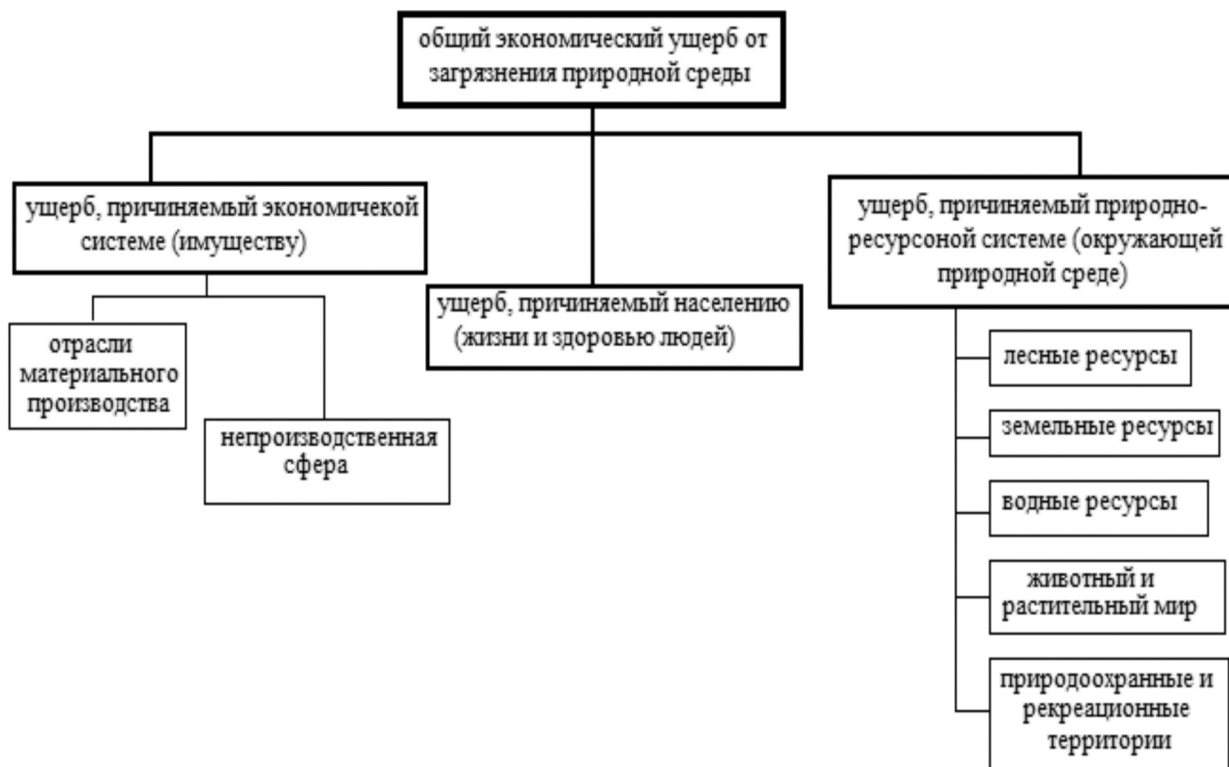


Рис.1. Составляющие экологического ущерба

Поэтому помимо экономических кризисов миру грозит масштабный экологический кризис.

В связи с этим человечеству необходимо найти компромисс при взаимодействии экологии и экономики на основе экономического использования природных ресурсов, принципа устойчивого развития и экологизации экономики.

Стратегической целью государственной экологической политики должно являться сохранение естественных природных систем, поддержания их целостности и жизнеобеспечивающих функций для устойчивого развития

общества, повышения качества жизни, улучшения здоровья населения и демографической ситуации, обеспечения экологической безопасности страны.

Выбор лингвистических переменных для нечёткой модели оценки экологического ущерба

В зарубежной практике экономическая оценка экологического ущерба складывается из следующих составляющих (рис. 1): ущерб жизни и здоровью людей; ущерб имуществу; ущерб окружающей природной среде и природным ресурсам.

Ущерб жизни и здоровью людей определяется по затратам, возникающим в связи с болезнью, включая расходы на лечение и потерянные доходы. В ущерб жизни и здоровью может также включаться моральный ущерб. На макроуровне оцениваются суммарные потери общества от увеличения заболеваемости и смертности, вызванных загрязнением окружающей среды.

