

Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 004.932

С.И. Березина, О.С. Бутенко, Д.В. Еременко

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ, ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ, ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Предложена методология решения задачи определения зон загрязнений от металлургических промышленных предприятий по снимкам, полученным КА ДЗЗ. Определен вектор параметров дешифровочных признаков и предложена методика оценки уровня загрязнения. На основе комплексного подхода, разработана прогнозная геоинформационная модель развития аномалии.

Ключевые слова: дешифровочные признаки, нечеткие фильтры, факторы влияния, модель прогноза развития зон загрязнения.

Введение

Задачи, связанные с мониторингом участков земной поверхности, прежде всего, основываются на систематическом анализе текущего состояния исследуемых объектов по результатам тематического дешифрирования в совокупности с дополнительными статистическими и картографическими данными, а также характеристиками и показателями, полученными контактными методами. Решение задачи локализации на космоснимках негативных последствий антропогенной деятельности включает несколько этапов:

- выявление на снимке дымовых шлейфов и зон максимального загрязнения;
- отнесение их к определенному классу объектов;
- измерение геометрических характеристик зоны локализации, а именно, определение размеров зоны, расстояний между объектами, уровня концентрации загрязнения на единицу площади, и т.п.

Как правило, при последовательной автоматизированной реализации этих этапов учитываются лишь основные дешифровочные признаки, такие как тон, цвет, размер. При этом основная задача сводится к тому, чтобы выбрать n измеряемых величин объекта, подлежащего классификации и анализу, а затем рассмотреть результат как точку в n -мерном пространстве признаков. Совокупность полученных величин образует вектор признаков. Для описания выделенной зоны необходимо наличие определенного количества априорной информации, обеспечивающей оптимальное разбиение n -мерного пространства характеристик.

Как известно, процесс классификации состоит в распределении всех пикселей снимка по классам в соответствии с отражательной способностью (зна-

чением спектральной яркости) каждого из них в одной или нескольких зонах спектра, например, типы растительности или классы использования земель (городские территории, пастбища, пашни, водные объекты, леса). Это обусловлено тем, что каждый объект на снимке представлен компактным множеством точек в спектральном пространстве с признаками, характеризующими объект. Таким образом, процесс распределения пикселей по классам осуществляется в спектральном пространстве. Если пиксель удовлетворяет определенному набору условий, он приписывается к классу, который соответствует заданному критерию. В связи с тем, что в большинстве случаев, величины спектральных признаков пикселей одного и того же объекта не всегда совпадают, а варьируют в некотором диапазоне, то величины этих изменений могут быть получены из анализа гистограмм. При этом необходимо учитывать, что диапазоны спектральных признаков разных объектов могут частично перекрываться, поэтому выполненная по ним классификация не может быть абсолютно достоверной.

1. Построение вектора признаков для определения дымовых шлейфов

Наиболее часто при анализе данных изображений, полученных средствами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), используется цветовая модель RGB (Red, Green, Blue – Красный, Синий, Зеленый), в основе которой лежит использование базовых цветов визуализации информации на мониторах компьютеров.

Каждый пиксель снимка при таком представлении будет однозначно определяться пространственными координатами (x, y) и значением составляющих цвета $(r, g, b) - F(x, y, r, g, b)$.

$$\left\{ \begin{aligned} &(|r_0 - r| < \delta r \wedge |g_0 - g| < \delta g \wedge |b_0 - b| < \delta b) \Rightarrow F(x, y, r, g, b) \in A_0; \\ &(|r_0 - r| > \delta r \vee |g_0 - g| > \delta g \vee |b_0 - b| > \delta b) \Rightarrow F(x, y, r, g, b) \in A_1, \end{aligned} \right.$$

где A_0 – зона задымления; A_1 – область без дымовой завесы; r_0, g_0, b_0 – математическое ожидание значения интенсивности красного, синего и зеленого эталонного изображения области задымления; $\delta r, \delta g, \delta b$ – допустимое отклонение от эталонного значения.

Как видно из рис. 1, в связи со значительными зонами перекрытия гистограмм распределения интенсивностей, данные ни одного из каналов не могут быть использованы для однозначной идентификации дымового шлейфа. Результаты проведения кластеризации цветового пространства на основе представления RGB приведены на рис. 2.

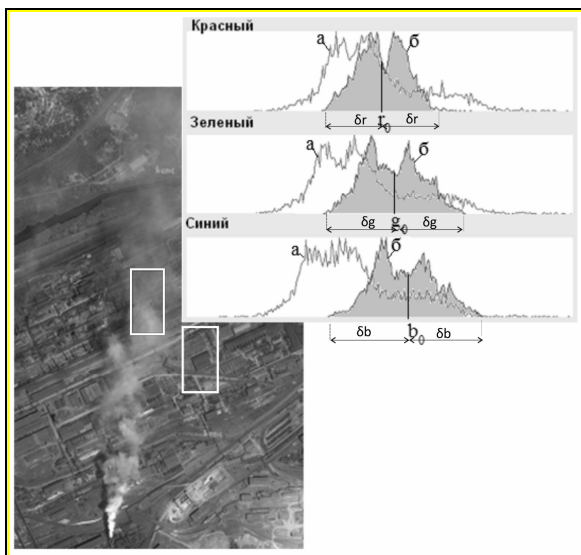


Рис. 1. Гистограммы распределения интенсивностей красного, зеленого и синего каналов в задымленной (б) и незадымленной (а) областях снимка

