

УДК 510.644.4

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ УЧАСТКОВ НЕДР НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Дадыкин Валерий Сергеевич<sup>1</sup>,  
dadykin88@bk.ru

Дадыкина Ольга Викторовна<sup>1</sup>,  
atamanova\_281287@mail.ru

Язвенко Николай Александрович<sup>1</sup>,  
nikolayyazvenko@mail.ru

<sup>1</sup> Брянский государственный технический университет,  
Россия, 241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7.

**Актуальность** исследования заключается в необходимости обеспечения потенциальных инвесторов и органов власти результатами интегральной экспертной оценки перспективности участков недр на основе онтологической модели и нечеткой логики для повышения экономической эффективности проведения поисковых работ по выявлению прогнозных ресурсов и геологических запасов. Предметом исследования служат методические подходы к интегральной экспертной оценке перспективности участков недр и подходы к ее практической реализации.

**Целью** исследования является разработка методики интегральной экспертной оценки перспективности участков недр на основе онтологической модели и нечеткой логики.

**Объекты:** участки недр, перспективные для геологического изучения, преимущественно по твердым полезным ископаемым.

**Методы.** Теоретическая и методологическая основа исследования базируется на методах системного анализа и онтологического моделирования, использовании методов нечеткой логики.

**Результаты.** Разработана атомарная онтологическая модель, содержащая показатели интегральной экспертной оценки перспективности участков недр для потенциальных инвесторов в части формализации процесса принятия решений в условиях снижения неопределённости группы количественных критериев и «смягчения точности» качественных критериев; разработана методика интегральной экспертной оценки перспективности участков недр на основе онтологической модели и нечеткой логики. Разработанная методика интегральной экспертной оценки перспективности участков недр проходит апробацию в Брянском филиале Федерального бюджетного учреждения «Территориальный фонд геологической информации по Центральному федеральному округу» (г. Брянск) на материалах, собранных по Центральному федеральному округу, и может быть использована как система поддержки принятия решений в части недропользования, потенциальными инвесторами, государственным заказчиком при программно-целевом планировании геологоразведочных работ.

### Ключевые слова:

онтологическая модель, нечеткая логика, экспертная оценка, планирование поисковых работ, атомарная модель, дефазификация, метод Мамдани.

### Введение

В настоящее время в условиях региональной экономики минерального сырья сложилась ситуация крайне неравномерного освоения минерально-сырьевой базы. Так, например, в отдельных регионах доля месторождений нераспределенного фонда недр составляет более 80 % [1]. Такое высокое значение не вовлечённых в разработку объектов является примером нерационального использования минерально-сырьевой базы и со временем приводит к утрате перспективной возможности освоения данных объектов: в связи с переводом фонда недр, содержащего полезные ископаемые, в другие категории землепользования; в связи с ухудшением кондиционных свойств минерального сырья.

По ряду перспективных объектов разработка недр не ведется в связи с отсутствием достоверной и актуальной информации о текущем состоянии объектов, понятной потенциальным инвесторам.

При принятии решения об инвестировании в объекты недропользования необходимо учитывать критерии сравнительной оценки масштабности месторожде-

ния, природного качества руд и потребительские свойства сырья, горно-геологические условия разработки, транспортно-экономические условия, инвестиционный потенциал и социально-экономическую обстановку, физико-географические условия [2].

Кроме системы оценок месторождений, автоматизированная система также должна содержать компоненты, позволяющие сформулировать требования к месторождениям в виде перечня с качественной или количественной оценкой по каждой позиции [3, 4]. Сравнение оценки по требованиям с оценкой, данной месторождению группой экспертов, позволит выявить рассогласование между ними и вынести решение по мероприятиям, направленным на снижение этой разницы. Например, проведение дополнительных геологоразведочных работ для уточнения отдельных характеристик потенциального объекта недропользования.

### Литературный обзор

При проведении экспертной оценки перспективности участков недр необходимо пояснить, что оценка выполняется на стадии уточнения перспективности

дальнейшего изучения прогнозных ресурсов [5]. Именно на данной стадии необходимо установить, следует ли вкладывать средства, как правило, бюджетные, в более детальное изучение, в том числе в геологоразведочные работы, бурение скважин и т. д. [6]. На данной стадии эксперту приходится опираться в основном на смежные геологические отчеты, искать аналогии объектов на относительно изученных территориях со сходными геологическими условиями образования полезных ископаемых. Поэтому параметры экспертной оценки необходимо дополнить терминами естественного языка, что более понятно при сопоставлении нескольких объектов недр. Например, по сложности геологического строения выделяют А – простые, Б – средней сложности, В – сложные и весьма сложные объекты. Теория нечетких

