

УДК 628.54:004

ОБРАБОТКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

С. В. Павлов¹, А. Х. Абдуллин², З. Л. Давлетбакова³

¹psvgis@mail.ru, ²a.kh.abdull@gmail.com, ³davletbakova@gmail.com

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. Описывается способ применения методов нечеткой логики для решения задачи территориального планирования. Строится модель пространственного описания объектов на карте при помощи растрового представления. Приводится пример использования описанного в статье метода для определения санитарно-защитной зоны полигона промышленных отходов.

Ключевые слова: нечеткая логика; геоинформационные системы; задачи территориального планирования; полигон промышленных отходов.

Современное развитие экономики Российской Федерации характеризуется ростом объема и уровня промышленного производства. Вместе с увеличением произведенной промышленности продукция естественным образом растет количество отходов производства. Как правило, большая часть отработанных материалов и сырья, образовавшихся в результате производственного процесса, в России не подлежит повторному использованию, а отправляется на территории долговременного хранения и захоронения отходов, поэтому вполне логично, что для сохранения экологической обстановки в окрестности промышленного предприятия требуется своевременное избавление от накопившихся отходов.

Решение подобного рода задач влечет за собой необходимость в комплексном использовании и обработке информации об объектах размещения отходов и других объектов инфраструктуры, задействованных в управлении промышленными отходами. В связи с этим при организации информационного обеспечения поддержки принятия решений о размещении объектов промышленных отходов в качестве технологической основы предпочтительнее и наиболее перспективно использовать геоинформационные системы (ГИС).

Наиболее значимая составляющая функциональности ГИС в аналитических задачах для природопользования и территориального планирования заключается в использовании моде-

лей реальных явлений [1]. Характерной чертой этих моделей является комбинирование и преобразование исходных данных в соответствии с алгоритмом решения и последующая интерпретация полученных результатов в виде карты местности. В то же время для достижения результатов, способных удовлетворить запросы пользователей, нередко приходится сталкиваться с несовершенством применяемых подходов и, как следствие, с недостаточной адекватностью формируемых на их базе выводов.

Такая ситуация обусловлена несколькими причинами:

– не всегда имеется возможность выразить пространственные отношения для географических объектов в виде количественных характеристик;

– большинство географических объектов не имеет жестких, ярко выраженных границ, и ввиду этого применение простейших пространственных абстракций может быть недостаточно для моделирования реальных явлений;

– отсутствует либо является неприемлемо сложным формализованное описание модели реального явления;

– значительная часть информации, которая необходима для математического описания пространственного объекта, существует в форме представлений и пожеланий специалистов-экспертов, имеющих опыт работы с рассматриваемой проблемой.

В перечисленных случаях наиболее эффективными являются нечеткие методы моделирования, базирующиеся на аппарате нечеткой логики (fuzzy logic), с помощью которых, полагаясь на знания экспертов, могут быть получены позитивные результаты в итерационном процессе уточнения непротиворечивой модели. Такие модели способны учесть неточность (нечеткость) в условиях, свойственных задаче, и обеспечить достижение приемлемого решения.

В ГИС использование методов нечеткой логики является более продвинутым, приближенным к естественным человеческим суждениям подходом как для традиционных задач, так и тех задач, для которых до недавнего времени решения не были вполне пригодными для использования. Само решение задачи может состоять в наложении тематических пространственных данных, например при выборе подходящих по заданным критериям территорий, и применении моделей пригодности [2–5].

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА В ГИС

Для представления сложных пространственных моделей предлагается использовать аппарат нечеткой логики как способ формализации нечетких суждений и получения из них выводов. Примером использования нечеткого множества для описания географических объектов может служить представление каких-либо участков территорий с помощью растра – регулярной ограниченной сетки, с каждой ячейкой которой ассоциировано значение функции принадлежности в интервале $[0, 1]$ и определяющей степень наличия свойства в данном месте.