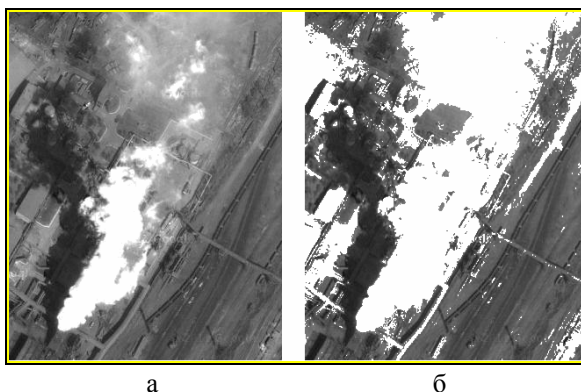


Рис. 2. Результат выделения области задымления на основе цветовой модели RGB

При сужении доверительного интервала значительная область снимка с загрязнениями не была идентифицирована как дымовой шлейф (рис. 2, а), т.е. велика ошибка 1-го рода. При увеличении $\delta r, \delta g$

или δb растет количество ошибок 2-го рода (рис. 2, б).

Гораздо реже при обработке данных ДЗЗ используется цветовая модель HSV (Hue, Saturation, Value – Оттенок, Насыщенность, Значение), которая не смешивает основные цвета при моделировании нового цвета, как в случае с RGB, а просто изменяет их свойства. В данной модели оттенок (Hue) – задается углом в цветовом круге. Насыщенность (Saturation) обозначает наличие белого цвета в оттенке. Значение (Value) или яркость определяет интенсивность цвета. При использовании данной цветовой модели значение пикселя $F(x, y, h, s, v)$ однозначно определяется значением $F(x, y, r, g, b)$.

$$F(x, y, h, s, v) = \Phi(F(x, y, r, g, b)),$$

где $\Phi(F(x, y, r, g, b))$ – функция пересчета из цветовой модели RGB в цветовую модель HSV.

В результате анализа гистограмм HSV (рис. 3), было выдвинуто предположение о том, что наиболее информативным является признак оттенка, поскольку фон и объект имеют минимальную зону неопределенности.

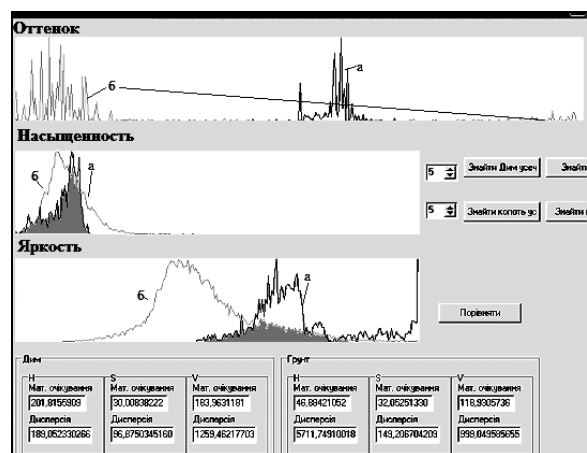


Рис. 3. Гистограммы распределения значений H, S, V в задымленной (а) и незадымленной (б) областях снимка

В данном случае правило принятия решения выглядело следующим образом:

$$\left\{ \begin{aligned} &|h_0 - h| < \delta h \Rightarrow F(x, y, h, s, v) \in A_0; \\ &|h_0 - h| > \delta h \Rightarrow F(x, y, h, s, v) \in A_1, \end{aligned} \right.$$

где A_0 – зона задымления; A_1 – область без дымовой завесы; h_0 – значение оттенка эталонного пикселя, принадлежащего области задымления; δh – допустимое отклонение от эталонного значения.

Кластеризация, основанная на приведенном правиле (рис. 4), тоже не дала однозначной идентификации зон задымления.

Для уменьшения ошибок кластеризации было проведено комплексирование вектора параметров на основе совместного использования моделей RGB и HSV. Результаты представлены на рис. 5.

