

Вестник Самарского государственного экономического университета. 2025. № 3 (245). С. 101–109.
Vestnik of Samara State University of Economics. 2025. No. 3 (245). Pp. 101–109.

Научная статья
УДК 330.15:510.6

Методические аспекты проведения экономической оценки прогнозных ресурсов на основе нечеткой логики

Валерий Сергеевич Дадыкин¹, Ольга Викторовна Дадыкина²,
Вячеслав Валериевич Бураго³

^{1,2,3} Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

¹ Dadykin88@bk.ru

² Atamanova_281287@mail.ru

³ vvbur@yandex.ru

Аннотация. Оценка текущего состояния и прогноз использования минерально-сырьевых ресурсов выступают одними из базовых элементов планирования в сфере недропользования. При этом если выполнение оценки состояния минерально-сырьевых ресурсов является в целом хорошо изученной задачей, то при работе с оцениванием прогнозных ресурсов необходимо подключение экспертов. Особенность использования экспертных оценок состоит в достаточно высоком уровне их дифференциации в отдельных случаях. Соответственно, возникает необходимость, с одной стороны, в создании информационной системы, которая могла бы аккумулировать оценки и вырабатывать общие рекомендации на основе экспертных мнений, с другой – в разработке методики, позволяющей аккумулировать оценки экспертов на основании общих критериев. Стоит отметить, что для решения подобных задач уже достаточно давно используется математический аппарат нечеткой логики. В то же время следует подчеркнуть, что применительно к геологической предметной области и в особенности для оценки экспертным способом состояния прогнозных ресурсов применение нечеткой логики остается недостаточно изученным. В настоящей работе предпринята попытка построить методическую цепочку от формирования онтологической модели системы экономической оценки прогнозных ресурсов до аккумулирования оценок в нечеткие множества с выводом консолидированного результата. Исследование выполняется на примере прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых, в том числе общераспространенных на территории Брянской области.

Ключевые слова: экономическая оценка прогнозных ресурсов, недропользование, онтологическая модель данных, оценка экономической эффективности

Основные положения:

- ♦ в основе применения методов нечеткой логики к экономической оценке прогнозных ресурсов лежит онтологическая модель;
- ♦ онтологическая модель экономической оценки прогнозных ресурсов содержит взаимосвязи семантики поисков и разведки прогнозных ресурсов;
- ♦ математический аппарат нечеткой логики может быть применен для проведения консолидированной экспертной оценки с выводом общего результата, что подтверждается схождением выполненного прогноза по ретроспективным данным с результатами проведенных впоследствии геолого-разведочных работ.

Для цитирования: Дадыкин В.С., Дадыкина О.В., Бураго В.В. Методические аспекты проведения экономической оценки прогнозных ресурсов на основе нечеткой логики // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2025. № 3 (245). С. 101–109.

© Дадыкин В.С., Дадыкина О.В., Бураго В.В., 2025

Methodological aspects of conducting an economic assessment of forecast resources based on fuzzy logic

Valery S. Dadykin¹, Olga V. Dadykina², Vyacheslav V. Burago³

^{1,2,3} Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

¹ Dadykin88@bk.ru

² Atamanova_281287@mail.ru

³ vbur@yandex.ru

Abstract. The assessment of the current state and forecast of the use of mineral resources are among the basic elements of planning in the field of subsoil use. At the same time, if the assessment of the state of mineral resources is generally a well-studied task, then when working with the assessment of forecast resources, it is necessary to involve experts. The peculiarity of using expert assessments is a fairly high level of their differentiation in individual cases. Accordingly, there is a need, on the one hand, to create an information system that could accumulate assessments and develop general recommendations based on expert opinions, and on the other hand, to develop a methodology that allows accumulating expert assessments based on general criteria. It is worth noting that the mathematical apparatus of fuzzy logic has been used for a long time to solve such problems. At the same time, it should be emphasized that in relation to the geological subject area and in particular for the expert assessment of the state of forecast resources, the use of fuzzy logic remains insufficiently studied. In this paper, an attempt is made to build a methodological chain from the formation of an ontological model of the system of economic assessment of forecast resources to the accumulation of estimates in fuzzy sets with the output of a consolidated result. The study is carried out on the example of forecast resources of solid minerals, including those common in the Bryansk region.

Keywords: economic assessment of forecast resources, subsurface use, ontological data model, economic efficiency assessment

Highlights:

- ◆ the application of fuzzy logic methods to the economic assessment of forecast resources is based on an ontological model;
- ◆ the ontological model of the economic assessment of forecast resources contains the interrelations of the semantics of prospecting and exploration of forecast resources;
- ◆ the mathematical apparatus of fuzzy logic can be used to conduct a consolidated expert assessment with the conclusion of a general result, which is confirmed by the convergence of the forecast performed based on retrospective data with the results of subsequent geological exploration work.