Система нечеткого вывода включает ряд этапов [6]:

1. Формирование базы правил системы нечеткого вывода – процедуры формального представления эмпирических знаний или знаний экспертов. При этом должны соблюдаться следующие условия:

– существует хотя бы одно правило для каждого лингвистического термина выходной переменной;

– для любого термина входной переменной имеется хотя бы одно правило, в котором этот терм используется в качестве предпосылки.

В противном случае имеет место неполная база нечетких правил.

2. Фаззификация входных параметров – процедура нахождения значений функций принадлежности нечетких множеств (термов) на основе обычных (не нечетких) исходных дан-

ных. Процедура фаззификации является способом введения нечеткости в исходную задачу.

Цель фаззификации состоит в установлении соответствия между конкретным значением отдельной входной переменной системы нечеткого вывода и значением функции принадлежности соответствующего ей термина входной лингвистической переменной. После завершения этого этапа для всех входных переменных должны быть определены конкретные значения функций принадлежности по каждому из лингвистических термов, которые используются в подусловиях базы правил.

3. Агрегирование – процедура определения степени истинности условий по каждому из правил. Формально процедура агрегирования выглядит следующим образом. До начала этого этапа предполагаются известными значения истинности всех подусловий. Далее рассматривается каждое из условий правил системы нечеткого вывода. Для определения нечеткой конъюнкции (связки «И») используется основная формула логической конъюнкции нечетких высказываний. А для определения результата нечеткой дизъюнкции (связки «ИЛИ») используется основная формула логической дизъюнкции нечетких высказываний.

4. Активизация подусловий в нечетких правилах продукции – процедура объединения нечетких подмножеств, назначенных для каждой выходной переменной, чтобы сформировать одно нечеткое подмножество для каждой переменной.

5. Дефаззификация – процедура преобразования нечеткого множества в четкое число. В теории нечетких множеств процедура дефаззификации аналогична нахождению характеристик случайных величин в теории вероятности (математического ожидания, моды, медианы). Одним из самых распространенных методов дефаззификации является метод центра тяжести, т.е. нахождение центра плоской фигуры, ограниченной осями координат и графиком функции принадлежности нечеткого множества. Описанная выше схема относится к известному алгоритму нечеткого вывода Мамдани [6, 7].

ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМЫ

При проектировании и модернизации объектов размещения отходов промышленных предприятий одной из задач является установление границ санитарно-защитных зон (СЗЗ) – специальных территорий с особым режимом использования, которые обеспечивают уменьшение воздействия загрязнений на окружающую среду

до значений, установленных гигиеническими нормативами. В СЗЗ не допускается размещение жилой застройки, зон отдыха, садоводческих, коттеджных и дачных участков, спортивных сооружений, детских площадок, образовательных, лечебно-профилактических и оздоровительных учреждений и др.

Согласно [8], для усовершенствованных полигонов неутраченных твердых промышленных отходов нормативный размер СЗЗ устанавливается 1000 м, а для полигонов и участков компостирования твердых бытовых отходов 500 м. Размер СЗЗ устанавливается бессрочно и может изменяться в случае изменения факторов, которые могут привести к увеличению ее требуемого размера. Кроме нормативных, устанавливаются размеры СЗЗ по фактору химического загрязнения атмосферного воздуха, шуму и другим физическим воздействиям. Интегральная СЗЗ определяется с учетом всех перечисленных факторов по наибольшему удалению пофакторных границ.

Основанием для увеличения размеров СЗЗ может служить [9]:

- отсутствие систем санитарной защиты объекта;
- размещение жилой застройки с подветренной стороны в зоне возможного загрязнения атмосферы;
- зависимость расположения объекта от розы ветров и других неблагоприятных местных условий (частые штормы и туманы, размещение в горной долине и др.);
- строительство новых, еще недостаточно изученных в санитарно-гигиеническом отношении объектов.

Однако, как показывает практика, определение границ СЗЗ даже с учетом всех перечисленных требований оказывается недостаточным для их использования в территориальном планировании. Это объясняется тем, что полученные таким способом границы СЗЗ часто проходят через открытые участки местности (поля, пустыри) или лесные массивы и фактически выводят из оборота всю полезную площадь занимаемых участков, т. е. ведут к нерациональному использованию земель. Кроме того, не учитываются естественные препятствия в виде автодорог, оврагов, крутых склонов возвышенностей, границ лесных массивов и др., по которым удобно ориентироваться при освоении территорий и которые могли бы использоваться в качестве границ СЗЗ.