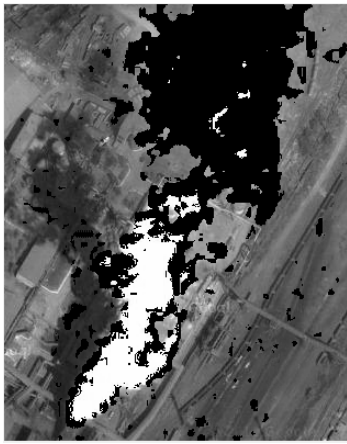


Рис. 4. Кластеризация по значению оттенка

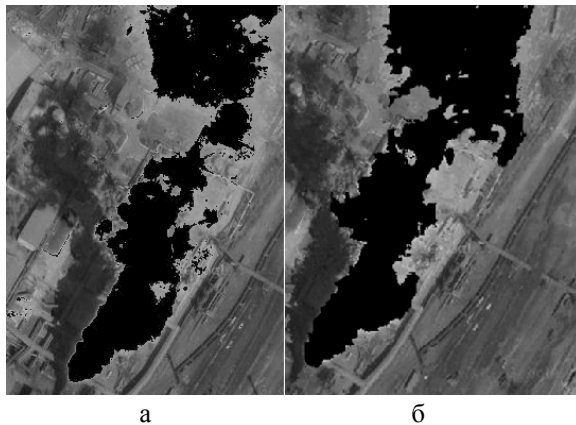


Рис. 5. Комплексование составляющих цветных моделей: а – В и S; б – Н и G

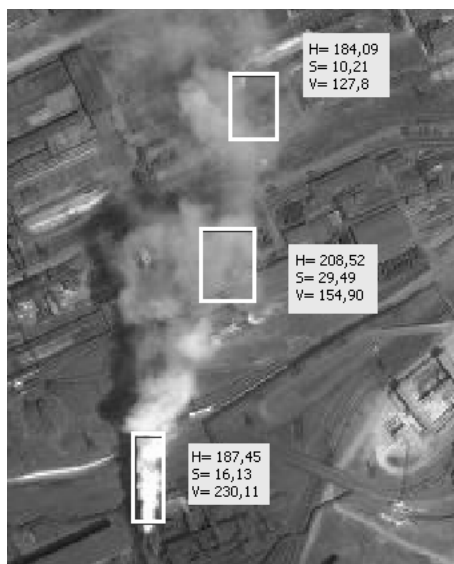


Рис. 6. Значения M_h , M_s , M_v в различных зонах дымовой завесы

Для получения интегральной оценки количества выбросов в атмосферу после кластеризации проведен анализ зависимостей переменных h , s и v от уровня загрязнения. Для этого были рассчитаны математические ожидания их значений в различных участках дымовой завесы.

$$M_h = \sum_{h=0}^{360} hP_h(h), \quad M_s = \sum_{s=0}^{255} sP_s(s), \quad M_v = \sum_{v=0}^{255} vP_v(v),$$

где M_h , M_s , M_v – математическое ожидание значений h , s и v ;

$P_h(h)$, $P_s(s)$, $P_v(v)$ – вероятности получения значений h , s и v в заданной зоне задымления.

Как видно из приведенных на рис. 6 рассчитанных данных, переменные h и s слабо зависят от уровня загрязнения, в то время как значение v однозначно соответствует плотности дымового шлейфа, следовательно, значение яркости v может быть использовано для предварительной оценки количества выбросов предприятия Θ .

$$\Theta = \iint_D \Psi(v, Qr(r, \xi), Qg(g, \xi), Qb(b, \xi), \Delta x, \Delta y) dv$$

где D – зона загрязнения;

ξ – прозрачность атмосферы на момент съемки;

$Qr(r, \xi)$, $Qg(g, \xi)$, $Qb(b, \xi)$ – чувствительность ПЗС-матрицы в выбранных спектральных диапазонах;

Δx , Δy – пространственное разрешение на снимке.

Результат выделения дымового шлейфа с учетом значения яркости представлен на рис. 7.

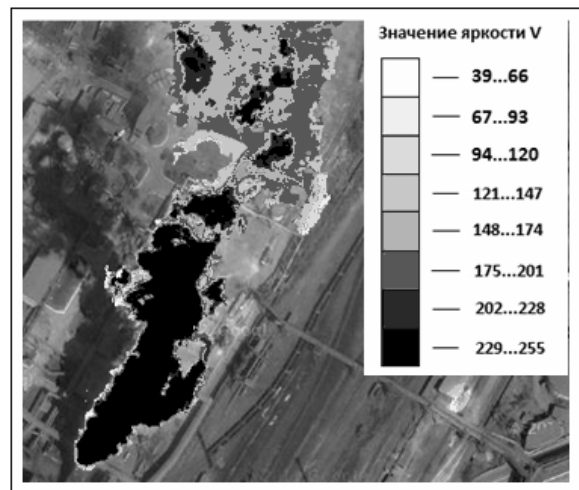


Рис. 7. Плотность дымовой завесы определенная по результатам анализа значений яркости пикселя

2. Построение вектора признаков для уточнения границ зоны распространения загрязнений по косвенным дешифровочным признакам

При получении оценочных характеристик загрязнения территорий использование только данных по интенсивности выбросов в момент съемки является недостаточным и носит вероятностный характер, так как зависит от множества факторов, например, направления и силы ветра, производственной нагрузки в момент съемки. Дополнительным критерием при уточнении границ зоны загрязнений и оп-

ределении тенденций возможных изменений ее геометрических характеристик, а также степени концентрации загрязнений при получении прогнозных оценок в качестве косвенного дешифровочного признака может служить изменение цветовых характеристик снимка в области локализации промышленных предприятий за счет осаждения копоти (рис. 8).

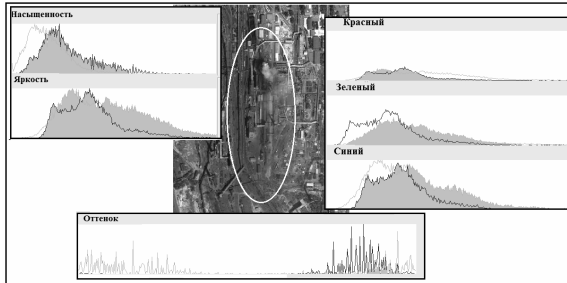


Рис. 8. Область изменения цветовых характеристик, обусловленная выбросами промышленных предприятий в атмосферу и гистограммы, построенные в выделенных областях

Как и в случае определения дымовых шлейфов, наименьшая зона перекрытия при переходе в пространство HSV наблюдается для характеристики H. В отличие от предыдущего случая зона неопределенности параметра H для характерной области загрязнений и области «условно чистой территории» довольно велика. При этом следует учесть, что случайное значение яркости пикселя приводит к ошибочному отнесению к одному из заданных классов. В связи с этим возникает необходимость проведения дополнительных операций с использованием шумоподавляющих фильтров для уменьшения количества ошибок кластеризации (рис. 9). Как видно на рис. 9, использование шумоподавляющей фильтрации приводит к улучшению качества выделения зоны загрязнения.

