

УДК (519.6+550.8):504

О.К. Тяпкин¹, д-р геол. наук, ст. научн. сотр.,
П.И. Пигулевский², д-р геол. наук, ст. научн. сотр.,
О.Г. Билашенко³

1 – Институт проблем природопользования и экологии
НАН Украины, г.Днепропетровск, Украина,
e-mail: tyapkin.oleg@mail.ru

2 – Днепропетровская геофизическая экспедиция „Днепро-
геофизика“, г.Днепропетровск, Украина,
e-mail: pigulev@ua.fm

3 – Государственное высшее учебное заведение „Националь-
ный горный университет“, г.Днепропетровск, Украина

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ ПО ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

О.К. Tyapkin¹, Dr. Sci. (Geol.), Senior Research Fellow,
P.I. Pigulevskiy², Dr. Sci. (Geol.), Senior Research
Fellow,
O.G. Bilashenko³

1– Institute for Nature Management Problems & Ecology of
NAS of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine,
e-mail: tyapkin.oleg@mail

2– Dnipropetrovsk geophysical expedition “Dniproheofizyka”,
Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: pigulev@ua.fm

3–State Higher Educational Institution “National Mining Uni-
versity”, Dnipropetrovsk, Ukraine

FORMALIZATION OF GEOECOLOGICAL MAPPING BY GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL DATA

Цель. Повышение уровня формализации решения задач геоэкологического картирования, связанных с обработкой многопараметровых геолого-геофизических данных при решении проблем перехода техногенно-нагруженных территорий Украины к устойчивому развитию.

Методика. Для повышения формализации и оперативности решения разнообразных задач геоэкологического картирования применен аппарат теории нечетких множеств. При этом при обработке комплекса геолого-геофизических данных решается задача достижения нечетко определенной цели путем применения подхода Bellman-Zadeh, в котором цели принятия решения и множество альтернатив (ограничений) рассматриваются как равноправные нечеткие подмножества некоторого универсального множества альтернатив. Для определения относительного веса разных ограничений используется решение задачи упорядочения при нечеткой исходной информации. При необходимости, переход в решении указанных задач от нечетких множеств к обычным осуществляется с помощью множества уровня, который выбирается с учетом конкретной геолого-геофизической обстановки исследуемой территории.

Результаты. Разработана технология крупномасштабной формализованной оценки и прогноза развития радиологической обстановки техногенно-нагруженных регионов юго-востока Украины. При этом вычислительные процедуры определения параметров, характеризующих пространственное распространение радиоактивного загрязнения в различных геосферах, в конкретных точках, основаны на решении задачи достижения нечетко определенной цели путем применения подхода Bellman-Zadeh. Для последнего формализовано определены цели и ограничения. Для определения влияния особенностей тектонического строения территории на линейное и площадное распространение техногенного радиоактивного загрязнения формализовано решена задача определения по геолого-геофизическим данным границ фрагментов разломов и объединение фрагментов в единые структуры путем вычисления выпуклой комбинации нечетких множеств индикаторов (признаков) разломов.

Научная новизна. Применение аппарата теории нечетких множеств в обработке многопараметровых геолого-геофизических данных при решении разнообразных задач геоэкологического картирования техногенно-нагруженных территорий Украины.

Практическая значимость. Применение формализованных процедур геоэкологического картирования по геолого-геофизическим данным позволяет повысить оперативность и эффективность разработки предложений по повышению уровня техногенной безопасности и минимизации социально-экономико-экологических потерь в условиях техногенно-нагруженных регионов Украины.

Ключевые слова: *геолого-геофизические данные, геоэкологические задачи, нечеткие множества*

Введение. В свете необходимости перехода техногенно-нагруженных территорий Украины к устойчивому развитию, при котором будет достигнут баланс между использованием природных ресурсов и

возможностями окружающей среды к самовосстановлению, требуется всестороннее изучение внутреннего взаимодействия природно-техногенных комплексов конкретных территорий. Они, как правило, характеризуются определенным природно-ресурсным потенциалом, сложившимся хозяйственным