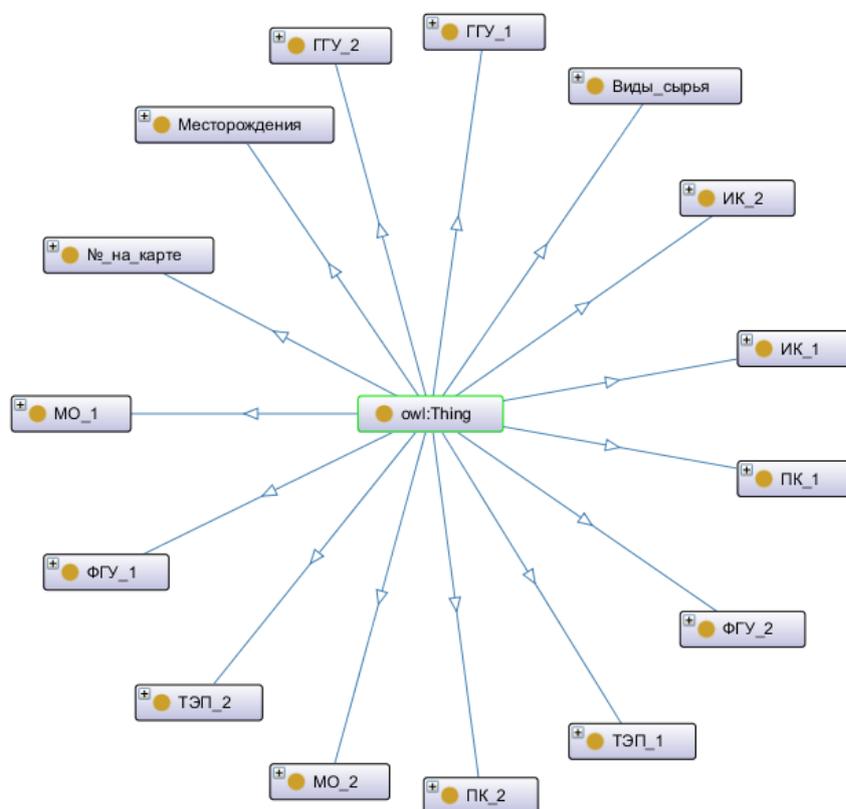
множеств, правила импликации и нечетких рассуждений образуют систему нечеткого вывода [7].

Наиболее известными моделями нечеткого вывода в настоящее время являются модели Мамдани, Сугено, Ларсена и Цукамото [8]. Применительно к данной работе, в которой ставится задача получения итоговой оценки участка недр, каждый из вышеназванных подходов имеет свои особенности относительно объекта исследования [9–11].

Наиболее предпочтительной в данном случае является модель Мамдани.

#### Проектирование онтологической модели

В данной работе онтологический подход предполагает создание базы знаний, которая основана на понятии триады (рис. 1) [12].



**Рис. 1.** Общий вид онтологической модели: MO\_1 – размерность по сумме  $A+B+C_1$  или  $C_2+P_1+P_2$  (прогнозные); MO\_2 – возможность прироста запасов за счет прогнозных ресурсов; ПК\_1 – по содержанию полезных компонентов (обогащенности сырья); ПК\_2 – по возможному использованию; ГГУ\_1 – глубина залегания тела полезного ископаемого (способ отработки); ГГУ\_2 – сложность геологического строения (горно-технические условия); ТЭП\_1 – удаленность от транспортных магистралей, населенных пунктов, объектов инфраструктуры в км; ТЭП\_2 – удаленность от основных территориальных сегментов рынка, зон сбыта сырья, в км; ИК\_1 – по рейтингу инвестиционного климата субъектов федерации; ИК\_2 – по рейтингу (индикаторам) социально-экономической обстановки (уровень безработицы, уровень доходов по субъектам федерации); ФГУ\_1 – физико-географические условия по природным зонам (коэффициент удорожания СМР); ФГУ\_2 – по категориям оценки экологической обстановки; № на карте; месторождения; виды сырья

**Fig. 1.** General view of the ontological model: MO\_1 – dimension by the sum of  $A+B+C_1$  or  $C_2+P_1+P_2$  (forecast); MO\_2 – possibility of reserves growth due to forecast resources; ПК\_1 – by the content of useful components (enrichment of raw materials); ПК\_2 – by possible use; ГГУ\_1 – depth of the mineral body (method of mining); ГГУ\_2 – complexity of the geological structure (mining and technical conditions); ТЭП\_1 – distance from highways, settlements, infrastructure facilities in km; ТЭП\_2 – distance from the main territorial market segments, raw material sales areas, in km; ИК\_1 – according to the rating of the investment climate of the subjects of the federation; ИК\_2 – according to the rating (indicators) of the socio-economic situation (unemployment rate, income level by subjects of the federation); ФГУ\_1 – physical and geographical conditions by natural zones (the coefficient of appreciation of the SMR); ФГУ\_2 – by categories of environmental assessment; no. on the map; deposits; types of raw materials

Система поддержки принятия управленческих решений с целью подбора месторождений для потенциальных инвесторов должна содержать информацию по каждому из блоков данных, описанных в составе вышерассмотренной онтологической модели. В данной онтологической модели все классы являются самостоятельными, т. е. не входят в состав других классов. Такую онтологическую модель будем считать одноранговой, или атомарной [13–16]. Особенность атомарной онтологической модели состоит в том, что каждый узел (экземпляр) в одном классе онтологии связан с экземплярами других структур (классов) онтологии через систему отношений, выраженных, как правило, глаголами.