For citation: Dadykin V.S., Dadykina O.V., Burago V.V. Methodological aspects of conducting an economic assessment of forecast resources based on fuzzy logic // Vestnik of Samara State University of Economics. 2025. No. 3 (245). Pp. 101–109. (In Russ.).

Введение

Разработка направлений рационального использования минерально-сырьевых ресурсов как один из лейтмотивов рационального природопользования, комплексного освоения недр и территориального планирования требует наличия актуальных и непротиворечивых данных как о текущем состоянии минерально-сырьевых ресурсов, так и прогноза [1]. Недропользование является одной из сфер деятель-

ности, в которой традиционно роль эксперта и экспертных знаний остается преобладающей. Связано это прежде всего с вероятностным характером проведения работ. В ситуации же с прогнозными ресурсами эта вероятностная оценка еще более возрастает [2; 3].

В то же время с учетом ограниченности возможности применения экспертных мнений в отдельных районах, связанной с отсутствием экспертов или недостаточностью знаний у них

специфики конкретной территории, возникает необходимость в разработке информационной системы, которая могла бы в автоматическом или полуавтоматическом режиме обучаться и в дальнейшем давать не менее точную оценку, чем это сделал бы сам эксперт [4; 5].

Методы

Предварительно оцененные запасы и прогнозные ресурсы приводятся к запасам категории A+B+C₁ с применением коэффициентов, учитывающих вероятность их подтверждения, представленных в таблице [6].

Отметим, что использование данной таблицы на практике значительно осложняется тем, что существует достаточно существенная дифференциация между значениями коэффициентов. Так, по категории P₃ она составляет 85%. В расчетах это может привести либо к необоснованному завышению объемов, либо наоборот к значительному снижению. Соответственно, необходимо разработать такую онтологическую модель, которая позволяла бы аккумулировать имеющиеся данные и не допускать таких значительных расхождений в оценках. При этом стоит отметить, что анализ прогнозных ресурсов должен быть тесно взаимосвязан с данными по состоянию и движению запасов по данному виду сырья, так как даже на интуитивном уровне необходимо регулярно соблюдать правило: чем больше списывается запасов сырья, тем выше потребность в прогнозных ресурсах по данному виду и тем достовернее должна быть оценка прогнозных ресурсов. Соответственно, если на месторождениях погашается большой объем запасов A+B+C₁, необходимо готовить резервы в виде категории C₂, прогнозные ресурсы категории P₁, P₂, P₃ в порядке убывания достоверности.

Модель содержит информацию по следующим информационным блокам:

1. Показатели движения запасов и прогнозных ресурсов.
2. Показатели недропользования.
3. Финансирование геолого-разведочных работ.
4. Лицензирование недропользования.
5. Экономическая эффективность геолого-разведочных работ.
6. Основные показатели потенциала недр.
7. Специфические показатели потенциала недр.
8. Прогноз изменения ресурсов [7].

Далее проведем последовательную декомпозицию данных блоков по показателям.

Для блока 1 «Показатели движения запасов и прогнозных ресурсов»:

1. Наименование участка недр.
2. Наименование вида сырья.
3. Начальные запасы.
4. Объем добычи нарастающим итогом

(рис. 1).

Декомпозиция блока 2 «Показатели недропользования» и блока 3 «Финансирование геолого-разведочных работ» представлена на рис. 2.

Для блока 4 «Лицензирование недропользования», блока 5 «Экономическая эффективность геолого-разведочных работ» и блока 6 «Основные показатели потенциала недр» фрагмент декомпозиции онтологической модели представлен на рис. 3.

Для блока 7 «Специфические показатели потенциала недр»:

1. Удельная ценность недр на 1 км² площади.
2. Удельная ценность недр на 1 человека населения.
3. Удельная ценность недр административного района на 1 км² площади.
4. Удельная ценность недр административного района на 1 человека населения.