комплексом и уровнем загрязнения основных компонентов окружающей среды. В этой проблеме увеличивающаяся степень интеграции разнородной информации об отдельных составляющих окружающей среды требует эффективного формализованного решения междисциплинарных геоэкологических проблем, связанных с обработкой многопараметровых данных при решении проблем социальной и медико-биологической направленности [1, 2]. Технологии исследований, которые используют комплекс геофизических методов, позволяют оперативно определять текущее состояние и прогнозировать изменения окружающей среды по относительно малому количеству параметров, не нарушая ее целостности. В связи с этим, в современных условиях повышается актуальность разработки процедур параметризации геофизической среды, которая позволит комплексно отображать суть природно-техногенных объектов и процессов вместе с геоэкологическими последствиями хозяйственной деятельности в условиях перехода техногенно-нагруженных регионов Украины к устойчивому развитию [3, 4].

Однако здесь, как в любых ситуациях, требующих принятия решений, содержится большое количество разнообразных неопределенностей. Это действие как известных, так и неизвестных факторов, которые не всегда возможно полностью учесть или спрогнозировать, а также неопределенности желаний и целей, часто противоречащих друг другу. Для „снятия“ этих неопределенностей необходимо введение некоторых гипотез. Таким образом, решение задач принятия решений в условиях неопределенности невозможно силами одних математиков. Всегда мнение „эксперта“-профессионала в конкретной области является необходимым и часто решающим. И если решение принимается в условиях неопределенности (например, точно не ясна цель, а результат некой операции оценивается несколькими критериями), то и само решение бессмысленно точно фиксировать. Именно с таким приходится сталкиваться при решении задач геоэкологического картирования по комплексу геолого-геофизических данных. В этой ситуации для повышения формализации и оперативности решения указанных задач может быть успешно применен аппарат теории нечетких множеств, понятие о которых введено в работах Zadeh L.

Используемый аппарат теории нечетких множеств. В общем случае нечеткое множество образуется путем введения обобщенного понятия „принадлежность“, т.е. расширения двухэлементного множества значений характеристической функции $\{0, 1\}$ до континуума $[0, 1]$. Это означает, что переход от полной принадлежности объекта конкретному классу к полной его непринадлежности происходит не скачком, а плавно, постепенно, причем принадлежность элемента множеству выражается числом из интервала $[0, 1]$. Математически нечеткое множество $A = \{x, \mu_A(x)\}$ определяется как совокупность упорядоченных пар, составленных из элементов x универсального множества X (область определения функции

принадлежности μ_A) и соответствующих степеней принадлежности $\mu_A(x)$, или непосредственно в виде функции $\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$.

Ранее нами аппарат теории нечетких множеств уже был успешно применен при обработке петрофизических данных. Суть решенного вопроса заключается в следующем. Часто на конкретных участках, особенно при крупномасштабных геолого-геофизических исследованиях, общее количество значений параметров горных пород с точной пространственной привязкой недостаточно для проведения пространственно-статистической обработки. В этих условиях традиционной является вероятностно-статистическая обработка данных о физических свойствах горных пород, при которой, исходя из предположения, что отдельно взятый образец не является представительным для конкретной породы, и только в среднем для большого числа определений можно вывести уверенное значение физического параметра. Однако результаты такой обработки являются надежными только в том случае, когда исходные выборки (совокупности значений физических параметров) являются представительными и следуют нормальному закону распределения. На практике, особенно при выполнении крупномасштабных детальных исследований, оба эти требования нарушаются. Поэтому для совершенствования методики обработки данных о физических свойствах горных пород для целей формализованной интерпретации геофизической информации необходимо внедрение методов, основанных на использовании процедур, нечувствительных к структуре данных, т.е. не зависящих от закона распределения исходных данных. Для этого нами при обработке петрофизических данных была решена задача достижения нечетко определенной цели путем применения подхода Bellman-Zadeh. Основным в данном подходе к решению рассматриваемой задачи является то, что цели принятия решения и множество альтернатив рассматриваются как равноправные нечеткие подмножества некоторого универсального множества альтернатив. Это позволяет определить решение задачи в относительно простой форме.

Нечетким решением задачи достижения нечеткой цели F является пересечение нечетких множеств цели и ограничений

$$\mu_F(x) = \min \{\mu_G(x), \mu_{C1}(x), \dots, \mu_{Cm}(x)\}, \quad (1)$$

где G – нечеткое множество цели; C – нечеткие множества ограничений; m – количество ограничений.