Ущерб имуществу определяется как снижение его стоимости на основе применения стандартных методов оценки: затратного, доходного и сравнительного.

Оценка ущерба окружающей природной среде и природным ресурсам производится по расходам на их замещение или воспроизводство, компенсирующее потери. Воспроизводство включает следующие составляющие:

– затраты на восстановление или замещение нарушенных природных ресурсов (первичная реабилитация);

– компенсация услуг природных ресурсов (экологических функций экосистем) за период до их восстановления в исходное состояние;

– расходы на оценку ущерба.

Вследствие такого подхода нечёткая модель, позволяющая оце-

нить весь ущерб, должна содержать лингвистические переменные каждой группы.

Поскольку для факторов любой группы ущерб определяется затратами на восстановление, которые рассчитываются из расчёта за 1 день, то в качестве лингвистической переменной нечёткой модели рассмотрим L_1 – стоимость устранения, термами которой станут $T_1 = \{\text{«низкая»}, \text{«средняя»}, \text{«высокая»}\}$; определяется на множестве $X_1 = [1, 50]$.

Загрязнение окружающей среды определяется загрязнением воздуха, воды, почвы¹. Поэтому в нечёткой модели оценки экологического ущерба рассмотрим лингвистические переменные: L_2 – уровень CO_2 (загрязнение воздуха), L_3 – уровень шума, L_4 – загрязнение воды.

Все выбросы в атмосферу принято пересчитывать на количество CO_2 ². Хотя парниковый эффект от

1 Носов В.В. Моделирование оптимальной структуры производства сельскохозяйственной организации в условиях погодного риска // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2010. – № 1(63) – С. 57-64.

2 Парниковые газы – глобальный экологический ресурс. Справочное пособие. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.wwf.ru/data/publ/gr_gases.pdf.

разных газов различный (например, 1 тонна метана (CH_4) создаёт парниковый эффект в 21 раз сильнее, чем 1 тонна CO_2 , а 1 тонна закиси азота – в 310 раз (МГЭИК, 2001)), но концентрации этих газов гораздо меньше концентрации CO_2 в воздухе. Оценки показывают, что именно с CO_2 связано примерно 80 % антропогенного парникового эффекта, в то время как метан даёт 18-19 %, а все остальные газы 1-2 %. Поэтому в большинстве случаев, говоря об антропогенном парниковом эффекте, подразумевают именно CO_2 .

Поэтому термами лингвистической переменной L_2 – уровень CO_2 – станут: низкий уровень, средний и высокий.

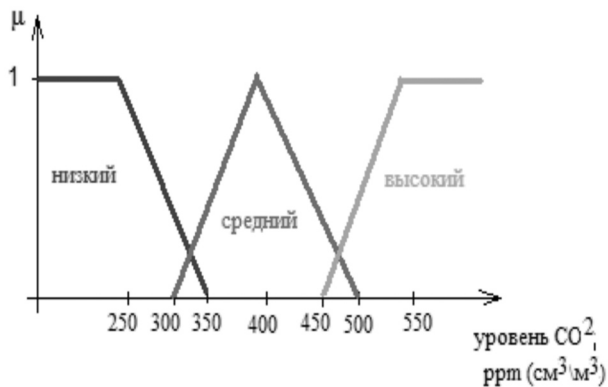


Рис. 2. Функции принадлежности для термов лингвистической переменной L_2

Аналитически функции принадлежности термов лингвистической переменной L_2 выражаются следующим образом:

$$\begin{aligned} &1, \quad t \leq 250 \\ &\frac{350-t}{100}, \quad 250 \leq t \leq 350 \\ &0, \quad t \geq 350 \end{aligned}$$

$$\mu_{T1} = \{ \} \quad ;$$

$$\begin{aligned} &0, \quad t \leq 300 \\ &\frac{t-300}{100}, \quad 300 \leq t \leq 400 \\ &\frac{500-t}{100}, \quad 400 \leq t \leq 500 \\ &0, \quad t \geq 500 \end{aligned}$$

$$\mu_{T2} = \{ \} \quad ;$$

$$\begin{aligned} &0, \quad t \leq 450 \\ &\frac{t-450}{100}, \quad 450 \leq t \leq 550 \\ &1, \quad t \geq 550 \end{aligned}$$

$$\mu_{T3} = \{ \} \quad .$$

Шумом является всякий нежелательный для человека звук. Уровень шума измеряется в беллах или чаще, в децибеллах – единицах, выражающих степень звукового давления. Шумы бывают производственные и непроизводственные. Шум в 20-30 ДБ практически безвреден для человека и составляет естественный звуковой фон, без которого невозможна жизнь. Допустимая граница «громких звуков» поднимается примерно до 80 ДБ. Шум в 130 ДБ вызывает у человека болевое ощущение, шум в 150 ДБ является

для него непереносимым, а в 180 ДБ – смертельным³.