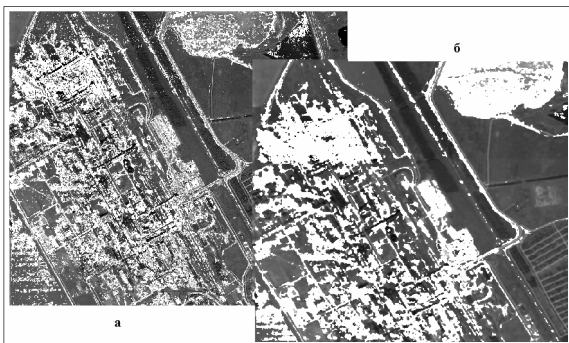


Рис. 9. Сравнение результатов локализации зоны загрязнения без предварительного размытия (а) и после использования шумоподавляющего фильтра (б)

Однако и такой подход не полностью обеспечивает гладкость выделенных регионов и дает большое количество дыр внутри выделенных областей. Для повышения качества сегментации был ис-

пользован метод, основанный на определении логической функции, вычисляемой в окрестности зоны отнесенной к определенному классу исходного изображения в зависимости от пространственного расположения и значений соседних областей и в присвоении ей значения 0 или 1 как результата вычисления логической функции.

Анализ проводился в диапазоне восьми соседних областей по отношению к центральной (A₀) (рис. 10):

A ₁	A ₂	A ₃
A ₄	A ₀	A ₅
A ₆	A ₇	A ₈

Рис. 10. Условное представление окрестности области A₀

Логическая функция L позволяет изменить значения пикселя A₀ с 1 на 0 при условии, что в его окрестности нет ни одного пикселя со значением 1, и с 0 на 1, если все соседние пиксели имеют значения 1. В таком случае функция имеет вид:

$$L = \neg A_0 \cdot (A_1 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot A_6 \cdot A_7 \cdot A_8) \vee A_0 \cdot (A_1 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot A_6 \cdot A_7 \cdot A_8),$$

где \neg – отрицание; \cdot – конъюнкция, логическое И; \vee – дизъюнкция, логическое ИЛИ.

При увеличении размера окрестности возрастают сложность логической функции и время обработки изображения.

Если ошибки представляют собой довольно большие области, необходимо увеличить размер анализируемой области. В данном случае размер сканирующего окна составил 21 на 21 пиксель. В окне рассчитывался удельный вес областей, соответствующих одному классу. После сравнения полученного значения с порогом, центральная область A₀ относилась к классу «копоти», если сравнение предоставило положительный отклик.

Как видно на рис. 11, применение приведенного алгоритма позволило минимизировать погрешности сегментации.

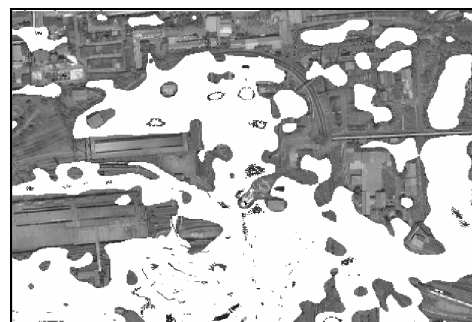


Рис. 11. Выделения зон копоти с использованием логической функции

Учет значения яркости V дает дополнительную информацию о концентрации загрязнений в зоне «копоти» (рис. 12).

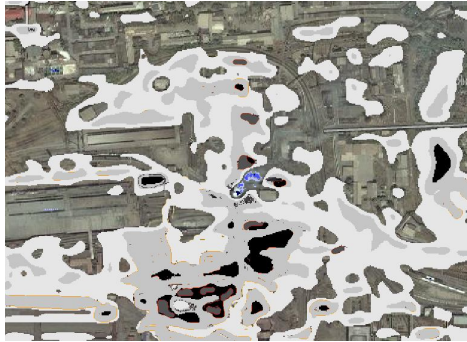


Рис. 12. Концентрація забруднень в зоні «копоти»

3. Методика прогнозування розвитку зони забруднення

Для прийняття рішень о дальнішому розпространенні рівня забруднень і отриманні прогнозних оцінок о передбачуваних змінах геометрії і площі зони забруднень в умовах неопределенності, обумовленої недостаточним кількістю априорних даних і для підвищення точності визначення кількісних характеристик, цілесообразним являється побудова продукційних правил і моделей для автоматизації даного процесу. Використання даного методу передбачує вибір найбільш значимих факторів для оцінки швидкості і визначення напрямлення розпространення різних забруднюючих речовин.

Найбільш важливим етапом при отриманні прогнозних оцінок являється розробка і уточнення критеріїв, визначаючих швидкість розпространення забруднень, і як слідство, змінення геометричних характеристик досліджуваної зони забруднень і рівня їх концентрації. Однак створити моделі, найбільш повно відображаючі дану ситуацію, доволі складно. Причинами цього являється різноманітність умов, притаманних виникновению складних екологічних ситуацій, зв'язаних з перевищенням концентрації в атмосфері і ґрунтах забруднюючих речовин, оцінка ступеня комбінаторного впливу косвенних факторів на змінення площі забруднень, а також недостатнє вивчення фізико-хімічних процесів, що відбуваються во часі при накопленні забруднень в ґрунті.