Данный формализованный подход к достижению нечеткой цели может быть успешно адаптирован к решению разнообразных задач геоэкологического картирования по комплексу геолого-геофизических данных. Ниже это будет показано на примере оценки радиологической обстановки территории.

Формализованная оценка радиологической обстановки территории с использованием теории

нечетких множеств. Ранее была разработана технология прогноза развития радиологической обстановки P промышленно развитых регионов юго-востока Украины [5]. В основу этой технологии положено представление об изменении современного состояния M распределения радионуклидов во всех геосферах, обусловленного сочетанием природных и антропогенных факторов, под действием совокупности техногенных процессов F (P , M и F являются функциями, аргументом которых является приращение времени Δt)

$$P(\Delta t) = M(\Delta t) + F(\Delta t) = \sum_{i=1}^n K1_i(\Delta t) \cdot k_i \cdot C_i + \sum_{j=1}^m K2_j(\Delta t) \cdot k_j \cdot T_j \cdot A_j. \quad (2)$$

Параметры C_i и A_j характеризуют пространственное распространение радиоактивного загрязнения в различных геосферах. (Конкретный перечень этих параметров приведен в [5]). Параметр T_j является корректирующим коэффициентом, учитывающим влияние особенностей тектонического строения территории на линейное и площадное распространение техногенного радиоактивного загрязнения.

Коэффициенты k_i и k_j корректируют пространственные оценки C_i и A_j в соответствии с условиями жизнедеятельности человека, на основе существующей нормативно-регламентирующей базы. А нормированные к единице коэффициенты $K1_i$ и $K2_j$ являются функциями приращения времени. Причем первая является убывающей, а вторая – возрастающей, что является своеобразным отражением подавляющего потенциального превосходства совокупности возможных последствий аварийных ситуаций над уровнем современной радиологической нагрузки. Максимальные значения этих коэффициентов соответствуют максимумам функций M и F , которые, в свою очередь, являются предельными оценками краткосрочного P_{short} и долгосрочного P_{long} прогнозов развития радиологической ситуации в регионе.

$$M_{max} = \sum_{i=1}^n k_i \cdot C_i \quad \text{при } \Delta t \rightarrow 0; \\ F_{max} = \sum_{j=1}^m k_j \cdot T_j \cdot A_j \quad \text{при } \Delta t \rightarrow \infty; \quad (3)$$

$$P_{short} = P(\Delta t) \rightarrow M_{max} \quad \text{при } \Delta t \rightarrow 0,$$

$$\text{т.к. } M(\Delta t) \rightarrow M_{max} \text{ и } F(\Delta t) \rightarrow 0; \quad (4)$$

$$P_{long} = P(\Delta t) \rightarrow F_{max} \quad \text{при } \Delta t \rightarrow \infty,$$

$$\text{т.к. } M(\Delta t) \rightarrow 0 \text{ и } F(\Delta t) \rightarrow F_{max}. \quad (5)$$

Паритетное совмещение результатов краткосрочного и долгосрочного прогнозов является прогнозом некой максимально неблагоприятной ситуации P_{max} –

одновременной совокупности в ближайшем будущем аварийных ситуаций на всех предприятиях ядерного топливного цикла.

$$P_{max} = M_{max} + F_{max} = \sum_{i=1}^n k_i \cdot C_i + \sum_{j=1}^m k_j \cdot T_j \cdot A_j. \quad (6)$$

Технология была использована при разработке проекта Государственной программы перехода региона добыча и первичной переработки уранового сырья к устойчивому развитию (утверждена Постановлением Кабинета Министров Украины от 16.12.2004 г. №1696) при определении пространственных границ указанного региона и его последующем геоэкологическом зонировании. При этом в качестве элементарных площадок исследований (вычислений) использованы административные районы. Однако при укрупнении масштаба необходим переход к вычислительным процедурам определения параметров, характеризующих пространственное распространение радиоактивного загрязнения в различных геосферах, в конкретные точки с условными горизонтальными координатами i и j . В основу этих процедур может быть положено указанное выше решение задачи достижения нечетко определенной цели путем применения подхода Bellman-Zadeh.

Цель G и ограничения C предлагается определять следующим образом.