Преимущество онтологической модели по сравнению с иным способом представления и хранения значимых экспертных оценок состоит в том, что применение специализированного программного продукта – редактора онтологии, включающего машины логического вывода (Reasoner), позволяет установить скрытые, неявно указанные зависимости между сущностями в составе онтологической модели.

Онтологическая модель в данном случае представляет собой структуру для описания базы знаний, которая наполняется в программном продукте Protégé. Источником данных для наполнения базы знаний являются результаты экспертной оценки по имеющимся в территориальных фондах геологической информации по регионам отчетах и обзорным документам, находящимся в открытом доступе. Для расчета интегральной экспертной оценки результатов геологических исследований нами предлагается использовать математический аппарат нечеткой логики.

#### **Методические аспекты ранжирования участков недр на базе нечеткой логики**

Следующей задачей, которую необходимо решить в рамках создания информационной системы интегральной экспертной оценки перспективности участков недр на основе онтологической модели и нечеткой логики, является приведение всех качественных и количественных оценок в нечеткий (качественный) и количественный (цифровой) результат [17, 18]. Для ранжирования участков недр по различным позициям и последующего их сопоставления лучше перевести оценки в цифровой вид. Тогда по каждой позиции оценивание должно идти от некоторой максимально допустимой оценки, например, в 100 баллов.

По тем позициям, где оценка формируется группой экспертов (масштаб объекта, природное качество сырья и т. п.), предлагается использовать переход от качественных оценок группой экспертов средствами нечеткой логики в количественную оценку посредством формирования соответствующих функций принадлежности и дефазификации. Таким образом, нам требуется разработать формальные процедуры выбора параметров функции принадлежности и построения правил нечеткого вывода, что позволит более объективно оценивать перспективность прогнозных ресурсов участков недр (месторождений).

Таким образом, определим схему предлагаемого авторами подхода к решению задачи:

- определить лингвистические переменные и выбрать алгоритм нечеткого вывода;
- определить параметры функций принадлежности для ранжирования участков недр (месторождений);
- выполнить формализацию процедур составления правил нечеткого логического вывода;
- выполнить апробацию в программном продукте Matlab посредством компонента Fuzzy Logic Toolbox.

По позициям, где оценка формируется из разных показателей, выраженных цифрой в разных масштабах (удаленность от транспортных магистралей, оценка инвестиционного климата и т. д.), требуется выработка на основе экспертных данных веса каждой позиции. В качестве аппарата для реализации оценивания на основе принципов нечеткой логики автором использовался пакет программ математического моделирования Matlab [19]. В качестве входных данных по каждому участку недр брались нечеткие оценки трех экспертов в виде: А (высокая оценка), Б (средняя), В (низкая оценка). Например, по показателю масштаба объекта: А – крупные; Б – средние; В – мелкие.

Для проведения экспертной оценки месторождений в онтологической модели нами предлагается использовать модель «Куб». Суть данной модели состоит в выборе 6 Категорий оценки, что соответствует 6 граням куба. Категории, в свою очередь, делятся на 2 группы. Первая группа «Природная эффективность» содержит Категории оценки:

- масштаб объекта (код МО);
- природное качество и потребительские свойства сырья (код ПК);
- горно-геологические условия разработки (код ГГУ).

Вторая группа «Эффективность местоположения» содержит Категории оценки:

- транспортно-экономическое положение (код ТЭП);
- инвестиционный климат и социально-экономическая обстановка (код ИК);
- физико-географические условия и экологическая обстановка (код ФГУ).

На каждой из Категорий вводится по 2 Измерения, представленные в табл. 1.

По каждому Измерению, согласно допустимым значениям экспертной оценки, эксперт выбирает значение. Затем результаты сводятся в модель «Куб» для оценки конкретных качеств участков недр (месторождений), согласно табл. 2.

В ячейках Куба указываются номера месторождений на карте. Объекты, имеющие интегральную оценку «ОН» и «Н», исключаются из рассмотрения как низко перспективные в текущей ситуации оценки. Производственные правила имеют вид конъюнкции, например,  $\{C \wedge B \wedge V\}$  соответствует терму ОВ.

Из мнений экспертов по функциям принадлежности в виде нормального распределения с максимальным значением 100 формировались по алгоритму Мамдани итоговые оценки по каждому подразделу. С учетом размерности диапазона 5 групп, входящих в

него, имеют области допустимых значений по 20 единиц каждая. На основании оценок по всем разделам формировалась средняя оценка по разделу в целом. Настройка входных параметров модели в части функций принадлежности выполняется в программе Matlab (компонент Fuzzy Logic Toolbox). Вы-

ходная функция для системы нечеткого вывода представлена на рис. 2.

