



Дадыкин В.С.
 д-р экон. наук, доцент
 ФГБОУ ВО «Брянский государственный
 технический университет»
 профессор кафедры «Цифровая экономика»
 dadykin88@bk.ru



Дадыкина О.В.
 д-р экон. наук, доцент
 ФГБОУ ВО «Брянский государственный
 технический университет»
 доцент кафедры «Цифровая экономика»
 atamanova_281287@mail.ru



Язвенко Н.А.
 ФГБОУ ВО «Брянский государственный
 технический университет», ассистент
 кафедры «Цифровая экономика»
 nikolayyazvenko@mail.ru

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАНЖИРОВАНИЯ УЧАСТКОВ НЕДР ПО ПЕРСПЕКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

В настоящее время в условиях необходимости финансирования работ по воспроизводству минерально-сырьевой базы со стороны государства, в особенности в части выявления прогнозных ресурсов, а в ряде случаев и до категории запасов C_2 , остро стоит необходимость в разработке методики ранжирования участков недр по перспективности. Как правило, в подобных ситуациях необходимо учитывать количественные и качественные оценки участков недр. При этом доля количественных оценок, как правило, ниже на ранних стадиях работы с перспективным объектом недр. В то же время преобладающие качественные оценки содержат, как правило, несколько экспертных мнений, которые достаточно сложно одновременно учитывать и применять в тандеме с количественными оценками. В подобных ситуациях применение моделей нечеткой логики позволит формализовать и автоматизировать расчет интегральной оценки участков недр для целей их ранжирования. Поэтому цель данной работы состоит в выработке методических аспектов ранжирования участков недр по перспективности на основе применения нечеткой логики.

Ключевые слова: ранжирование участков недр, нечеткая логика, оценка перспективности, интегральная оценка.

В настоящее время аппарат нечеткой логики находит практическое применение в различных сферах деятельности, в том числе в сфере геологии и недропользования. Специфика деятельности в данном случае состоит в том, что на ранних стадиях проведения поисковых работ применяется экспертная оценка перспективности участков недр, поэтому возникает необходимость в применении специальных подходов к оценке и ранжированию участков недр [1]. Применение количественных оценок для оценки перспективности участков недр позволило бы выполнить ранжирование и отбраковку объектов с низким уровнем количественной оценки, но использование качественных оценок позволяет в процессе оценки учесть так называемые «нечеткие» оценки, которые могут быть выражены высоким, средним и низким уровнем перспективности объекта недр [4]. С математической точки зрения, данная оценка может быть выражена функцией принадлежности к одному из множеств с четко фиксированными границами.

В данной работе в качестве примера для рассмотрения методических аспектов используется информация по твердым полезным ископаемым [2]. В настоящее время в условиях необходимости финансирования работ по воспроизводству минерально-сырьевой базы со стороны государства, в особенности в части выявления прогнозных ресурсов, а в ряде случаев и до категории запасов C_2 , остро стоит необходимость в разработке методики ранжирования участков недр по перспективности.

Нами предлагается разработать методические аспекты по выработке общих критериев оценки участков недр и внесению данных оценок в единую систему, построенную на основе базы знаний. Прежде всего необходимо определиться с совокупностью критериев, которые необходимо включить в модель, и по которым необходимо выполнять ранжирование. Всю совокупность критериев, которые возможно использовать на ранних стадиях проведения работ по оценке перспективности можно разделить на 2 группы:

1. Критерии природных конкурентных качеств объекта недр;

2. Критерии региональных условий местоположения объекта недр.

Далее необходимо по каждой группе определить конкретные показатели, по которым будет выполняться сопоставление объектов недр. По первой группе, это показатели:

1.1. размерности объекта недр по сумме геологических запасов (если они выявлены) или прогнозных ресурсов соответственно по категориям;

1.2. возможности прироста запасов за счет прогнозных ресурсов;

1.3. природного качества сырья по содержанию полезных компонентов (или обогатимости сырья в зависимости от вида);

1.4. потребительских качеств сырья по возможному использованию;

1.5. глубины залегания тела полезного ископаемого или способ отработки;

1.6. горнотехнических условий объекта.

По второй группе критериев предлагается включить в состав модели показатели:

2.1. удаленности от транспортных магистралей, населенных пунктов, объектов инфраструктуры в километрах;

2.2. удаленности от основных территориальных сегментов рынка, зон сбыта сырья, в км;

2.3. физико-географических условий по природным зонам;

2.4. оценки экологической обстановки;

2.5. рейтинга инвестиционного климата субъекта федерации;

2.6. рейтинга по индикаторам социально-экономической обстановки (уровень безработицы, уровень доходов по субъектам федерации и т.д.).

В части показателя 1.2 необходимо отметить, что прогнозные ресурсы необходимо при сравнительной оценке учитывать в одних и тех же категориях, и единицах измерения, а для приведения их к одной категории, например, P_1 , использовать соотношения (таблица 1).