Таким образом, для определения границы СЗЗ необходимо принимать во внимание три группы факторов:

- 1) нормативные размеры СЗЗ, санитарно-гигиенические и экологические факторы, обеспечивающие безопасное хранение и захоронение отходов;
- 2) факторы рационального использования территорий;
- 3) факторы, связанные с потенциалом территории, занимаемой объектом размещения отходов: возможное увеличение его площади и, как следствие, увеличение размеров СЗЗ.

Первая группа факторов является наиболее важной, но она не позволяет произвольно варьировать (уменьшать) границы СЗЗ, в свою очередь для второй и третьей группы факторов допустимо изменение границ СЗЗ. Учитывая изложенное выше, обоснование фактической границы СЗЗ является достаточно сложной задачей, однозначное решение которой не всегда удается получить. Поэтому авторами предлагается формализовать процедуру выбора границ СЗЗ на основе анализа пространственных характеристик территорий методами нечеткой логики.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В соответствии с нормативными документами [7], для СЗЗ полигона промышленных отходов должны учитываться несколько факторов $A = \{A_q\}, q = \overline{1, n}$. Рассмотрим в качестве A_q расстояния от точки территории до полигона промышленных отходов, водных объектов, населенных пунктов, садово-дачных участков и др. (рис. 1).

Задачей нечеткого вывода является определение четкого значения для выходной переменной D – уровня пригодности точки территории в качестве границы СЗЗ, выраженный в лингвистических единицах «пригодно», «непригодно» и др., и который зависит от факторов (лингвистических переменных) A_q :

$$D = D(A_1, A_2, \dots, A_n). \quad (1)$$

Каждая лингвистическая переменная определяется некоторым набором термов $A_q = \{a_{q_l}\}, l = \overline{1, r_l}$. Для рассматриваемых факторов расстояний в качестве термов могут выступать следующие лингвистические значения «близко», «недалеко», «далеко». Аналогично зададим значения термов для выходной переменной $D = \{d_j\}, j = \overline{1, m}$.

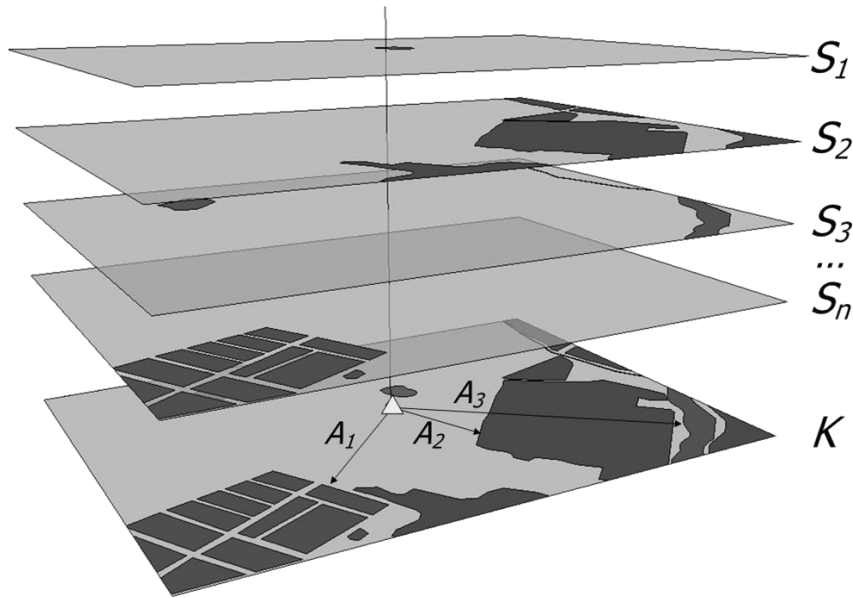


Рис. 1. Карта, состоящая из векторных слоев $\{S_u\}$

Они, в свою очередь, могут быть представлены как {непригодно, недостаточно пригодно, пригодно, достаточно пригодно, полностью пригодно}.