Цель. Формализованный подход к выбору функции цели G может быть различным и зависит от решаемых задач. При необходимости общей площадной оценки всей исследуемой территории без ее предварительного специального зонирования – $\mu_{G_{ij}} = 1 = const$, т.е. функция цели является четким множеством. В случае же предварительного зонирования территории (по плотности населения, плотности жилой или промышленной застройки, целевому использованию земель и др.) функция цели может быть представлена нечетким множеством. Например, в „привязке“ к плотности населения

$$\mu_{G_{ij}} = \frac{N_{ij}}{N_{max}}, \quad (7)$$

где N_{ij} – плотность населения в текущей точке ij ; N_{max} – максимальная плотность населения на исследуемой территории.

Ограничения.

C^i – приближение текущих значений мощности экспозиционной дозы γ -излучения P_{ij} к допустимым (нормативным) значениям P_n (при отсутствии нормативов возможно использование, например, утроенных фоновых значений)

$$\mu_{C_j^i} = \frac{P_n - P_{ij}}{P_n} \quad \text{при } P_{ij} \leq P_n; \quad (8)$$

C_k^2 – приближение текущих значений плотности поверхностного загрязнения почвы k -ым радионуклидом Z_{ijk} к допустимым (нормативным) значениям Z_{nk} (при отсутствии нормативов возможно также использование утроенных фоновых значений)

$$\mu_{C_{jk}^2} = \frac{Z_{nk} - Z_{ijk}}{Z_{nk}} \quad \text{при } Z_{ijk} \leq Z_{nk}; \quad (9)$$

C_k^3 – приближение текущих значений загрязнения поверхностных водотоков k -ым радионуклидом Q_{ijk} к допустимым (нормативным) значениям Q_{nk}

$$\mu_{C_{jk}^3} = \frac{L_{ij} - l_{ij}}{L_{ij}} \cdot \frac{Q_{nk} - Q_{ijk}}{Q_{nk}} \quad \text{при } Q_{ijk} \leq Q_{nk}, \quad (10)$$

где L_{ij} – минимальное расстояние от тальвега до водораздела (через текущую точку i,j); l_{ij} – отрезок на L_{ij} от водораздела до текущей точки i,j ;

C^4 – использование при строительстве жилого фонда стройматериалов из m месторождений с повышенным содержанием радионуклидов (стройматериалы 2-го и выше классов)

$$\mu_{C_j^4} = \frac{S_n}{\frac{1}{2m} \cdot \sum_y S_y \left(\frac{d_{ijy}}{\sum_y d_{ijy}} + \frac{D_y}{\sum_y D_y} \right)}, \quad (11)$$

где S_n – максимальная эффективная удельная активность стройматериалов I класса; S_y – эффективная удельная активность стройматериалов из y -ого месторождения; d_{ijy} – расстояние от текущей точки i,j до y -ого месторождения; D_y – „производительность“ y -ого месторождения (в у.е.);

C^5 – попадание в зону потенциального воздействия аварийной ситуации на атомной электростанции (например, $R_n = 100$ км)

$$\mu_{C_j^5} = \frac{R_n - R_{ij}}{R_n} \quad \text{при } R_{ij} \leq R_n, \quad (12)$$

где R_{ij} – расстояние от текущей точки i,j до атомной электростанции;

C^6 – попадание в зону потенциального воздействия аварийной ситуации на g -ом урановом объекте ядерно-топливного цикла (например, $r_n = 30$ км)

$$\mu_{C_{jg}^6} = \frac{r_n - r_{ijg}}{r_n} \quad \text{при } r_{ijg} \leq r_n, \quad (13)$$

где r_{ij} – расстояние от текущей точки i,j до урановых объектов ядерно-топливного цикла;

C^7 – последствия аварийного опорожнения жидкой фазы хранилищ отходов переработки уранового сырья

$$\mu_{C_j^7} = \frac{L_{ij} - l_{ij}}{L_{ij}}, \quad (14)$$

где L_{ij} – минимальное расстояние от тальвега до водораздела (через текущую точку i,j); l_{ij} – отрезок на L_{ij} от водораздела до текущей точки i,j .

При необходимости определения относительного веса разных ограничений C может быть использовано решение задачи упорядочения при нечеткой исходной информации, детально рассмотренное Орловским С.А.