Структура методик побудови прогнозної геоінформаційної моделі, визначаючої тенденцію змінення концентрації і геометрії забруднень в умовах неопределенності, і алгоритм її реалізації представлено на рис. 13.

Слід зауважити, що для побудови математичної моделі прогнозування швидкості змінення геометрії локалізованої зони забруднень і рівня концентрації забруднюючих речовин необхідно врахувати ряд параметрів, а саме, напрямлення і силу вітру, вид забруднення, метеорологічні умови, тривалість прогнозу, рельєф місцевості, заселеність і забудованість території і т.д.

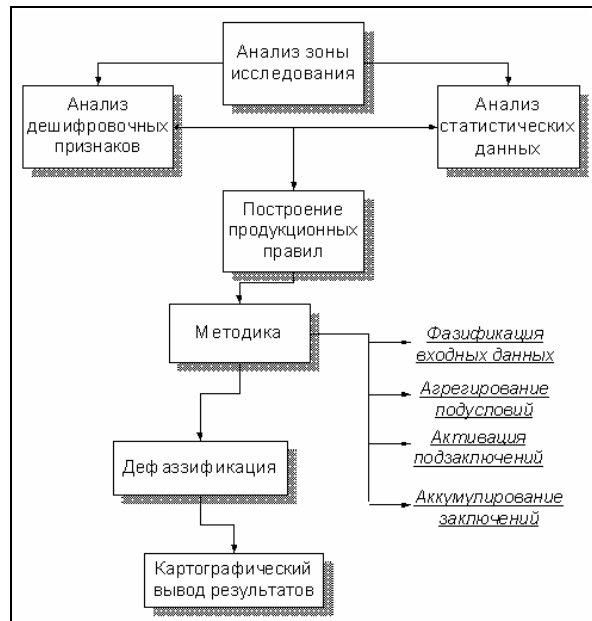


Рис. 13. Структура методик побудови прогнозної геоінформаційної моделі

Процес отримання прогнозних оцінок передбачує використання сукупності різноманітних космоснімків, попередньо приведених до єдиної системи координат, єдиному масштабу і проекції. Для підвищення точності отриманих оцінок додатково використовується вся наявна в наявності інформація на досліджуваній ділянці місцевості, а саме, карти, атрибутивні і архівні, статистичні дані і т.д.

Використання теоретико-множинних моделей прийняття рішення в кожній точці розпространення забруднюючих речовин на основі операцій алгебри логіки і нечітких множин для отримання інтервальних оцінок в умовах неопределенності, званої недостаточним кількістю априорних даних, являється необхідним етапом при отриманні ефективних оцінок поточного і прогнозованого стану аналізованої місцевості. Різниця при побудові даних моделей визначається лише набором вихідних даних. Для визначення прогнозних оцінок в умовах, не маючи зони перетинів (в разі відсутності неопределенності) цілесообразно використовувати класичний критерій, наприклад, критерій Байеса. Однак, виходячи з того, що зазвичай приймати рішення о швидкості розпространення забруднень доводиться по обмеженому кількості даних, необхідність побудови математичних продукційних моделей прийняття рішень в умовах неопределенності багаторазово зростає.

Згідно алгоритму побудови продукційних правил (рис. 13), виходячи з формального представлення емпіричних знань в залежності от вибраних факторів оцінки швидкості розпространення забруднень, були отримані наступні 27 правил нечітких висновків виду:

- R_1 : if V_V is D & V_T is D & V_L is D then V is D
- R_2 : if V_V is P & V_T is D & V_L is D then V is D
- R_3 : if V_V is N & V_T is D & V_L is D then V is D
- R_4 : if V_V is D & V_T is P & V_L is D then V is D
- R_5 : if V_V is D & V_T is N & V_L is D then V is D
- R_6 : if V_V is D & V_T is D & V_L is P then V is P
- R_7 : if V_V is D & V_T is D & V_L is N then V is N
- R_8 : if V_V is P & V_T is P & V_L is P then V is P
- R_9 : if V_V is D & V_T is P & V_L is P then V is P
- R_{10} : if V_V is N & V_T is P & V_L is P then V is N
- R_{11} : if V_V is P & V_T is D & V_L is P then V is P
- R_{12} : if V_V is P & V_T is N & V_L is P then V is P
- R_{13} : if V_V is P & V_T is P & V_L is D then V is N
- R_{14} : if V_V is P & V_T is P & V_L is N then V is D
- R_{15} : if V_V is N & V_T is N & V_L is N then V is N
- R_{16} : if V_V is D & V_T is N & V_L is N then V is N
- R_{17} : if V_V is P & V_T is N & V_L is N then V is N
- R_{18} : if V_V is N & V_T is D & V_L is N then V is N
- R_{19} : if V_V is N & V_T is P & V_L is N then V is N
- R_{20} : if V_V is N & V_T is N & V_L is D then V is P
- R_{21} : if V_V is N & V_T is N & V_L is P then V is N
- R_{22} : if V_V is D & V_T is P & V_L is N then V is N
- R_{23} : if V_V is P & V_T is D & V_L is N then V is N
- R_{24} : if V_V is P & V_T is N & V_L is D then V is P
- R_{25} : if V_V is D & V_T is N & V_L is P then V is P
- R_{26} : if V_V is N & V_T is D & V_L is P then V is N
- R_{27} : if V_V is N & V_T is P & V_L is D then V is P,

где V – скорость распространения загрязнений и изменение их концентрации; D, P, N – нормы скорости распространения загрязнений: D – “допустимая скорость”, P – “предельная скорость”, N – “критическая скорость”.