Поэтому термами лингвистической переменной L_3 – уровень шума – станут: низкий уровень, средний и высокий.

Загрязнение воды – это понижение её качества в результате попадания в реки, ручьи, озера, моря и океаны различных физических, химических или биологических веществ. Загрязнение воды имеет много причин: промышленные стоки, содержащие неорганические и органические отходы; бытовые сточные воды, содержащие, например, синтетические моющие средства; твёрдые отходы; эвтрофикация (т. е. содержание нитратов и фосфатов); микробиологическая загрязнённость воды.

Уровни загрязнённости воды определяются классами качества воды, которые, в свою очередь, определяются по индексу загрязнённости воды (ИЗВ), рассчитываемому по формуле:

$$ИЗВ = \frac{1}{6} \sum_i \frac{c_i}{ПДК_i},$$

где: c_i – среднее значение определяемого показателя за период наблюдений (при гидрохимическом мониторинге это среднее значение за

3 Там же.

год); ПДК_і – предельно-допустимая концентрация для данного загрязняющего вещества⁴.

Вследствие этого, термами лингвистической переменной L_4 – загрязнение воды – станут: чистые, загрязнённые, грязные и чрезвычайно грязные.

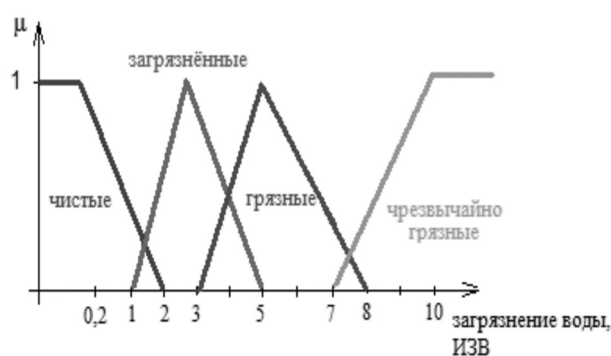


Рис. 3. Функции принадлежности для термов лингвистической переменной L_4

Аналитически функции принадлежности термов лингвистической переменной L_4 выражаются следующим образом:

$$\begin{aligned} & 0, \quad t \leq 1 \\ & 1, \quad t \leq 0,2 \quad \frac{t-1}{2}, \quad 1 \leq t \leq 3 \\ & \frac{2-t}{1,8}, \quad 0,2 \leq t \leq 2 \quad \frac{5-t}{2}, \quad 3 \leq t \leq 5 \\ & 0, \quad t \geq 2 \quad 0, \quad t \geq 5 \end{aligned}$$

$$\mu_{T1} = \{ \} ; \quad \mu_{T2} = \{ \} ;$$

4 Там же.

$$\begin{array}{ll} 0, & t \leq 3 \\ \frac{t-3}{2}, & 3 \leq t \leq 5 \\ \frac{8-t}{3}, & 5 \leq t \leq 8 \\ 0, & t \geq 8 \end{array} \quad \begin{array}{ll} 0, & t \leq 7 \\ \frac{t-7}{3}, & 7 \leq t \leq 10 \\ 1, & t \geq 10 \end{array}$$

$$\mu_{T3} = \{ \{ \} \} ; \quad \mu_{T4} = \{ \{ \} \} .$$

После выбора лингвистических переменных и определения их термов для построения нечёткой модели необходимо составить базу нечётких правил⁵ на основе экспертных оценок, различных Методик и Рекомендаций по проведению экологической оценки экологического ущерба. В нашем случае база знаний состоит из 40 нечётких правил, сформулированных в виде «Если $x = A$, то $y = B$ ». Программная реализация нечёткой оценочной модели осуществлялась с использованием пакета Fuzzy Logic Toolbox программной среды Matlab.

Дальнейший процесс обработки нечётких правил вывода состоит из 4 этапов⁶:

1. Вычисление степени истинности левых частей правил, т.е.