Рассмотрим пространственную составляющую задачи. Пусть имеется карта местности, которая должна содержать все необходимые для анализа объекты, сгруппированные в соответствующие им тематические слои:

$$K = K\{S_u\}, \quad (2)$$

где S_u – набор из векторных слоев, составляющий карту K . Количество слоев для рассматриваемой задачи будет совпадать с количеством факторов и равно n , поэтому $u = \overline{1, n}$.

В дальнейшем для оперирования рассматриваемыми объектами будем использовать функциональные поверхности – растры, каждая ячейка которого в свою очередь определена своим значением координат (x, y) – геометрического центра ячейки растра – и несет в себе содержательную информацию о занимаемом местоположении (тип объекта, высота над уровнем моря, уклон и пр.).

Преобразуем векторное представление объектов на карте в растровое следующим образом. Принадлежность ячейки растра векторному объекту представим значением “1”, отсутствие принадлежности – “0”. Таким образом получим n растров, содержащих информацию о местоположении объектов по ячейкам (рис. 2).

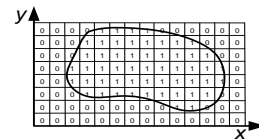


Рис. 2. Преобразование векторного слоя в растровый

Множество объектов, которые содержатся на карте и будут участвовать в анализе по выбору местоположения СЗЗ, обозначим как $O = \{O_t^u\}$, где индекс t – порядковый номер объекта в соответствующем слое u . Тогда границы $\Gamma(O)$ каждого объекта можно охарактеризовать набором пар координат:

$$\Gamma(O_t^u) = \Gamma_{u_t} = \{x_i^{u_t}, y_i^{u_t}\}.$$

Для решения задачи определения наилучшего местоположения границы СЗЗ необходимо рассмотреть все множество ячеек исследуемой области размерностью $A \times B$ ячеек (рис. 3). Расстояние R от границы исследуемого объекта до произвольной точки $T_{a,b}$ с координатами на плоской поверхности определяется по евклидовой метрике:

$$R(T_{a,b}, \Gamma_{u_t}) = \sqrt{(x_i^{u_t} - x^a)^2 + (y_i^{u_t} - y^b)^2}. \quad (3)$$

Сформируем растр таким образом, чтобы значение в каждой ячейке соответствовало расстоянию до ближайшей точки границы рассматриваемых объектов одного слоя. Таким образом, получим растр, ячейки которого будут содержать наименьшее значение $R(T_{a,b}, \Gamma_{u_t})$:

$$f_n^{a,b}(T_{a,b}, S_{u_i}) = \min R(T_{a,b}, \Gamma_{u_i}). \quad (4)$$

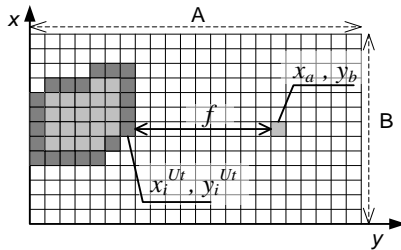


Рис. 3. Растр расположения объектов

Анализируя все n растровых слоев для точки $T_{a,b}$, получим n значений функции $f: F^{a,b} = \{f_u^{a,b}\}$, которые в дальнейшем будем использовать в качестве входных переменных по каждому рассматриваемому фактору.