По аналогии вводится выходная лингвистическая переменная, содержащая результаты интегральной оценки в диапазоне 0–100 баллов. При этом границы диапазонов значений принимаются фиксированными, согласно табл. 2.

**Таблица 1.** Критерии экспертной оценки участков недр

**Table 1.** Criteria for expert evaluation of subsurface areas

Код категории Category code	Наименование измерения Measurement name	Значение экспертной оценки Expert evaluation value
МО_1	Размерность по сумме $A+B+C_1$ или $C_2+P_1+P_2$ (прогнозные) Dimension by the sum of $A+B+C_1$ or $C_2+P_1+P_2$ (forecast)	А – крупные/large Б – средние/average В – мелкие/small
МО_2	Возможность прироста запасов за счет прогнозных ресурсов Possibility of increase in reserves due to forecast resources	А – на флангах и в глубину/on the flanks and in depth Б – только на глубину/only to the depth В – отсутствует/missing
ПК_1	По содержанию полезных компонентов (обогащаемости сырья) According to the content of useful components (enrichment of raw materials)	А – богатые (легкообогащаемые)/rich (easily rich) Б – рядовые (удовлетворительно обогащаемые) ordinary (satisfactorily enriched) В – бедные (труднообогащаемые)/poor (hard-to-get-rich)
ПК_2	По возможному использованию By possible use	А – экспорториентированные/export oriented Б – импорт-замещающие/import substituting В – имеющие спрос на внутреннем рынке having demand in the domestic market
ГГУ_1	Глубина залегания тела полезного ископаемого (способ отработки) Depth of the mineral body (working out method)	А – приповерхностная (открытый)/near-surface (open) Б – средних глубин (комбинированный)/medium depths (combined) В – глубокое (подземный)/deep (underground)
ГГУ_2	Сложность геологического строения (горнотехнические условия) Complexity of the geological structure (mining and technical conditions)	А – простые/simple Б – средней сложности/medium difficulty В – сложные и весьма сложные/complex and very complex
ТЭП_1	Удаленность от транспортных магистралей, населенных пунктов, объектов инфраструктуры, км Distance from highways, settlements, infrastructure facilities, km	А – до 25/up to 25 Б – 25–100 В – более 100/more than 100
ТЭП_2	Удаленность от основных территориальных сегментов рынка, зон сбыта сырья, км Distance from the main territorial market segments, raw material sales areas, km	А – до 10/up to 10 Б – 100–500 В – более 500/more than 500
ИК_1	По рейтингу инвестиционного климата субъектов федерации According to the rating of the investment climate of the subjects of the federation	А – высокий/high Б – средний/medium В – низкий/low
ИК_2	По рейтингу (индикаторам) социально-экономической обстановки (уровень безработицы, уровень доходов по субъектам федерации) By rating (indicator) of the socio-economic situation (unemployment rate, income level by federal subjects)	А – выше среднего/above average Б – среднего уровня/medium level В – неблагоприятная/unfavorable
ФГУ_1	Физико-географические условия по природным зонам (коэффициент удорожания строительно-монтажных работ) Physical and geographical conditions by natural zones (coefficient of increase in the cost of construction and installation works)	А – благоприятные/favorable Б – удовлетворительные/satisfactory В – неблагоприятные/unfavorable
ФГУ_2	По категориям оценки экологической обстановки By categories of environmental assessment	А – относительно удовлетворительная/relatively satisfactory Б – напряженная/tense В – критическая и кризисная (расположение объекта в пределах охраняемых территорий)/critical and crisis (the location of the object within the protected areas)

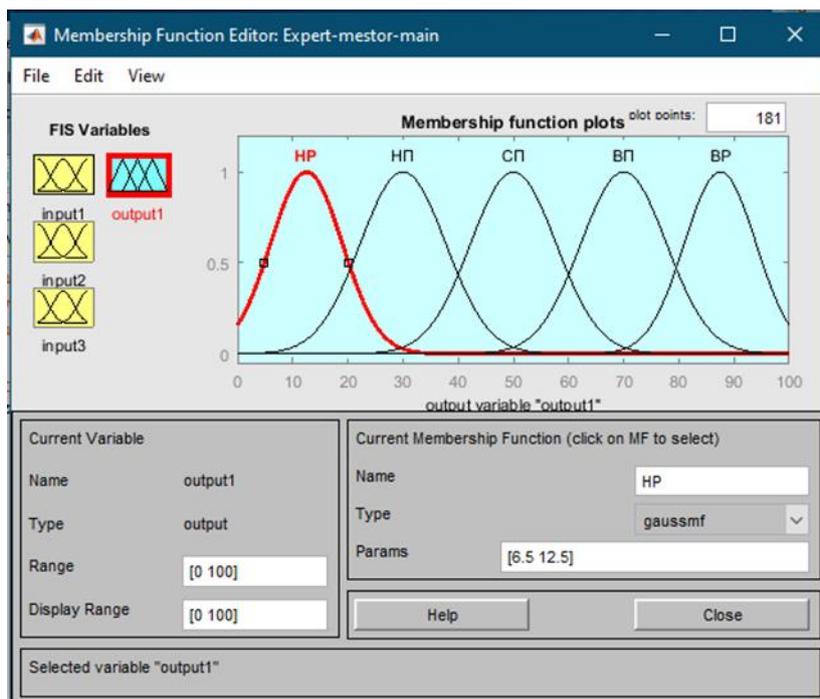


Рис. 2. Выходная функция для системы нечеткого вывода

Fig. 2. Output function for the fuzzy inference system

Таблица 2. Маркировка конкурентных качеств участка недр (месторождения)