Для организации процедуры нечеткого вывода в системе предлагается использовать про-

Таблица 1.
Приведение категорий прогнозных ресурсов

Категории прогнозных ресурсов и запасов	Коэффициенты перехода к запасам промышленных категорий		
	минимальные	средние	максимальные
P_3	0,03	0,07	0,2
P_2	0,36	0,4	0,5
P_1	0,7	0,75	0,8
Забалансовые	0,8	0,85	0,90
C_2	0,9	0,92	0,95

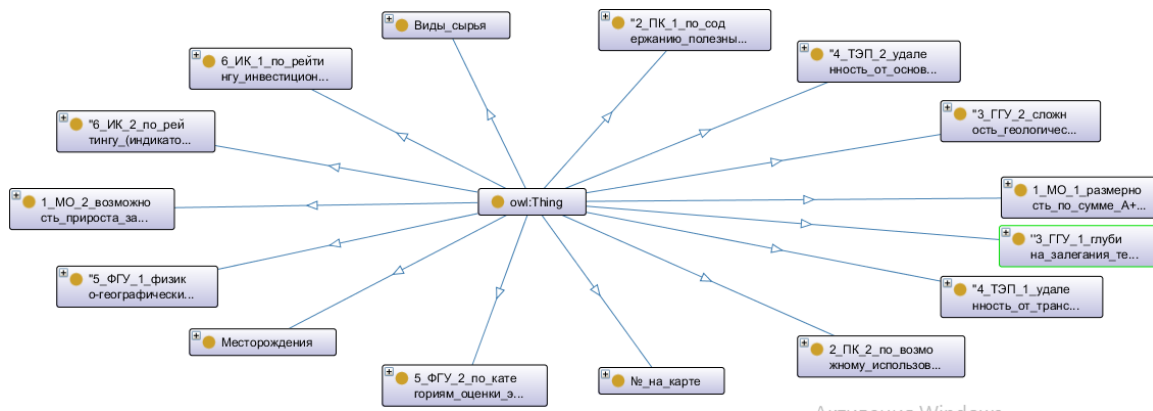


Рис. 1. Онтологическая модель системы интегральной оценки перспективности

граммный продукт Matlab с компонентом *Fuzzy logic*. За основу возьмем метод Мамдани, реализованный в данном программном продукте. Для получения более гибкой оценки в рамках нечеткого вывода будем использовать 5 различных вариантов оценки перспективности объектов недр: очень высокая (ОВ), высокая (В), средняя (С), низкая (Н) и очень низкая (ОН). Таким образом, общая максимальная сумма баллов 100 разбивается на равные интервалы по 20 единиц.

С целью реализации методики нам потребуется ввести в компонент *Fuzzy logic* набор ассоциативных правил, которые описывают различные варианты экспертной оценки участков недр. В данном случае, если используется 5 вариантов оценки перспективности количество возможных сочетаний экспертных оценок для трех экспертов составляет 243 ($3^5=243$). Следует отметить, что для получения интегральной оценки производственные правила должны быть непротиворечивыми и охватывать все возможные варианты оценки. Онтологическая модель системы оценки представлена на **рисунке 1**.

Важным элементом визуализации результатов моделирования является применение модели Куба. В результате выставления экспертных оценок на каждой из граней Куба возможно провести ранжирование результатов (**рис. 2**).

При объединении нескольких измерений в Категории оценки ранжирование результатов выглядит следующим образом (**рис. 3**).

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.

Из мнений экспертов по функциям принадлежности в виде нормального распределения с максимальным значением 100 формировалась по алгоритму Мамдани итоговые оценки по каждому подразделу [5]. На основании оценок по

А	ОВ	В	С
Б	В	С	Н
В	С	Н	ОН
	А	Б	В

Рис. 2. Ранжирование результатов экспертной оценки по двум измерениям в составе одной Категории модели «Куб»

А	С	В	ОВ	ОВ	В	С
Б	Н	С	В	В	С	Н
В	ОН	Н	С	С	Н	ОН
	В	Б	А	А	Б	В

Рис. 3. Ранжирование результатов экспертной оценки на пересечении 2-х смежных граней в модели «Куб»

всем разделам формировалась средняя оценка по разделу в целом.

В результате применения данной методики удалось выполнить агрегированную оценку участков недр на территории Брянской области по данным геологических отчетов за период 2010-2020г. Участки недр, которые впоследствии были признаны перспективными, были введены в модель с их экспертными оценками за период проведения работ. Анализ функции принадлежности показывает вхождение перспективных участков недр в интервал оценки В (высокая) и ОВ (очень высокая) (**табл. 2**).