Для установления зависимости между входными данными $\{f_u^{a,b}\}$ и выходной переменной D сформируем логические правила, которые строятся на описании предметной области экспертом. В качестве правил логического вывода будем использовать операцию нечеткого I (минимум), с помощью которой принадлежность выводу «отсекается» по высоте, соответствующей степени истинности предпосылки правила. Далее нечеткие подмножества, назначенные для каждой выходной переменной, объединяются для формирования единого нечеткого подмножества для каждой переменной:

$$\begin{aligned} \forall (x_a, y_b) \in R: \\ \text{ЕСЛИ } f_1^{a,b} = a_{1_1}^{j_1} \quad \text{И} \quad f_2^{a,b} = a_{2_1}^{j_1} \quad \text{И} \dots \text{И} \\ f_n^{a,b} = a_{n_1}^{j_1} \\ \text{ИЛИ} \quad f_1^{a,b} = a_{1_1}^{j_2} \quad \text{И} \quad f_2^{a,b} = a_{2_1}^{j_2} \quad \text{И} \dots \text{И} \\ f_n^{a,b} = a_{n_1}^{j_2} \\ \dots \dots \\ \text{ИЛИ} \quad f_1^{a,b} = a_{1_1}^{j_{k_j}} \quad \text{И} \quad f_2^{a,b} = a_{2_1}^{j_{k_j}} \quad \text{И} \dots \text{И} \\ f_n^{a,b} = a_{n_1}^{j_{k_j}} \\ \text{ТО } y = d_j, j = \overline{1, m}, \end{aligned}$$

где $a_{n_1}^{j_{k_j}}$ – нечеткий терм, которым оценивается значение входа $f_u^{a,b}$ в строчке с номером jp ($p = \overline{1, k_j}$), k_j – количество строчек-конъюнкций, в которых выход y оценивается нечетким термом d_j , m – количество термов, используемых для лингвистической оценки выходных данных.

Таким образом, приведенная выше система логических высказываний записывается с помощью операций \cup (ИЛИ) объединения и пересечения \cap (И):

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left| \bigcap_{u=1}^n (f_u^{a,b} = a_{u_i}^{jp}) \right| \rightarrow y = d_j. \quad (5)$$

Нечеткая база знаний вида (4) является аналогом базы знаний Мамдани с *MISO*-структурой (*Multiple Input – Single Output*). Отличие состоит в том, что в рассматриваемом случае определяется принадлежность к классу пригодности.

Теперь получим конечное значение для ячейки растра, чтобы оценить его принадлежность к одному из выходных термов. Для этого назначим приоритет по m -бальной шкале $\omega_j = \{1, 2, \dots, m\}$ лингвистическим значениям выходной переменной D в соответствии с предпочтениями экспертов об удаленности границы СЗЗ от полигона промышленных отходов. Осуществим дефазификацию по методу центра тяжести:

$$d = \frac{\sum_j y_j \times \omega_{jp}}{\sum_j y_j}. \quad (6)$$

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ

Рассмотрим использование предложенного подхода на примере определения границы СЗЗ полигона захоронения промышленных отходов г. Давлеканово Республики Башкортостан.

Полигон находится в непосредственной близости к городу, водным объектам и садово-дачным участкам.

Цифровая карта исследуемой территории представлена на рис. 4 и содержит множество объектов различной геометрии.



Рис. 4. Карта местности вблизи полигона

Проанализируем следующие факторы: A_1 – расстояние от каждой ячейки растра до полигона промышленных отходов, A_2 – расстояние от каждой ячейки растра до населенных пунктов и садово-дачных участков, A_3 – расстояние от каждой ячейки растра до водных объектов.

Набор слоев S_i , составляющий карту K , состоит из координатного описания границ пространственных объектов: $S_1 = \{(x_i^{OPO}, y_i^{OPO})\}$ –

граница объекта размещения отходов;
 $S_2 = \{(x_i^{НП}, y_i^{НП})\}$ – граница населенного пункта;
 $S_3 = \{(x_i^{ВО}, y_i^{ВО})\}$ – граница водного объекта.