Использование теории нечетких множеств в экотектоническом картировании. В дальнейшем особое внимание необходимо уделить влиянию особенностей тектонического строения территории на линейное и площадное распространение техногенного радиоактивного загрязнения – параметр T_j в (2), (3) и (6). При этом необходимо учитывать, что разломы земной коры – это не простые разрывные нарушения, а сложные межблоковые тектонические структуры, чаще всего многоактного образования. Эти трехмерные геологические тела, имеющие свою структуру и характеризующиеся комплексом геолого-геофизических, геоморфологических, геохимических и др. признаков, контролируют, практически, все природные техногенные процессы в земных недрах. Каждый „живущий“ ныне разлом является источником закономерно расположенных локальных полей напряжений и деформаций, которые определяют повышенную трещиноватость и водопроницаемость массивов горных пород, большую скорость современных движений земной коры различного масштабного уровня, предопределяют потенциальные зоны оврагообразования, оползней, просадок и других современных экзогенных геологических процессов. Разломы могут нарушать защищенность подземных водоносных горизонтов от загрязнения, являясь путями миграции естественных и техногенных химических элементов и соединений: нефтесодержащие флюиды, соленые воды, промстоки. И наконец, разломы являются источниками различных газов (гелий, углеводороды и радиоактивные газы) и волновыми физическими полями (электромагнитных, тепловых, упругих и других), оказывающих непосредственное воздействие на человека [6]. Поэтому важной и сложной задачей геозекологического картирования является определение границ фрагментов разломов и объединение фрагментов в единые структуры.

Условно принято геологическими границами фрагмента разлома на горизонтальной плоскости считать следы поверхностей на Земле, за пределами которых изменения структурных особенностей и вещественного состава пород, связанные с формированием данного разлома, можно не учитывать. Тогда формально следу фрагмента разлома на земной поверхности соответствует полоса с максимальной концентрацией индикаторов разломных структур изучаемого направления. На практике использование этого положения сталкивается с рядом трудностей, в т.ч. при постепенном убывании (без четко выражен-

ных границ спадов) во внешнем направлении концентрации индикаторов разломов в изучаемой полосе, при весьма неравномерном распределении индикаторов разломов по простиранию, при наличии очень широких полос, заполненных индикаторами разломов, выходящих за рамки обычных представлений о линейности разломных структур и др.

Для формализованного решения задачи определения горизонтальной мощности разломов по комплексу геолого-геофизических данных также может быть использован аппарат теории нечетких множеств. В этом случае поставленная задача сводится к вычислению выпуклой комбинации нечетких множеств A_1, \dots, A_n . Это нечеткое множество A с функцией принадлежности вида

$$\mu_A(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \mu_i(x), \quad (15)$$

где $\lambda_i \geq 0$, $i=1, 2, \dots, n$ и $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$.

Здесь λ_i – „вес“ i -го комплекса признаков разлома, для формализованного определения которого может быть использовано упомянутое выше решение задачи упорядочения при нечеткой исходной информации. Дальнейший переход в решении задачи определения горизонтальной мощности разломов от нечетких множеств к обычным осуществляется с помощью множества уровня $A_a = \{x, \mu_A(x) \geq a\}$, где уровень a выбирается с учетом конкретной геолого-геофизической обстановки исследуемой территории.

Первоочередным полигоном для применения указанного аппарата теории нечетких множеств, при обосновании мероприятий по минимизации опасных последствий различных природно-техногенных процессов, может быть Криворожский железорудный бассейн, где на относительно небольшой территории (около 330 км²) сконцентрированы наибольшие горнодобывающие и перерабатывающие предприятия в Украине. Непосредственными последствиями их деятельности стали: необратимое отторжение значительных площадей плодородных земель, появление и активное развитие подземных пустот, нарушение естественных режимов и состава подземных вод, подтопление территорий, активизация опасных эндо- и экзогенных геологических процессов, и деградация почв. Это, в свою очередь, кардинально повлияло и на физическую трансформацию окружающей среды во всех взаимосвязанных природных процессах. Применение в этих условиях предлагаемого аппарата теории нечетких множеств позволит, в частности, повысить оперативность и эффективность выполнения оценки по геолого-геофизическим данным геодинамического влияния на расположенные в зонах „опасных“ разломов крупных гидротехнических и горнодобывающих объектов для разработки предложений по повышению уровня техногенной безопасности, минимизации потенциальных социально-экономических и экологических потерь [7].