Table 2. Marking of competitive qualities of a subsurface area (deposit)

Код Code	Качественная оценка Qualitative assessment	Количественная оценка Quantitative assessment
ОВ/ВН	Очень высокие/Very high	81–100
В/Н	Высокие/High	61–80
С/М	Средние/Medium	41–60
Н/Л	Низкие/Low	21–40
ОН/ВЛ	Очень низкие/Very low	0–20

### Обсуждение

В результате применения данной методики была проведена оценка 20 участков недр, содержащих предполагаемые запасы стекольных песков на территории ЦФО по материалам геологических отчетов 2011–2015 гг., 10 из которых позднее были признаны перспективными в результате проведенных геолого-разведочных работ в течение 2015–2022 гг., с занесением результатов их оценки в систему мониторинга (табл. 3) [20].

Участки, признанные перспективными, отмечены знаком (п) в столбце с наименованием. Как видно, онтологическая модель с использованием алгоритмов нечеткой логики позволяет с высокой долей вероятности оценить перспективность участков недр (схождение более 90 %), что свидетельствует о корректности применяемых правил нечетких выводов, заложенных в алгоритм расчета. При расчете учитывалось предположение, что потенциальные потребители сырья также расположены на территории ЦФО.

Симметричный вид поверхности функции принадлежности подтверждает вывод о корректном использовании правил нечетких выводов в модели.

Таблица 3. Результаты усредненной экспертной оценки участков недр

Table 3. Results of the average expert assessment of subsurface areas

Наименование участка Name of the plot*	Эксперт Expert			Интегральная оценка Integral assessment
	1	2	3	
1 (п)**	62	54	66	65,4 (B)
2 (п)	45	59	61	56,2 (C)
3 (п)	58	55	65	61,9 (B)
4 (п)	61	65	71	71,9 (B)
5 (п)	86	74	73	84,6 (OB)
6 (п)	49	63	65	64,5 (B)
7 (п)	44	61	73	66,9 (B)
8 (п)	74	67	81	82,9 (OB)
9 (п)	69	77	55	79,4 (B)
10 (п)	73	82	85	86,5 (OB)
11	32	57	35	34,3 (H)
12	57	44	44	49,1 (C)
13	24	34	44	24,1 (H)
14	33	28	36	26 (H)
15	44	40	35	36,9 (H)
16	46	56	48	50,4 (C)
17	55	36	39	39,5 (H)
18	44	34	23	23,7 (H)
19	38	27	45	29,3 (H)
20	37	25	44	27,5 (H)

Примечание: \*Наименования участков в таблице заменены их цифровым обозначением. \*\*Перспективные объекты отмечены (п)

Note: \*The names of the plots in the table are replaced by their numerical designation. \*\*Perspective objects are marked (n)

### Заключение

Таким образом, авторами разработана методика интегральной экспертной оценки перспективности

участков недр на основе онтологической модели и нечеткой логики. Последовательность расчетов по методике предполагает построение онтологической модели для отражения логических взаимосвязей между объектами недр и их качественными характеристиками. Затем из онтологической модели формируются качественные характеристики с их экспертной оценкой, которые вводятся в модель нечеткой логики в программе Matlab (в модуль Fuzzy logic). В программе заранее настраиваются правила нечеткого вывода и выбирается подходящая модель расчета. В данном случае использовалась модель Мамдани. Апробация корректности расчетов по методике выполнялась по ретроспективным данным по объектам

недр, признанным впоследствии перспективными. Расчет посредством программ Matlab показал сходжение результатов более 90 %, что свидетельствует о высоком уровне достоверности при применении данной методики.