Сформируем перечень лингвистических переменных с использованием оценок – {близко, недалеко, далеко}; и модификатора – {недопустимо};

$$A_1 = \{(\text{близко}), (\text{недалеко}), (\text{далеко})\};$$

$$A_2 = \{(\text{близко}), (\text{далеко})\};$$

$$A_3 = \{(\text{недопустимо близко}), (\text{близко}), (\text{недалеко}), (\text{далеко})\}.$$

Функции принадлежности для лингвистической переменной A_1 зададим следующими соотношениями (7) и соответствующими им графиками (рис. 5):

$$a_{1_1} = \begin{cases} 1, f_1^{a,b} \leq 250, \\ \frac{500 - f_1^{a,b}}{250}, 250 \leq f_1^{a,b} \leq 500, \\ 0, f_1^{a,b} \geq 500, \end{cases}$$

$$a_{1_2} = \begin{cases} 0, f_1^{a,b} \leq 250, \\ \frac{f_1^{a,b} - 250}{250}, 250 \leq f_1^{a,b} \leq 500, \\ \frac{750 - f_1^{a,b}}{250}, 500 \leq f_1^{a,b} \leq 750, \\ 0, f_1^{a,b} \geq 750, \end{cases}$$

$$a_{1_3} = \begin{cases} 0, f_1^{a,b} \leq 500, \\ \frac{f_1^{a,b} - 500}{500}, 500 \leq f_1^{a,b} \leq 1000, \\ 1, f_1^{a,b} \geq 1000 \end{cases}$$

Подобным образом представим следующими графиками соотношения для второй и третьей лингвистических переменных (рис. 6–7).

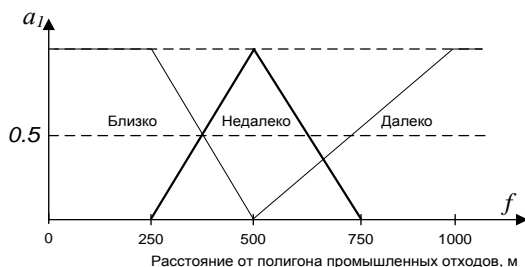


Рис. 5. График функции принадлежности для a_1

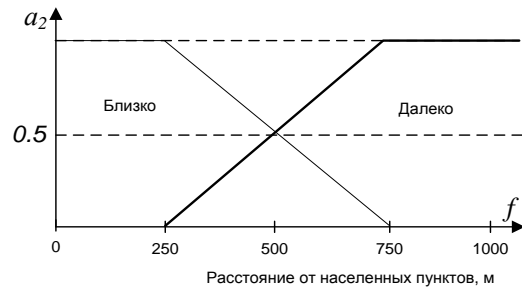


Рис. 6. График функции принадлежности для a_2

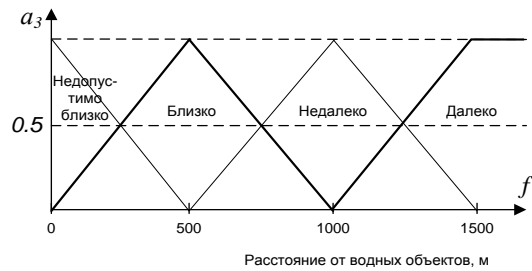


Рис. 7. График функции принадлежности для a_3

Далее для установления зависимости между входными данными и выходной переменной D будем использовать качественные термины из терм-множеств $\{d_j\}$, $j = \overline{1,5}$, определяемых как:

$d1 = \text{«непригодно»}$,

$d2 = \text{«недостаточно пригодно»}$,

$d3 = \text{«пригодно»}$,

$d4 = \text{«достаточно пригодно»}$,

$d5 = \text{«полностью пригодно»}$.

Процесс формирования логических правил строится на описании предметной области экспертом:

Правило 1. ЕСЛИ расстояние от полигона отходов «близко»

И расстояние от населенных пунктов «далеко»

И расстояние от водных объектов «недалеко»,

ТО безопасное расстояние для защитной зоны полигона «пригодно»;

Правило 2. ЕСЛИ расстояние полигона отходов «близко»

И расстояние от населенных пунктов «далеко»

И расстояние от водных объектов «далеко»,

ИЛИ расстояние от полигона отходов «недалеко»

И расстояние от населенных пунктов «далеко»

И расстояние от водных объектов «недалеко»,

ТО безопасное расстояние для защитной зоны полигона «достаточно пригодно»;

.....