определение степени принадлежности входных значений нечётким подмножествам, указанным в левой части правил вывода.

2. Модификация нечётких подмножеств, указанных в правой части правил вывода в соответствии со значениями, полученными на первом этапе.

3. Объединение (суперпозиция) модифицированных подмножеств.

4. Скаляризация результата суперпозиции.

Для определения степени истинности левой части каждого правила вычисляется функция принадлежности нечётких подмножеств от соответствующих значений входных переменных.

Апробация построенной нечёткой модели оценки экологического ущерба

В качестве примера работы разработанной нечёткой модели рассмотрим условный участок, например район города, в котором расположено некое промышленное предприятие. Уровень CO_2 в данном районе составляет 380 ppm, уровень шума, производимый данным предприятием равен 90 ДБ. Использование для работы

5 Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / Под ред. Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 256с.

6 Zadeh L.A. Fuzzy sets // Information and control. – 1965. – Vol. 8. – № 3. – P. 338-353.

предприятия водоёма, расположенного в рассматриваемом районе, привело к загрязнению воды до уровня «грязная» (ИЗВ равен 5). Используя построенную нечёткую модель, определим стоимость устранения экологического ущерба, который наносит предприятие данному району города.

Следует отметить, что пример является условным, поскольку выбросы CO_2 не концентрируются в одном месте, а перемешиваются в атмосфере, и уровень CO_2 примерно одинаков на всей территории города.

Во-вторых, главным шумовым загрязнением в городах является автотранспорт, а не промышленные предприятия. (Предприятия с высоким уровнем шума выносят за черту города).

В-третьих, указанные цифры являются реальными показателями загрязнения Фрунзенского района г. Саратова, но предприятий на данной территории не расположено, и получаемые стоимости экологического ущерба должно потратить не предприятие, а Администрация г. Саратова.

Итак, поскольку уровень CO_2 равен 380 ppm, то это соответствует значению $t = 380$. Определяем значение лингвистической переменной L_2

«уровень CO_2 » при $t = 380$. Находим степень вхождения $t = 380$ в каждое из нечётких подмножеств переменной L_2 : $\mu_{T1} = 0$; $\mu_{T2} = 0,8$; $\mu_{T3} = 0$.

Далее определяем значения лингвистической переменной L_3 «уровень шума» при $t = 90$: $\mu_{T1} = 0$; $\mu_{T2} = 0,8$; $\mu_{T3} = 0$.

Определяем значение переменной L_4 «загрязнение воды» при $t = 5$: $\mu_{T1} = 0$; $\mu_{T2} = 0$; $\mu_{T3} = 1$; $\mu_{T4} = 0$.

Считая, что все переменные имеют одинаковое влияние, находим средние значения: $\mu_{T1} = 0$;

$$\mu_{T2} = \frac{0,8+0,8+0}{3} \approx 0,53; \mu_{T3} = \frac{0+0+1}{3} \approx 0,3.$$

Используя правила 1-10 базы знаний, находим модификацию нечётких подмножеств, стоящих справа в данных правилах (рис. 4). Модификацию проводим методом «произведений» (метод Ларсена), используя значения истинности левой части каждого правила в качестве множителя для модификации нечёткого множества, указанного в его правой части.

На следующем шаге нечёткая система обобщает результаты действия всех правил вывода, т. е. производит суперпозицию полученных нечётких множеств, используя операцию объединения (рис. 5).