В дальнейшем планируется автоматизировать расчеты по методике в результате формирования клиент-серверного веб-приложения, содержащего на стороне сервера системы управления базами данных, а на стороне клиента – интерфейс для ввода экспертных оценок. Результаты исследования могут использоваться в системах поддержки принятия решений по недропользованию и при планировании затрат на геолого-съемочные и поисковые работы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bakaev V.A., Blagov A.V., Blagov Y.V. Creating the self-learning expert system for solving problems with fuzzy logic // Journal of Physics: Conference Series: 5th International Conference on Information Technology and Nanotechnology. – Samara, 21–24 May 2019. – V. 1368, 5. – Samara: Institute of Physics Publ., 2019. – P. 052015. DOI: 10.1088/1742-6596/1368/5/052015.
2. Eliseev A.V. Adaptation of structure of information-measuring system based on fuzzy logic // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies. – Vladivostok, 1–4 October 2019. – Vladivostok: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – P. 8934065. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934065.
3. Ermilov A.E. Monitoring systems development using situational approach and fuzzy logic // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 108, Development, Research, Certification. – Nizhny Novgorod, 25–26 September 2019. – P. 012016. DOI: 10.1088/1757-899X/695/1/012016.
4. Garcia L.F. The GeoCore ontology: a core ontology for general use in geology // ResearchGate. URL: [https://www.researchgate.net/publication/337537263\\_The\\_GeoCore\\_ontology\\_A\\_core\\_ontology\\_for\\_general\\_use\\_in\\_Geology](https://www.researchgate.net/publication/337537263_The_GeoCore_ontology_A_core_ontology_for_general_use_in_Geology) (дата обращения: 25.12.2022).
5. Predicting cardiovascular death with automatically designed fuzzy logic rule-based models / C. Brester, M. Kolehmainen, V. Stanovov et al. // Studies in Computational Intelligence. – 2021. – V. 922. – P. 223–236. DOI: 10.1007/978-3-030-70594-7\_9.
6. Heinrich H. Theory and applications of ontology: computer applications // ResearchGate. URL: [https://www.researchgate.net/publication/226549712\\_General\\_Formal\\_Ontology\\_GFO\\_A\\_Foundational\\_Ontology\\_for\\_Conceptual\\_Modelling](https://www.researchgate.net/publication/226549712_General_Formal_Ontology_GFO_A_Foundational_Ontology_for_Conceptual_Modelling) (дата обращения: 25.12.2022).
7. Ахмет В.Х., Комаров М.А. Оптимизация параметров воспроизводственных циклов ГИН на основе положений контрактной системы в сфере закупок // Разведка и охрана недр. – 2014. – № 7. – С. 59–64.
8. Ахмет В.Х. Рынок геологии и нерыночная основа ценообразования на продукцию и работы по ГИН и ВМСБ // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 11. – С. 49–54.
9. Scherp A. Designing core ontologies // ResearchGate. URL: [https://www.researchgate.net/publication/50378685\\_Designing\\_Core\\_Ontologies](https://www.researchgate.net/publication/50378685_Designing_Core_Ontologies) (дата обращения: 25.12.2022).
10. Геолого-экономическое районирование в управлении фондом недр и геологоразведочной промышленностью / Р.Р. Ноговицын, О.Н. Федонин, В.С. Дадыкин, В.М. Сканцев. – Брянск: ООО «Новый проект», 2018. – 304 с.
11. Дадыкин В.С., Дадыкина О.В. Снижение воспроизводства минерально-сырьевой базы как угроза экономической безопасности // Социально-экономические и гуманитарные исследования: проблемы, тенденции и перспективы развития: Материалы международной научно-практической конференции. – Брянск, 27–28 апреля 2016. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2016. – С. 24–27.
12. Martins F.F., Castro H. Raw material depletion and scenario assessment in European Union – a circular economy approach // Energy Reports. – 2020. – V. 6. – P. 417–422. DOI: 10.1016/j.egy.2019.08.082.
13. Basag S.P., Turan A., Yucel O. An investigation on antimony production by using Niederschlag process // TMS Annual Meeting. 7th International Symposium on High-Temperature Metallurgical Processing. Code 121635. – 2016. – P. 117–121. DOI: 10.1002/9781119274643.ch15.
14. Дадыкина О.В., Дадыкин В.С. Модель геолого-экономического мониторинга в системе экономической безопасности региона // Управление в условиях глобальных мировых трансформаций: экономика, политика, право. Сборник научных трудов. – Брянск: БГТУ, 2016. – С. 106–108.
15. Карнаухов В.М. Исследование весовых коэффициентов единиц рейтинга при помощи нечетких множеств // Информатизация образования и науки. – 2017. – № 2 (34). – С. 57–67.
16. Конников Е.А., Прико П.А. Нечетко-множественная модель оценки уровня социальной ответственности организаций // Экономика и предпринимательство. – 2017. – № 3-2 (80-2). – С. 681–683.
17. Морозов А.Ф., Климов А.К. Геологическое информационное обеспечение как важнейшая часть геологоразведочного процесса. Современное состояние и перспективы // МРР. Экономика и управление. – 2012. – № 4. – С. 4–8.
18. Нурмаганбетова М.О., Нурмаганбетов Д.Е., Мырзакеримова А.Б. Математическая модель диагностирования с использованием правила нечеткого вывода // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 43. – С. 493–497.
19. Степина О.М., Дадыкин В.С. Применение ГИС-технологий в управлении промышленным предприятием // Инновационно-промышленный потенциал развития экономики регионов: Материалы IV-й Международной научно-практической конференции. – Брянск, 31 марта 2017. – С. 285–290.
20. Mastella L. Formalizing geological knowledge through ontologies and semantic annotation. URL: [https://www.researchgate.net/publication/290734392\\_Formalizing\\_Geological\\_Knowledge](https://www.researchgate.net/publication/290734392_Formalizing_Geological_Knowledge) (дата обращения: 02.12.2022).