Коэффициенты перевода прогнозных ресурсов к запасам промышленных категорий

| Прогнозные ресурсы | Коэффициенты перевода к C ₂ | | |
|--------------------|--|---------|--------------|
| | 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 |

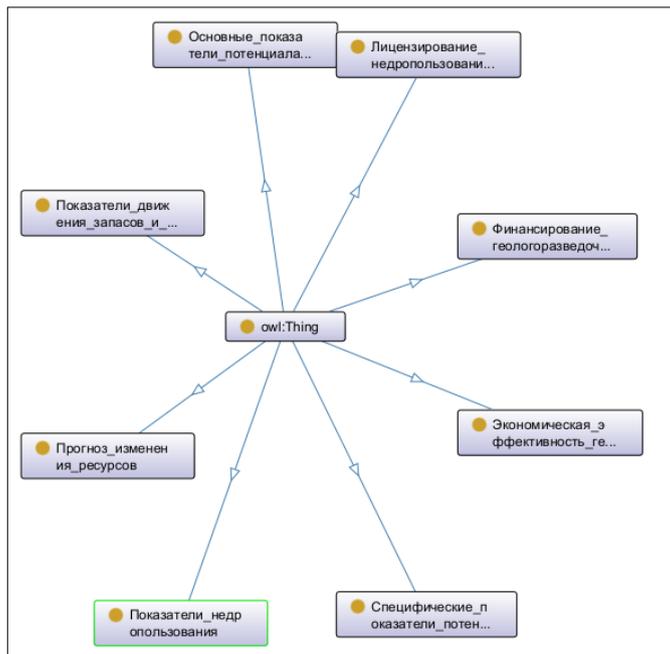


Рис. 1. Декомпозиция онтологического графа

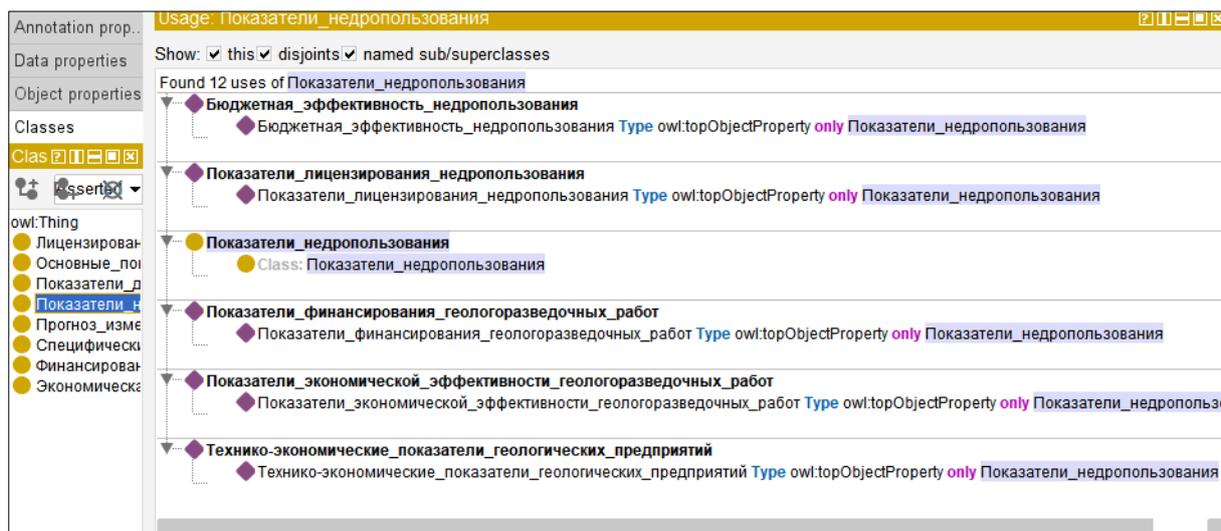


Рис. 2. Декомпозиция блоков 2 и 3

5. Удельная ценность недр на 1 км² площади по общераспространенным полезным ископаемым (далее – ПИ).

6. Удельная ценность недр на 1 человека населения по общераспространенным ПИ.

7. Удельная ценность недр административного района на 1 км² площади по общераспространенным ПИ.

8. Удельная ценность недр административного района на 1 человека населения по общераспространенным ПИ.

Для блока 8 «Прогноз изменения ресурсов»:

1. Валовый объем прогнозных ресурсов категорий P₁+P₂+P₃ (кроме общераспространенных).

2. Валовый объем прогнозных ресурсов категории P₁ по общераспространенным ПИ.

Результаты

Результаты группировки показателей по блокам необходимо перенести в онтологическую модель (рис. 4).