Соответствия между обычно численными значениями входных переменных системы нечеткого вывода и значениями функции принадлежности устанавливаются с помощью операции фаззификации.

В качестве функций принадлежности термов использовались треугольные функции принадлежности. Каждая функция задана на универсуме $X=[0, 1]$. На графиках (рис. 14 – 16) представлены зависимости функций принадлежности от количественных значений трех параметров.

На рис. 14 представлен график, определяющий функцию принадлежности $\mu_V(X)$ всех термов-множеств, скорость распространения загрязнений в зависимости от ветра.

На рис. 15 представлен график, определяющий функции принадлежности $\mu_T(X)$ всех термов-множеств, скорость распространения загрязнений в зависимости от особенностей рельефа.

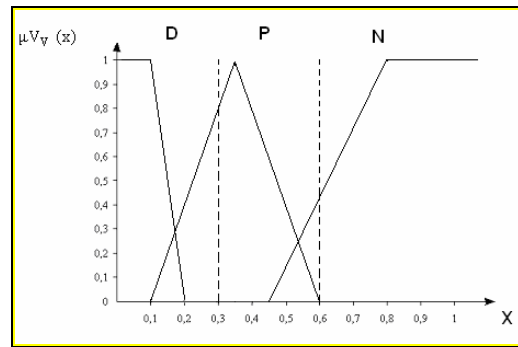


Рис. 14. График функций принадлежности качественных термов в зависимости от ветра

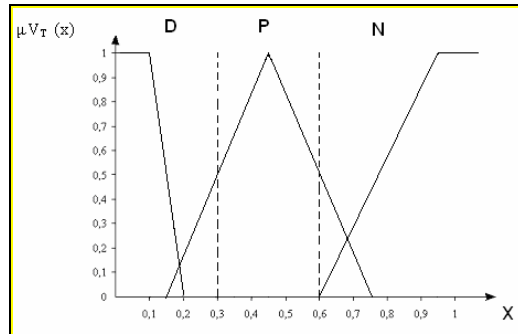


Рис. 15. График функций принадлежности качественных термов в зависимости от особенностей рельефа

На рис. 16 представлен график, определяющий функции принадлежности $\mu_L(X)$ всех термов-множеств, скорость распространения загрязняющих веществ в зависимости от типа грунтов.

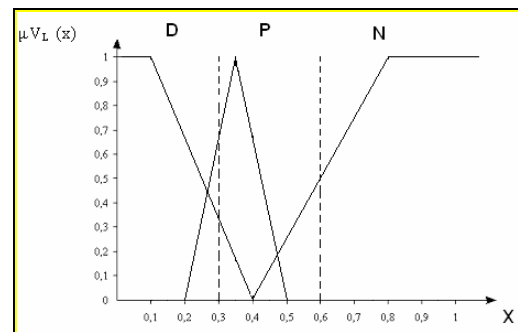


Рис. 16. График функций принадлежности качественных термов в зависимости от типа грунтов

Определим зону неопределенности на каждом из графиков функций принадлежности качественных термов в зависимости от выбранных факторов (рис. 17). Определив точки пересечения функций (рис. 18), опишем аналитически зоны неопределенности функций принадлежности качественных термов в зависимости от выбранных факторов, используя уравнение прямой:

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}.$$

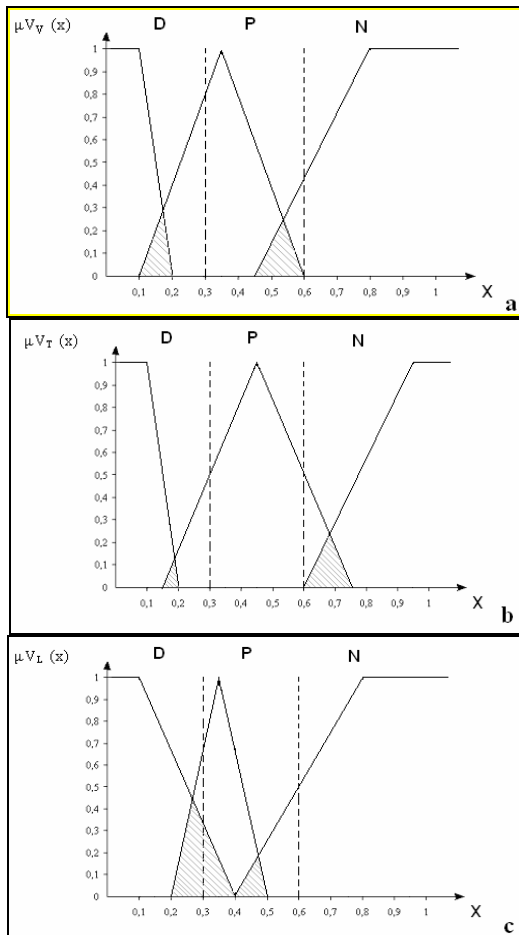


Рис. 17. Графики, отображающие зоны неопределенности по каждому из факторов: а – скорость ветра, б – особенности рельефа, с – тип грунта