Выводы. Подводя итог, необходимо отметить следующее.

1. При решении современных проблем перехода техногенно нагруженных территорий к устойчивому развитию увеличивающаяся степень интеграции разнородной информации об отдельных компонентах окружающей среды требует эффективного формализованного решения междисциплинарных геоэкологических проблем, связанных с обработкой многопараметровых, в т.ч. геолого-геофизических, данных. Однако при этом возникают ситуации (требующие принятия решений), которые содержат большое количество разнообразных неопределенностей. Для повышения оперативности этих решений (связанных, в первую очередь, с картированием и прогнозированием проявлений опасных природно-техногенных процессов) может быть успешно применен аппарат теории нечетких множеств.

2. К решению разнообразных задач геоэкологического картирования по комплексу крупномасштабных геолого-геофизических данных (на примере оценки развития радиологической обстановки территории) адаптирован подход Беллмана-Заде достижения нечетко определенной цели, основой которого является то, что цели принятия решения и множество альтернатив рассматриваются как равноправные нечеткие подмножества некоторого универсального множества альтернатив и решением является пересечение этих нечетких подмножеств.

3. Важной и сложной задачей геоэкологического картирования является оценка влияния особенностей тектонического разломно-блокового строения территории на линейное и площадное распространение опасных последствий различных природно-техногенных процессов. При этом формализованное определение границ фрагментов разломов и объединение фрагментов в единые структуры по комплексу геолого-геофизических данных может быть сведено к вычислению выпуклой комбинации нечетких множеств их признаков, „веса“ которых определяются путем решения задачи упорядочения при нечеткой исходной информации. Дальнейший переход в решении задачи определения горизонтальной мощности разломов от нечетких к обычным множествам осуществляется с помощью множества уровня, величина которого определяется конкретной геолого-геофизической обстановкой исследуемой территории.

Список литературы / References

1. Шапар А.Г. Про Концепцію переходу України до сталого розвитку: зб. наук. праць / А.Г. Шапар // Інститут проблем природокористування та екології НАН України. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 11. – С. 37–61.

Shapar, A.H. (2008), "About the Concept of sustainable development", *Ekolohiia i pryrodokorystuvannia: Zbirnyk naukovykh prats Instytutu problem pryrodokorystuvannia ta ekolohii NAN Ukrainy*, no.11, pp. 37–61.

2. Система індикаторів сталого розвитку регіонів України та оцінювання сучасного стану їх збалансо-

ваності: зб. наук. праць / [В.П. Кухар, П.М. Черінько, Л.Г. Руденко та ін.] // Інститут проблем природоко-ристування та екології НАН України. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 14. – С. 7–25.

Kukhar, V.P., Cherinko, P.M., Rudenko, L.H., Lisovskiy, S.A., Shapar, A.H., Yemets, M.A., Burkinskiy, B.V. and Kharichkov, S.K. (2011) "The system of indicators of sustainable development of regions of Ukraine and estimation of modern condition of their balance", *Ekolohiia i pryrodokorystuvannia: Zbirnyk naukovykh prats Instytutu problem pryrodokorystuvannia ta ekolohii NAN Ukrainy*, no. 14, pp. 7–25.

3. Адаменко О.М. Екологічна геофізика / О.М. Адаменко, Г.Й. Квятковський. – Івано-Франківськ: Факел, 2000. – 501 с.

Adamenko, O.M. and Kviatkovskiy, H.I. (2000), *Ekologichna geofizyka* [Ecological Geophysics], Fabel, Ivano-Frankovsk, Ukraine.

4. Богословский В.А. Экологическая геофизика / Богословский В.А., Жигалин А.Д., Хмелевской В.К. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 256 с.

Bogoslovskiy, V.A., Zhyhalin, A.D. and Khmelevskoi, V.K. (2000), *Ekologichna geofizyka* [Ecological geophysics], Izdatelstvo MSHU, Moscow, Russia.

5. Тьяркин, О.К. Shapar, A.H. and Troian, J.G. (2001), "The Prediction of Changes of a Radiological Situation of Industrial Advanced Regions of NIS", *Proc. EAGE 63rd Conference and Technical Exhibition*. Amsterdam, The Netherlands. Vol.2, Paper P233.