Правило 5. ЕСЛИ расстояние от полигона отходов «близко»

И расстояние от населенных пунктов «далеко»

И расстояние от водных объектов «недопустимо близко»,

ИЛИ.....,

ТО безопасное расстояние для защитной зоны полигона «непригодно».

Назначим преимущества лингвистическим значениям выходной переменной в соответствии с предпочтением эксперта в рамках решаемой задачи, т.е. множество значений $\{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5\}$ будут иметь $\omega_j = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ баллов соответственно.

Выберем точку, предполагаемую для размещения границы СЗЗ (рис. 4), и определим расстояния от этой точки до исследуемых объектов согласно (2): $f_1 = 400$ м, $f_2 = 600$ м, $f_3 = 1150$ м. Чтобы определить, насколько данная точка пригодна в качестве границы СЗЗ, следуя правилам приведенного выше логического вывода, получим степень принадлежности данной точки к каждому классу выходной лингвистической переменной D (табл. 1). И, наконец, на этапе дефаззификации получим значение, которое показывает, к какому выходному классу относится точка:

$$d = \sum_j y_j \cdot \omega_{jp} / \sum_j y_j \approx 3,1.$$

Таблица 1

Выходные значения нечеткого вывода

Правила (p_j)	a_1	a_2	a_3	$y_j^* = \min(a_1, a_2, a_3)$	$y_j = \max(y_j^*)$
p_1	0,4	0,3	0,75	0,3	0,3
p_2	0,6	0,3	0,75	0,3	0,3
	0,4	0,3	0,25	0,25	
p_3	0,4	0,7	0,75	0,4	0,4
p_4	0,4	0,7	0,25	0,25	0,6
	0,6	0,3	0,25	0,25	
	0,6	0,7	0,75	0,6	
p_5	0,6	0,7	0,25	0,25	0,25

Поскольку значение функции пригодности в данной точке равно 3,1, то ее можно отнести к классу «3 – пригодно». Подобным образом, вычислив значения d для всего множества точек $\{x_i, y_i\}$ и сопоставив полученные значения со шкалой пригодности, получим карту, отображающую желательные и нежелательные участки для установления безопасной границы СЗЗ в соответствии с мнениями экспертов. На рис. 8 каждой ячейке присвоен цвет в зависимости от степени соответствия этого местоположения условиям задачи.



Рис. 8. Результат нечеткого вывода на карте

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный в статье подход к определению границы СЗЗ полигона отходов на основе анализа территорий методами нечеткой логики в сочетании с геоинформационными технологиями позволяет получить обоснованное решение поставленной задачи. Полученное решение учитывает как требования к нормативной границе СЗЗ, так и требования, связанные с рациональным использованием территорий и потенциальным увеличением площади полигона отходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов С. В., Ямалов И. У., Атнабаев А. Ф., Кунаков Ю. Н. Информационное сопровождение весеннего паводка на территории Республики Башкортостан с использованием ГИС-технологий // Вестник УГАТУ. 2011. Т. 15, № 2 (42). С. 29–38. [S. V. Pavlov, I. U. Yamalov, A. F. Atnabaev, and U. N. Kunakov, "Information support spring floods in Bashkortostan using GIS technology" (in Russian), *Vestnik UGATU*, vol. 14, no. 2 (37), pp. 233-244, 2011.]
2. Sui D. Z. A fuzzy GIS modeling approach land evaluation // *Computing Environment and Urban Systems*. 1992. Vol 16. P. 101–115. [Daniel Z Sui, "A fuzzy GIS modeling approach land evaluation," *Computing Environment and Urban Systems*, vol 16, pp. 101-115, 1992.]

3. Raines G. L., Sawatzky D. L., Bonham-Carter G. F. Incorporating expert knowledge. New fuzzy logic tools in ArcGIS 10 // *ArcUser*. Spring 2010. P. 8–13. [Gary L. Raines, Don L. Sawatzky, and Graeme F. Bonham-Carter, "Incorporating Expert Knowledge. New fuzzy logic tools in ArcGIS 10," *ArcUser*, pp. 8-13, Spring 2010.]