Таблица 2.
Результат оценки перспективности участков недр (фрагмент)

№	Условное обозначение участка	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Интегральная оценка
1.	Участок 1 (перспективный)	62	54	66	65,4 (B)
2.	Участок 3 (перспективный)	58	55	65	61,9 (B)
3.	Участок 4 (перспективный)	61	65	71	71,9 (B)
4.	Участок 5 (перспективный)	86	74	73	84,6 (ОВ)

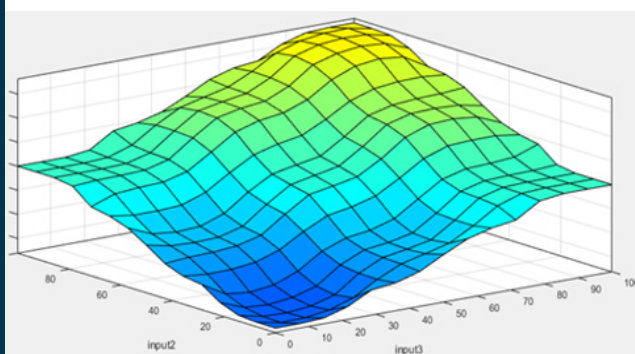


Рис. 4.
Внешний вид поверхности функции принадлежности

Аналогичный вывод о корректности примененных продукционных правил позволяет сделать и внешний вид функции принадлежности (рис. 4).

Таким образом, нами предложена методика ранжирования участков недр по перспективности на основе применения нечеткой логики. Она позволяет путем использования заданных продукционных правил выполнять ранжирование участков недр по перспективности. Продукционные правила должны охватывать все возможные сочетания экспертных оценок в доверительных интервалах. Также в рамках реализации методики требуется соотносить принадлежность участков недр от нечетких оценок к четким математическим множествам. Данная операция реализуется программным способом (алгоритмом Мамдани) путем проведения последовательных операций фазификация – дефазификация в компоненте *Fuzzy logic* программного продукта Matlab. Для визуализации методики используется модель Куба. Перспективные объекты в результате моделирования располагаются на гранях с оценками В (высокая) и ОВ (очень высокая) ^{XXI}

Литература

- García, Luan & Abel, Mara & Perrin, Michel & Alvarengarenata, Renata. (2019). The geocore ontology: A core ontology for general use in Geology. Computers & Geosciences. 135. 10.1016/j.cageo.2019.104387.
- Guarino, Nicola & Welty, Christopher. (2002). Evaluating ontological decisions with ontoclean. Communications of the ACM. 45. 61-65.
- Zhong, Jian & Aydina, Atilla & Mcguinness, Deborah. (2009). Ontology of fractures. Journal of Structural Geology - J STRUCT GEOL. 31. 251-259. 10.1016/j.jsg.2009.01.008.
- Геолого-экономическое районирование в управлении фондом недр и геологоразведочной промышленностью / П. Р. Ноговицын, О. Н. Федонин, В. С. Дадькин, В. М. Скандцев. – Брянск : Общество с ограниченной ответственностью «Новый проект», 2018. – 304 с. – ISBN 978-5-6041705-9-5.
- Дадькин, В. С. Снижение воспроизводства минерально-сырьевой базы как угроза экономической безопасности / В. С. Дадькин, О. В. Дадькина // Социально-экономические и гуманитарные исследования: проблемы, тенденции и перспективы развития : Материалы международной научно-практической конференции, Брянск, 27-28 апреля 2016 года. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2016. – С. 24-27.

UDC: 332.14:004.9

V.S. Dadykin, Doctor of Economics, Associate Professor, Bryansk State Technical University, Professor of the Department of Digital Economy, dadykin88@bk.ru
O.V. Dadykina, Candidate of Economics, Associate Professor, Bryansk State Technical University, Associate Professor of the Department of Digital Economy, atamanova_281287@mail.ru
N.A. Yazvenko, Bryansk State Technical University, Assistant of the Department of Digital Economy nikolayyazvenko@mail.ru

METHODOLOGICAL ASPECTS OF RANKING SUBSURFACE AREAS BY PROSPECTS BASED ON THE USE OF FUZZY LOGIC

Abstract: Currently, in the conditions of the need for financing the reproduction of the mineral resource base by the state, especially in terms of identifying forecast resources, and in some cases up to the category of reserves C2, there is an urgent need to develop a methodology for ranking a subsurface area by prospects. As a rule, in such situations, it is necessary to take into account quantitative and qualitative assessments of subsurface areas. At the same time, the proportion of quantitative estimates is usually lower at the early stages of work with a promising subsurface object. At the same time, the prevailing qualitative assessments usually contain several expert opinions, which are quite difficult to simultaneously take into account and apply in tandem with quantitative assessments. In such situations, the use of fuzzy logic models will allow to formalize and automate the calculation of the integral assessment of subsurface areas for the purposes of their ranking. Therefore, the purpose of this work is to develop methodological aspects of ranking subsurface areas by prospects based on the use of fuzzy logic.

Keywords: ranking of subsurface areas, fuzzy logic, assessment of prospects, integral assessment.