6. Тьяркин К.Ф. Физика Земли / Тьяркин К.Ф. – К.: Вища школа, 1998. – 312 с.

Tyapkin, K.F. (1998), *Fizika Zemli* [Physics of the Earth], Vyshcha shkola, Kyiv, Ukraine.

7. Досвід комплексної оцінки та картографування факторів техногенного впливу на природне середовище міст Кривого Рогу та Дніпродзержинська / [І.Д. Баргій, А.М. Білоус, Ю.Г. Вілкул та ін.] – К.: Фенікс, 2000. – 110 с.

Bahrii, I.D., Bilous, A.M., Vilkul, Yu.H., Hozhyk, P.F., Hryshchenko, S.H., Palii, V.M., Kovalenko, I.A., Kuzmenko, O.B., Maiakov, I.D., Antonov, O.M., Mamishev, I.Ye. and Kosaretskui, V.V. (2000), *Dosvid kompleksnoi otsinky ta kartografuvannia faktoriv tekhnogennoho vplyvu na pryrodne seredovyshe mist Kryvogo Rogu i Dniprodzerzhynska* [Experience of complex rating and mapping of technogenous influence factors on an environment of cities Kryvyi Rig and Dniprodzerzhynsk], Feniks, Kyiv, Ukraine.

Мета. Підвищення рівня формалізації рішення завдань геоecологічного картування, пов'язаних з обробкою багатопараметрових геолого-геофізичних даних при вирішенні проблем переходу техногенно-навантажених територій України до сталого розвитку.

Методика. Для підвищення формалізації та оперативності вирішення різноманітних завдань геоecологічного картування застосовано апарат теорії нечітких множин. При цьому при обробці комплексу геолого-геофізичних даних вирішується завдання досягнення нечіткої цілі шляхом застосу-

вання підходу Bellman-Zadeh, в якому цілі прийняття рішення й множина альтернатив (обмежень) розглядаються як рівноправні нечіткі підмножини деякої універсальної множини альтернатив. Для визначення відносної ваги різних обмежень використовується вирішення завдання впорядкування при нечіткій вихідній інформації. При необхідності перехід у рішенні зазначених завдань від нечітких множин до звичайних здійснюється за допомогою множини рівня, що вибирається з урахуванням конкретного геолого-геофізичного стану досліджуваної території.

Результати. Розроблено технологію великомасштабної формалізованої оцінки й прогнозу розвитку радіологічної обстановки техногенно-навантажених регіонів південно-сходу України. При цьому обчислювальні процедури визначення параметрів, що характеризують просторове поширення радіоактивного забруднення в різних геосферах, у конкретних точках, засновані на рішенні завдання досягнення нечіткої цілі шляхом застосування підходу Bellman-Zadeh. Для останнього формалізовано визначені цілі та обмеження. Для визначення впливу особливостей тектонічної будови території на лінійне й площинне поширення техногенного радіоактивного забруднення формалізовано вирішене завдання визначення за геолого-геофізичними даними границь фрагментів розломів та об'єднання фрагментів у єдині структури шляхом обчислення опуклої комбінації нечітких множин індикаторів (ознак) розломів.

Наукова новизна. Застосування апарата теорії нечітких множин в обробці багатопараметрових геолого-геофізичних даних при вирішенні різноманітних завдань геоecологічного картування техногенно-навантажених територій України.

Практична значимість. Застосування формалізованих процедур геоecологічного картування за геолого-геофізичними даними дозволяє підвищити оперативність та ефективність розробки пропозицій щодо підвищення рівня техногенної безпеки та мінімізації соціально-економіко-екологічних втрат в умовах техногенно-навантажених регіонів України.

Ключові слова: геолого-геофізичні дані, геоecологічні завдання, нечіткі множини

Purpose. To raise the formalization level of solution of geoeological mapping tasks concerning processing of multiparameter geological-geophysical data for problems of high-manmade-load territories changeover to sustainable development in Ukraine.