4. Hongyou Liang, Shengwu Hu, ChaofeiQiao. Study of fuzzy uncertainty of GIS products // *ISPRS Workshop on Service and Application of Spatial Data Infrastructure*, XXXVI (4/W6), Oct. 14–16, Hangzhou, China. P. 225–229. [Hongyou Liang, Shengwu Hu, and ChaofeiQiao, "Study of fuzzy uncertainty of GIS products," in *ISPRS Workshop on Service and Application of Spatial Data Infrastructure*, XXXVI (4/W6), Oct. 14-16, Hangzhou, China, pp. 225-229.]

5. Kainz W. Fuzzy Logic and GIS // *Int. J. of Geographical Information Systems*. 2003. Vol. 7, no. 3. P. 215–229. [W. Kainz, "Fuzzy Logic and GIS," *Int. J. Geographical Information Systems*, vol. 7, no. 3, pp. 215-229, 2003.]

6. Штовба С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. Винница: Континент-Прим, 2003. 198 с. [S. D. Shtoba, *Introduction to the theory of fuzzy sets and fuzzy logic*. Vinnica: Kontinent-Prim, 2003.]

7. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия – Телеком, 2004. 452 с. [D. Rutkovskaya, M. Pilinskii, and L. Rutkovskii, *Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems*. Moscow: Telekom, 2004.]

8. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. СанПин 2.2.1/2.1.1.1200-03: зарег. в Министерстве юстиции Рос. Федерации 18 мая 2001 г., рег. № 2712, утвержд. Глав. госуд. санитар. врачом Рос. Федерации 30 марта 2003 г. [Sanitary protection zones and sanitary classification of enterprises, buildings and other facilities. Sanitary Norms and Rules 2.2.1/2.1.1.1200-03: reg. 18 may 2001.]

9. Практическое пособие для разработчиков проектов строительства. М.: ФГУП «ЦЕНТРИНВЕСТпроект», 2006. [A practical guide for developers building projects. Moscow: FSUE "CentrInvestproect", 2006.]

ОБ АВТОРАХ

ПАВЛОВ Сергей Владимирович, проф., зав. каф. геоинф. систем. Дипл. математик (БГУ, 1977). Д-р техн. наук (УГАТУ, 1998). Иссл. в обл. обработки пространств. данных.

АБДУЛЛИН Айдар Хайдарович, ст. преп. каф. геоинф. систем. М-р техн. и технол. в обл. электроники и микроэлектроники (УГАТУ, 2005). Канд. техн. наук (УГАТУ, 2008). Иссл. в обл. обработки пространств. данных.

ДАВЛЕТБАКОВА Зульфия Лотфулловна, асп. каф. геоинф. систем. Дипл. инж. по инф. системам и технологиям (УГАТУ, 2010). Готовит дис. об обр. простр. данных на основе методов нечеткой логики.

METADATA

Title: Spatial data processing based on fuzzy logic methods for the industrial waste disposal.

Authors: S. V. Pavlov, A. H. Abdullin, and Z. L. Davletbakova.

Affiliation: Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: davletbakova@mail.ru.

Language: Russian.

Source: *Vestnik UGATU* (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 18, no. 1 (61), pp. 106-113, 2014. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: The article describes the application of fuzzy logic for solving the problem of spatial planning. The model of objects' spatial description is constructed on the map using raster imaging. An example of using the method to determine the sanitary protection zones for the industrial waste landfill is made.

Key words: fuzzy logic; geographic information systems; territorial planning; industrial waste.

About authors:

PAVLOV, Sergey Vladimirovich, Prof., Dept. of Geoinformation Systems. Dipl. Mathematician (Bashkir State Univ., 1977). Dr. of Tech. Sci. (UGATU, 1998).

ABDULLIN, Aidar Haidarovich, Master of Electronics and Microelectronics (UGATU, 2005), Cand. of Tech. Sci. (UGATU, 2008).

DAVLETBAKOVA, Zulfiya Lotfullovna, Postgrad. (PhD) Student, Dept. of Geoinformation Systems. Engineer of Information Systems and Technology (UGATU, 2010).