Для автоматизации процесса определения значений функций принадлежности были получены уравнения, аналитически описывающие графические зависимости:

1. Для зон неопределенности функций принадлежности качественных термов в зависимости от ветра с координатами точек пересечения [0.18; 0.27] [0.54; 0.24].

$$\forall x \in [0.1; 0.18[[0.18; 0.2]$$

$$\mu V_V(x) = 3.38(x-0.1);$$

$$\forall x \in [0.45; 0.54[[0.54; 0.6]$$

$$\mu V_V(x) = -4(x-0.54).$$

2. Для зон неопределенности функций принадлежности качественных термов в зависимости особенностей рельефа анализируемой зоны с координатами точек пересечения [0.19; 0.13] [0.68; 0.24].

$$\forall x \in [0.15; 0.19[[0.19; 0.2]$$

$$\mu V_T(x) = 3.25(x-0.15);$$

$$\forall x \in [0.6; 0.68[[0.68; 0.75]$$

$$\mu V_T(x) = -3.4(x-0.68).$$

3. Для зон неопределенности функций принадлежности качественных термов в зависимости от типа грунта с координатами точек пересечения [0.27; 0.44] [0.47; 0.19].

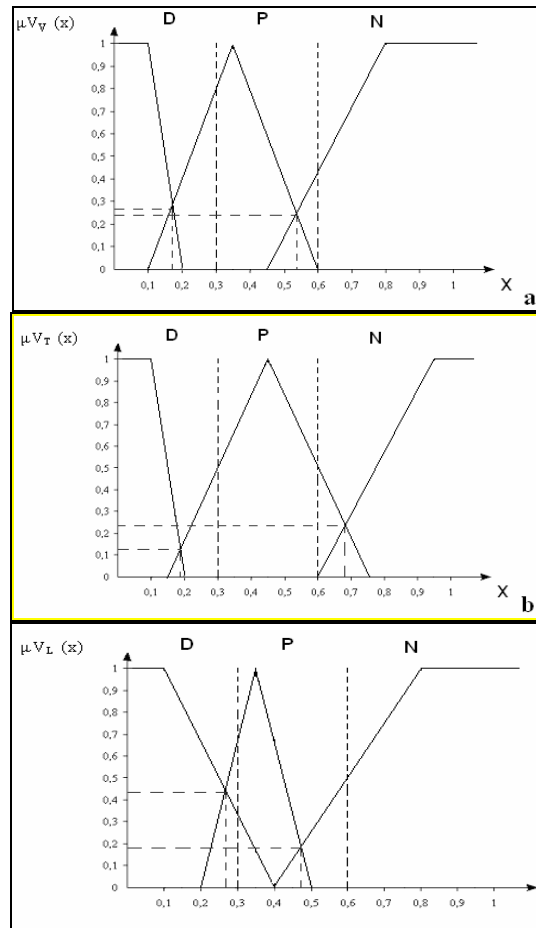


Рис. 18. Графики функций принадлежности с указанием точек их пересечения по каждому из факторов

$$\forall x \in [0.2; 0.27[[0.27; 0.4]$$

$$\mu V_L(x) = 6.29(x-0.2);$$

$$\forall x \in [0.4; 0.47[[0.47; 0.5]$$

$$\mu V_L(x) = -6.3(x-0.47).$$

Следующим этапом нечеткого вывода согласно алгоритму, является этап агрегирования. Используемая операция агрегирования позволяет определить степень истинности условий по каждому из правил системы нечеткого вывода. На данном этапе следует учесть, что поскольку каждое условие состоит из нескольких подусловий, причем лингвистические переменные в подусловиях попарно не равны друг другу, то степень истинности сложного высказывания определяется на основе заранее определенных значений степеней истинности каждого из подусловий.

Исходя из того, что во всех правилах в качестве логической связки для подусловий применяется нечеткая дизъюнкция, то в качестве метода агрегирования целесообразным является использование операции max-дизъюнкции. Правила, имеющие наибольшую степень достоверности соответствующим условиям, считаются активными и используются для дальнейших расчетов. Проведя анализ продукционных правил, были выбраны правила, наиболее характерные для описания факторов, влиявших на

скорость распространения загрязнений в анализируемый период (2009 – 2010 г.г.).

R_7 : if V_V is D & V_T is D & V_L is N then V is N

R_8 : if V_V is P & V_T is P & V_L is P then V is P

R_9 : if V_V is D & V_T is P & V_L is P then V is P

R_{13} : if V_V is P & V_T is P & V_L is D then V is N

R_{22} : if V_V is D & V_T is P & V_L is N then V is N.

Исходя из всего вышесказанного, аккумулярование заключений всех нечетких правил продукции проводится с использованием операции максимизации:

$$V = \max (D \vee P \vee N) .$$

Результат аккумуляции выбранного примера отражается на графике функций принадлежности выходной переменной V (рис. 19).