Поступила: 13.01.2023 г.

Прошла рецензирование: 28.03.2023 г.

#### Информация об авторах

**Дадыкин В.С.**, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры цифровой экономики, Брянский государственный технический университет.

**Дадыкина О.В.**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры цифровой экономики, Брянский государственный технический университет.

**Язвенко Н.А.**, ассистент кафедры цифровой экономики, Брянский государственный технический университет.

UDC 510.644.4

## DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR INTEGRATED EXPERT ASSESSMENT OF THE PROSPECTS OF SUBSURFACE AREAS BASED ON AN ONTOLOGICAL MODEL AND FUZZY LOGIC

**Valery S. Dadykin**<sup>1</sup>,  
dadykin88@bk.ru

**Olga V. Dadykina**<sup>1</sup>,  
atamanova\_281287@mail.ru

**Nikolay A. Yazvenko**<sup>1</sup>,  
nikolayyazvenko@mail.ru

<sup>1</sup> Bryansk State Technical University,  
7, 50 let Oktyabrya Boulevard, Bryansk, 241035, Russia.

**The relevance** of the research lies in the need to provide potential investors and authorities with the results of an integrated expert assessment of the prospects of subsurface areas based on an ontological model and fuzzy logic to increase the economic efficiency of prospecting to identify forecast resources and geological reserves.

**The aim** of the study is to develop a methodology for integrated expert assessment of the prospects of subsurface areas based on an ontological model and fuzzy logic.

**Objects:** subsurface areas promising for geological study, mainly for solid minerals.

**Methods.** The theoretical and methodological basis of the research is based on the methods of system analysis and ontological modeling, the use of fuzzy logic methods.

**Results.** The requirements for an automated system for selecting deposits for potential investors are defined in terms of formalizing the decision-making process in terms of reducing the uncertainty of a group of quantitative criteria and «softening the accuracy» of qualitative criteria. The authors developed an atomic ontological model containing indicators of integrated expert assessment of the prospects of subsurface areas and methodology for integrated expert assessment of the prospects of subsurface areas based on the ontological model and fuzzy logic. The developed method of integrated expert assessment of the prospects of subsurface areas is being tested in the Bryansk branch of the Federal Budgetary Institution «Territorial Fund of Geological Information for the Central Federal District» (Bryansk) on materials collected in the Central Federal District, and can be used as a decision support system in terms of subsurface use, potential investors, the state customer in the software and targeted planning of geological exploration.

### Key words:

ontological model, fuzzy logic, expert evaluation, search planning, atomic model, defasification, Mamdani method.

### REFERENCES

- Bakaev V.A. Creating the self-learning expert system for solving problems with fuzzy logic. *Journal of Physics: Conference Series 5th International Conference on Information Technology and Nanotechnology*. Samara, Institute of Physics Publishing, 2019. Vol. 1368, 5, p. 052015. DOI: 10.1088/1742-6596/1368/5/052015.
- Eliseev A.V. Adaptation of structure of information-measuring system based on fuzzy logic. *2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies*. Vladivostok, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. pp. 8934065. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934065.
- Ermilov A.E. Monitoring systems development using situational approach and fuzzy logic. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Nizhny Novgorod, 2019. pp. 012016. DOI: 10.1088/1757-899X/695/1/012016.
- Garcia L.F. The GeoCore ontology: a core ontology for general use in geology. *ResearchGate*, Available at: [https://www.researchgate.net/publication/337537263\\_The\\_GeoCore\\_ontology\\_A\\_core\\_ontology\\_for\\_general\\_use\\_in\\_Geology](https://www.researchgate.net/publication/337537263_The_GeoCore_ontology_A_core_ontology_for_general_use_in_Geology) (accessed: 25 December 2022).
- Brester C. Predicting cardiovascular death with automatically designed fuzzy logic rule-based models. *Studies in Computational Intelligence*, 2021, vol. 922, pp. 223–236. DOI: 10.1007/978-3-030-70594-7\_9.
- Heinrich H. Theory and applications of ontology: computer applications *ResearchGate*. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/226549712\\_General\\_Formal\\_Ontology\\_GFO\\_A\\_Foundational\\_Ontology\\_for\\_Conceptual\\_Modelling](https://www.researchgate.net/publication/226549712_General_Formal_Ontology_GFO_A_Foundational_Ontology_for_Conceptual_Modelling) (accessed: 25 December 2022).
- Akhmet V.H. Optimizatsiya parametrov vosproizvodstvennykh tsiklov GIN na osnove polozheniy kontraktnoy sistemy v sfere zakupok [Optimization of the parameters of production cycles of GIN based on the provisions of the contract system in the field of procurement]. *Razvedka i okhrana nedr*, 2014, no. 7, pp. 59–64.
- Akhmet V.H. Rynok geologii i nerynochnaya osnova tsenoobrazovaniya na produktsiyu i raboty po GIN i VMSB [The market of geology and the non-market basis of pricing for products and works on GIN and VMSB]. *Razvedka i okhrana nedr*, 2011, no. 11, pp. 49–54.
- Scherp A. Designing core ontologies. *ResearchGate*. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/50378685\\_Designing\\_Core\\_Ontologies](https://www.researchgate.net/publication/50378685_Designing_Core_Ontologies) (accessed: 25 December 2022).
- Nogovitsyn R.R., Fedonin O.N., Dadykin V.S., Skantsev V.M. *Geologo-ekonomicheskoe rayonirovanie v upravlenii fondom nedr i geologorazvedochnoy promyshlennostyu* [Geological and economic zoning in the management of the subsoil fund and the exploration industry]. Bryansk, Novy proekt Publ., 2018. 304 p.
- Dadykin V.S. Snizhenie vosproizvodstva mineralno-syrevooy bazy kak ugroza ekonomicheskoy bezopasnosti [Reduction of reproduction of the mineral resource base as a threat to economic security]. *Sotsialno-ekonomicheskie i gumanitarnye issledovaniya: problemy, tendentsii i perspektivy razvitiya* [Socio-economic and humanitarian studies: problems, trends and prospects of development]. Bryansk, Bryansk State Agrarian University, 2016. pp. 24–27.
- Martins F.F., Castro H. Raw material depletion and scenario assessment in European Union – a circular economy approach. *Energy Reports*, 2020, vol. 6, pp. 417–422. DOI: 10.1016/j.egy.2019.08.082.
- Basag S.P., Turan A., Yucel O. An investigation on antimony production by using Niederschlag process, *TMS Annual Meeting. 7<sup>th</sup> International Symposium on High-Temperature Metallurgical*