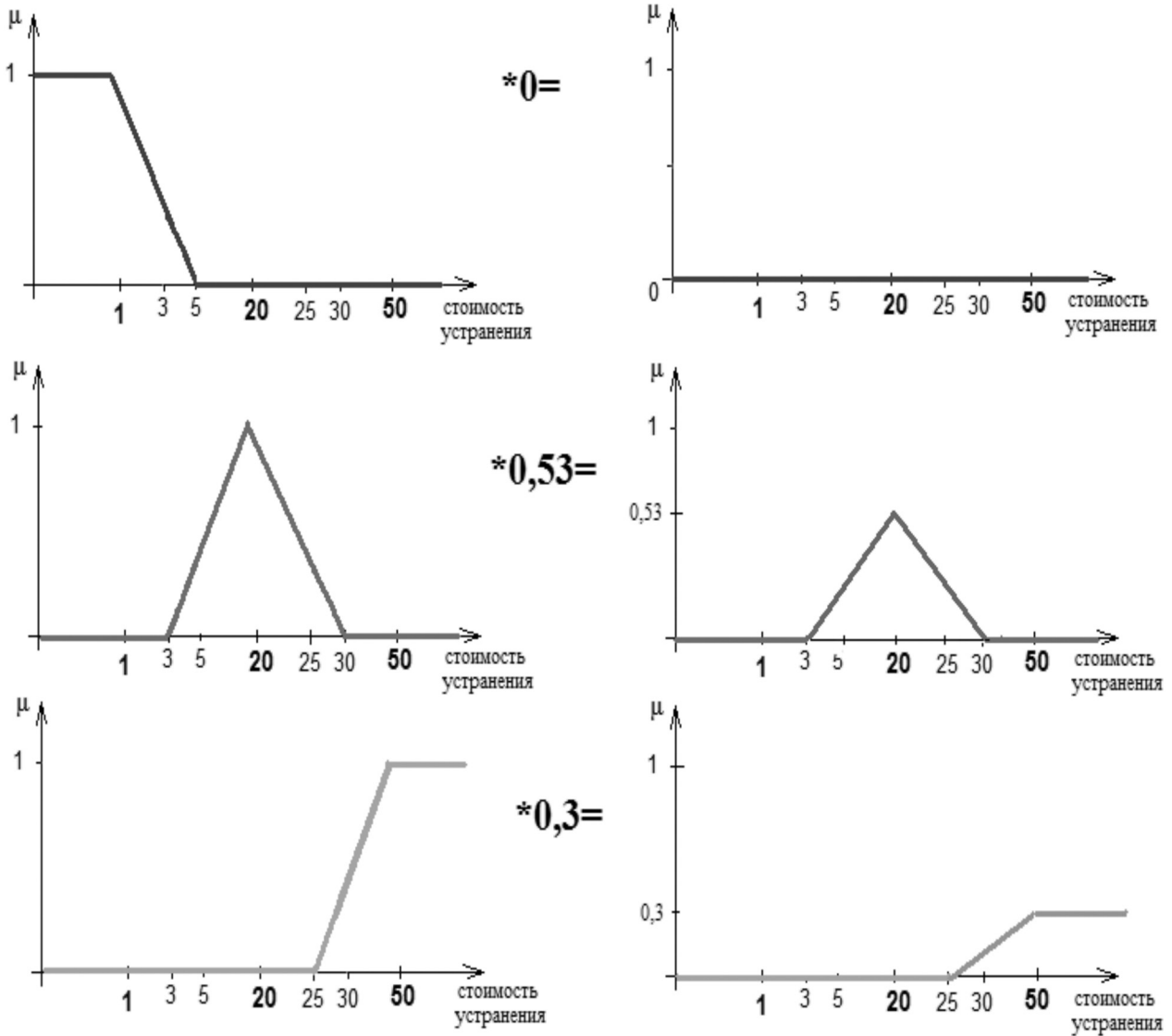


Рис. 4. Модификация нечётких подмножеств

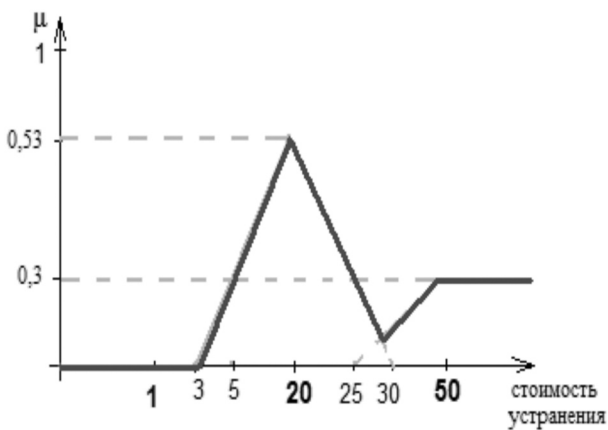


Рис. 5. Суперпозиция нечётких подмножеств

Переход от суперпозиции множеств к скалярному значению (скаляризация) проводится методом «центра тяжести»:

$$v = \frac{0 \cdot 1 + 0,53 \cdot 20 + 0,3 \cdot 50}{0 + 0,53 + 0,3} = 30,85 \text{ тыс. руб.}$$

в день.