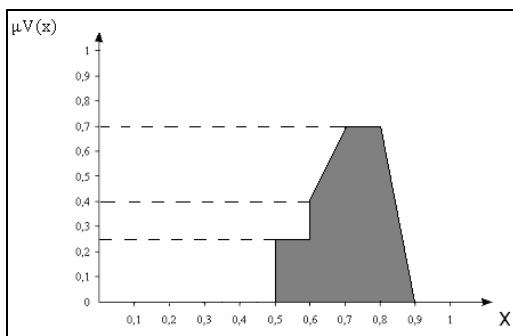


Рис. 19. Графическое представление аккумулярованного заключения

Для получения количественного значения интегральной оценки, характеризующей вероятную скорость распространения загрязнений (значение отнормировано), наиболее оптимальным методом проведения дефаззификации является метод центра тяжести для одноточечных множеств:

$$Dz = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)} .$$

где Dz – результат дефаззификации; x_i – переменная, соответствующая выходной лингвистической переменной V; $\mu(x_i)$ – функция принадлежности нечеткого множества.

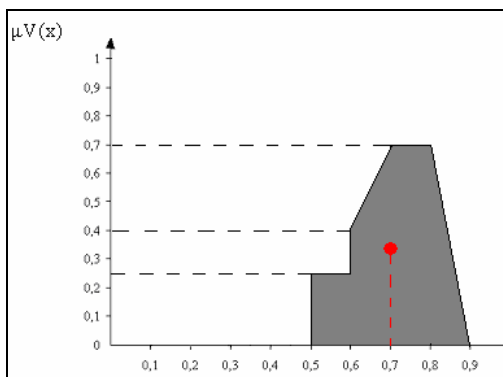


Рис. 20. Дефаззификация выходной лингвистической переменной V методом центра тяжести

После дефаззификации выходной переменной V получено значение скорости распространения загрязнений на примере анализа территории завода Ильича в Донецкой области, равное 0,7%, что говорит о довольно быстрой скорости распространения загрязнений и необходимости принятия срочных мер о стабилизации экологического состояния в заданном регионе.

Заключение

В заключение хотелось бы отметить, что, применяя комплексный подход к построению вектора параметров дешифровочных признаков дымовых шлейфов и зон копоти на основе цветовых моделей RGB и HSV, удастся снизить количество ошибок сегментации. Для получения интегральной оценки уровня загрязнения в дымовом шлейфе и зоне загрязнения целесообразно проводить анализ значения яркости цветового пространства HSV, которое пропорционально интенсивности выбросов. В связи с недостаточным количеством априорных данных при построении прогнозных оценок изменения уровня загрязнения, необходимо использование теоретико-множественных моделей принятия решения в каждой точке распространения загрязняющих веществ на основе операций алгебры логики и нечетких множеств.

Список литературы

1. Березина С.И. Выбор цветового пространства при получении интегральной оценки количества выбросов в атмосферу по данным ДЗЗ [Текст] / С.И. Березина, Г.Я. Красовский, И.В. Цыганаш // X Межд. НПК «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях». – Київ – Харків – АР Крим, 2011. – С. 100-111.
2. Абраменкова И.В. Нейро-нечеткий метод снижения чувствительности решения обратных задач к вариациям данных [Текст] / И.В. Абраменкова, А.Ю. Пучков, Д.А. Павлов // Программные продукты и системы. – 2011. – № 4. – С. 72-75.
3. Роберт А. Шовенгердт. Дистанционное зондирование. Методы и модели обработки изображений [Текст] / Роберт А. Шовенгердт. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.
4. Березина С.И. Комплексный подход к дешифрированию снимков по данным космического мониторинга / С.И. Березина, О.С. Бутенко, Г.Я. Красовский // Екологія й ресурси: зб. наук. праць Ін-ту проблем національної безпеки. – 2008. – Вип. 1. – С. 23-41.
5. Бутенко О.С. Анализ данных космического мониторинга при прогнозировании распространения выявленных аномалий / О.С. Бутенко, С.И. Березина, Г.Я. Красовский // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць. – 2009. – Вип. 2. – С. 23-41.
6. Бутенко О.С. Механизм построения кратковременного прогноза по априорным данным / О.С. Бутенко // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. праць – К.: ДП «ЦНДІ НІУ», 2008. – Вип. 3(7). – С. 37-40.

Поступила в редколлегию 20.01.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Р.Э. Пашенко, Институт радиопизики и электроники НАН Украины, Харьков.

**ВИЗНАЧЕННЯ НАСЛІДКІВ ДІЯЛЬНОСТІ ЗАБРУДНЮЮЧИХ ПІДПРИЄМСТВ
ЗА ДАНИМИ КОСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ.**

С.І. Березіна, О.С. Бугенко, Д.В. Єрмоєнко

Запропонована методологія визначення зон забруднення від металургійних підприємств за знімками від КА ДЗЗ. Визначено вектор параметрів дешифрувальних ознак, та запропонована методика оцінки рівня забруднення. На підставі комплексного підходу розроблена геоінформаційна модель прогнозу розвитку аномалії.

Ключові слова: *дешифрувальні ознаки, нечіткі фільтри, фактори впливу, модель прогнозу розвитку зон забруднення.*

**IDENTIFICATION OF ENTERPRISES POLLUTION ACTIVITY CONSEQUENCES,
ACCORDING TO SPACE MONITORING DATA**

S.I. Berezina, O.S. Butenko, D.V. Eremenko

Proposed a methodology of a problem solution for pollution areas identification from metallurgical industry on pictures obtained via ERS satellites. Defined parameter vector of decoding characteristics and proposed a methodology of pollution level assessment. Based on integrated approach, geoinformational predictive model of anomaly evolution was elaborated.

Keywords: *decoding characteristics, fuzzy filters, impact factors, prognostic model of pollution areas.*