Methodology. We applied the fuzzy sets theory to raise formalization and efficiency of solution of various tasks of geoeological mapping. When we processed complex geological-geophysical data, the fuzzy purposes achievement task was solved by the Bellman-Zadeh approach. It considers the purposes of acceptance of the decision and the set of alternatives (restrictions) to be equal in rights fuzzy subsets of some universal set of alternatives. To determine the relative weight of different restrictions we solved the ordering problem given fuzzy in-

itial information. Where it was necessary for solving the mentioned tasks we did the transition from fuzzy sets to traditional sets through the level sets, taking into account geological-geophysical conditions of the territory under review.

Findings. The technology of large-scale formalized rating and prediction of development of radiologic conditions of high-manmade-load territories in southeast Ukraine was developed. Thus we based the computing procedures of definition of parameters describing spatial distribution of radioactive pollution in various geospheres in concrete points on the solution of the task of fuzzy purposes achievement by Bellman-Zadeh approach. For this the formalized purposes and restrictions were determined. To determine the influence of the territory tectonic structure features on linear and area distribution of technogenous radioactive pollution we solved the formalized task of definition of fault fragment borders and association of fragments into uniform structures based on geological-geophysical data by calculation of

convex combination of fuzzy sets of indicators (attributes) of faults.

Originality. Application of the fuzzy sets theory for processing of multiparameter geological-geophysical data in order to solve various tasks of geoeological mapping of high-manmade-load territories of Ukraine.

Practical value. Application of the formalized procedures of geoeological mapping using geological-geophysical data (developed on the base of the fuzzy sets theory) allows us to raise the efficiency of development of the ways of increase of anthropogenic safety level and minimization of social, economic and ecological losses in the high-manmade-load territories of Ukraine.

Keywords: *geological-geophysical data, geoeological tasks, fuzzy sets*

Рекомендовано до публікації докт. геол. наук М.М. Довбнічем. Дата надходження рукопису 02.07.13.

УДК 622.7:534

**Ю.Г. Агафонов, канд. техн. наук, доц.,
О.Л. Дудченко, канд. техн. наук, доц.,
Г.Б. Федоров, канд. техн. наук, доц.**

ГОУ ВПО „Московский государственный горный университет“, г.Москва, Россия, e-mail: granat-agafonov@mail.ru

ИНФРАЗВУКОВАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ – ИННОВАЦИОННОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Yu.G. Agafonov, Cand. Sci. (Tech.), Associate Prof.,
O.L. Dudchenko, Cand. Sci. (Tech.), Associate Prof.,
G.B. Fedorov, Cand. Sci. (Tech.), Associate Prof.**

Moscow State Mining University, Moscow, Russia,
e-mail: granat-agafonov@mail.ru

INFRASONIC METHODS AND TECHNOLOGY: INNOVATIVE APPROACH TO INTENSIFY MINING PRACTICES

Цель. Разработка инфразвуковой техники и технологии для интенсификации и повышения качества очистки промышленных стоков горных предприятий, тонкой классификации высокодисперсных суспензий.

Методика. На основании результатов гидродинамической ситуации и движения взвесей при воздействии инфразвуковых колебаний изучались характеристики различных фильтровальных материалов. Исследовались зависимости производительности и тонкости фильтрования от амплитуды и частоты колебаний.

Результаты. Установлено, что при воздействии инфразвуковых колебаний возрастает производительность фильтрования и повышается эффективность извлечения высокодисперсных частиц. Эффективность очистки сточных вод определяется характеристиками фильтроэлемента, колебательной скоростью и частотой.

Научная новизна. Заключатся в использовании виброакустических воздействий для получения высоких энергетических значений на молекулярном уровне в больших рабочих объемах с целью интенсификации жидкофазных технологических процессов.

Практическая значимость. На базе проведенных исследований разработаны и созданы установки для очистки сточных вод горных предприятий, которые прошли апробацию в промышленных условиях. Результаты этих испытаний показали перспективность их использования в водошламовом хозяйстве горных предприятий.

Ключевые слова: *инфразвуковое фильтрование, регенерация фильтра, противоточные потоки*

Постановка проблемы. Одним из перспективных инновационных направлений научных исследо-

ваний, способных принести ощутимые результаты в ближайшее время, является разработка инфразвуковой техники и технологии для интенсификации процессов горного производства [1].

© Агафонов Ю.Г., Дудченко О.Л., Федоров Г.Б., 2014