- Processing*. 2016, code 121635, pp. 117–121. DOI: 10.1002/9781119274643.ch15.
14. Dadykina O.V., Dadykin V.S. Model geologo-ekonomicheskogo monitoringa v sisteme ekonomicheskoy bezopasnosti regiona [The model of geological and economic monitoring in the system of economic security of the region]. *Upravlenie v usloviyakh globalnykh mirovykh transformatsy: ekonomika, politika, pravo. Sbornik nauchnykh trudov* [Socio-economic and humanitarian studies: problems, trends and prospects of development]. Bryansk, BSTU Publ., 2016. pp. 106–108.
  15. Karnaukhov V.M. Issledovanie vesovykh koeffitsientov edinit reytinga pri pomoshchi nechetkikh mnozhestv [Investigation of the weight coefficients of rating units using fuzzy sets]. *Informatizatsiya obrazovaniya i nauki*, 2017, no. 2 (34), pp. 57–67.
  16. Konnikov E.A., Priko P.A. Nechetko-mnozhestvennaya model otsenki urovnya sotsialnoy otvetstvennosti organizatsy [Fuzzy-multiple model for assessing the level of social responsibility of organizations]. *Ekonomika i predprinimatelstvo*, 2017, no. 3-2 (80-2), pp. 681–683.
  17. Morozov A.F. Geologicheskoe informatsionnoe obespechenie kak vazhneyshaya chast geologorazvedochnogo protsesssa. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy [Geological information support as the most important part of the exploration process. Modern state and prospects]. *MRR. Ekonomika i upravlenie*, 2012, no. 4, pp. 4–8.
  18. Nurmaganbetova M.O., Nurmaganbetov D.E., Myrzakerimova A.B. Matematicheskaya model diagnostirovaniya s ispolzovaniem pravila nechetkogo vyvoda [Mathematical model of diagnostics using the fuzzy inference rule]. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2017, no. 4-3, pp. 493–497.
  19. Stepina O.M. Primenenie GIS-tekhnologiy v upravlenii promyshlennym predpriyatiem [Application of GIS technologies in industrial enterprise management]. *Innovatsionno-promyshlenny potentsial razvitiya ekonomiki regionov. Materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Innovative and industrial potential of regional economic development. Materials of the IVth International Scientific and Practical Conference]. Bryansk, 2017. pp. 285–290.
  20. Mastella L. Formalizing geological knowledge through ontologies and semantic annotation. *ResearchGate*. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/290734392\\_Formalizing\\_Geological\\_Knowledge](https://www.researchgate.net/publication/290734392_Formalizing_Geological_Knowledge) (accessed: 2 December 2022).

Received: 13 January 2023.

Reviewed: 28 March 2023.

#### Information about the authors

**Valery S. Dadykin**, Dr. Sc., professor, Bryansk State Technical University.

**Olga V. Dadykina**, Cand. Sc., associate professor, Bryansk State Technical University.

**Nikolay A. Yazvenko**, assistant, Bryansk State Technical University.