Таким образом, стоимость устранения экологического ущерба, которое наносит предприятие, со-

ставит $30,85 \cdot 365 = 11260,25$ тыс. руб. за год.

Заключение

В качестве заключения можно отметить, что построенная в работе нечёткая модель оценки экологического ущерба позволяет учитывать показатели экологического давления в зависимости от рода деятельности предприятия. Такой подход характеризуется как связью с видом производ-

ства и потребления, так и с интенсивностью загрязнения (интенсивностью использования ресурсов).

Также построенная нечёткая модель описывает экологический ущерб как сумму ущерба, нанесённого окружающей среде, имуществу и здоровью людей. Модель легко дополняется новыми показателями загрязнения (лингвистическими переменными) и новыми схемами загрязнения (нечёткие правила вывода).

Библиография

1. Тиндова М.Г. Обзор методов оценки запасов природных ресурсов. // Вестник Саратовского социально-экономического университета. – 2010. – № 5 (34). – С. 156-159.
2. Нечёткие множества и теория возможностей. Последние достижения / Под ред. Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 256 с.
3. Носов В.В. Моделирование оптимальной структуры производства сельскохозяйственной организации в условиях погодного риска // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2010. – № 1 (63) – С. 57-64.
4. Парниковые газы – глобальный экологический ресурс. Справочное пособие. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.wwf.ru/data/publ/gr_gases.pdf.
5. Zadeh L.A. Fuzzy sets // Information and control. – 1965. – Vol. 8. – № 3. – Pp. 338-353.

Fuzzy model of economic estimation of ecological damage

Tindova Mariya Gennad'evna

PhD (Economics),

Associate Professor of the Department of Applied Mathematics and Computer Science,

Saratov State Socio-Economic University,

P.O.Box 410003, Radishcheva st., № 86, Saratov, Russia;

e-mail: mtindova@mail.ru

Abstract

In the article the indistinct model of estimation of ecological damage is presented. In the given model there is an association of three aspects of an ecological damage, namely a damage to health of people, a damage to property and a damage to environment, by means of introduction of linguistic variables characterizing all parties of a damage. Levels of air, water and soil pollution are considered as these variables in model.

A whole indistinct estimated model presented in the paper is based on the general scheme of a logic conclusion: linguistic variables, indistinct rules, a conclusion. The source of indistinct rules is made on the basis of techniques developed for the definition of comfortable life conditions, and also techniques of the definition of damage to property and represents the base of predicate rules in the form of "If X is A then Y is B".

Thirds part of the work is a model approbation on a concrete example of ground area and the enterprise located on it. As a result of indistinct model operation the cost of elimination of an ecological damage from the enterprise is defined.

In the author's opinion the indistinct modeling in economic estimation of an ecological damage allows to consider indicators of ecological pressure depending on an enterprise activity. On the one hand, such approach is characterized as connection with types of production and consumption and with intensity of pollution (intensity of resources usage). From the other hand, the constructed indistinct model describes an ecological damage as an amount of damage caused in different aspects people's life. The model can be easily added by new indicators of

pollution (linguistic variables) and new schemes of pollution (indistinct rules of conclusion).

Keywords

Fuzzy modeling, linguistic variables and knowledge base, economic estimation, ecological damage.

References

1. Tindova, M.G. (2010), "Review of methods of estimation of natural resources supply" ["Obzor metodov otsenki zapasov prirodnnykh resursov"], *Vestnik Saratovskogo sotsial'no-ekonomicheskogo universiteta*, No. 5(34), pp. 156-159.
2. Yager, R., (1986), *Fuzzy sets and possibility theory. Recent developments* [*Nechetkie mnozhestva i teoriya vozmozhnostei. Poslednie dostizheniya*], Radio i svyaz', Moscow, 256 p.
3. Nosov, V.V. (2010), "Simulation of the optimal structure of agricultural organization in terms of weather risk" ["Modelirovanie optimal'noi struktury proizvodstva sel'skokhozyaistvennoi organizatsii v usloviyakh pogodnogo riska"], *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*, No. 1(63), pp. 57-64.
4. "Greenhouse gases – global environmental resource. A Reference Guide" ["Parnikovyе gazy – global'nyi ekologicheskii resurs. Spravochnoe posobie"], available at: http://www.wwf.ru/data/publ/gr_gases.pdf
5. Zadeh, L.A. (1965), *Fuzzy sets. Information and control*. Vol. 8, No.3, pp. 338-353.