На следующем этапе необходимо указать показатели для каждого из блоков онтологиче-

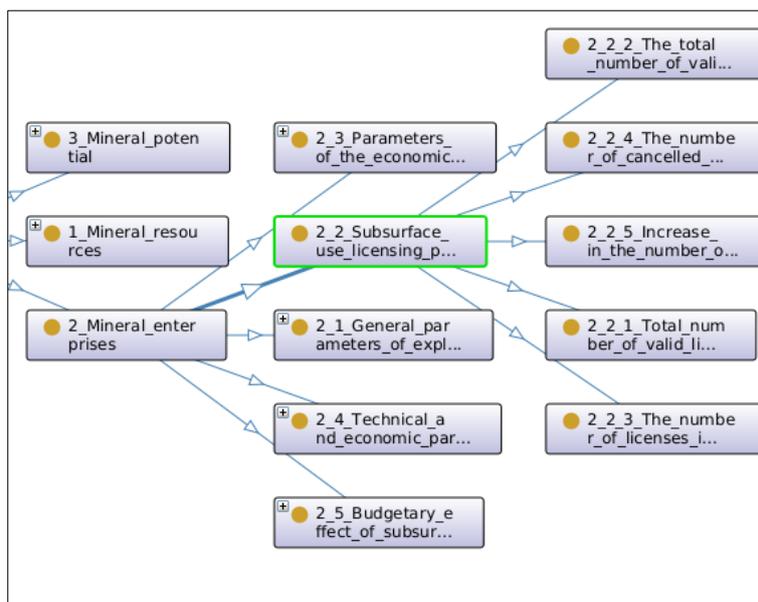


Рис. 3. Декомпозиция онтологического графа по блокам 4, 5, 6

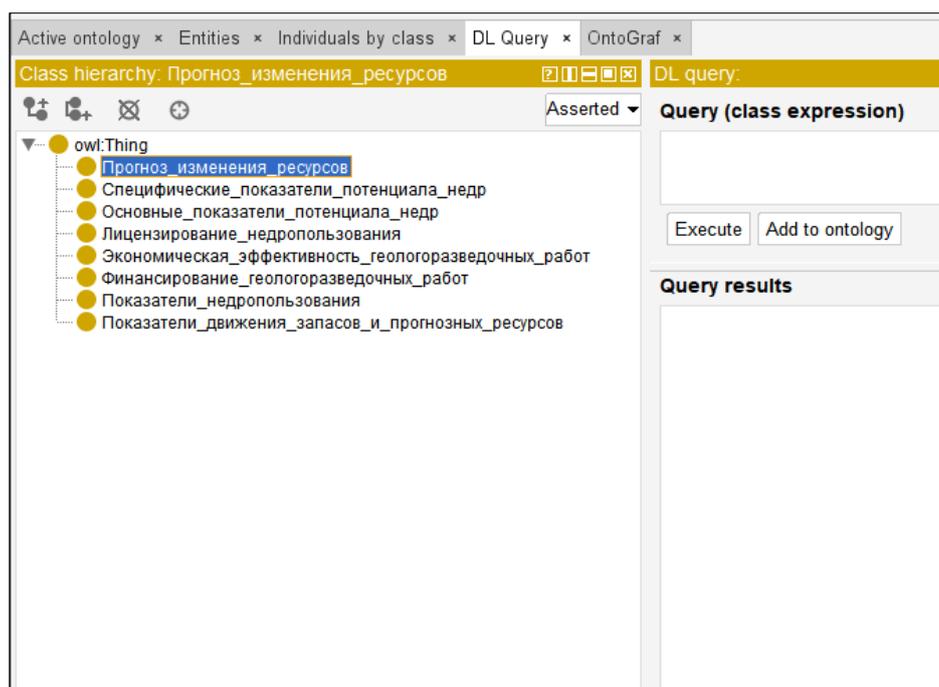


Рис. 4. Структура блоков в онтологической модели

ской модели, всего по 49 критериям оценки (рис. 5).

Затем по каждому участку прогнозных ресурсов, где требуется провести оценку, необходимо опросить экспертов, и результаты экспертной оценки загрузить в онтологическую модель и систему, предназначенную для работы с нечеткой логикой.

Рассмотрим пример расчета для перевода прогнозных ресурсов категории P_2 к условным (геологическим) запасам. В качестве системы для обработки результатов экспертной оценки предлагается использовать программный комплекс MathLab. В рамках проведения расчета необходимо использовать следующие параметры:

1. На входе системы перевода прогнозных ресурсов в условные (геологические) запасы подается 5 входных функций принадлежности.

2. Входные функции принадлежности имеют гауссово распределение с расчетными параметрами [10.25 20].

3. Экспертная оценка происходит методом Мамдани [1].

4. В расчет загружено 81 правило всех возможных сочетаний экспертных оценок.

5. Выходная функция имеет гауссово распределение.

6. Расчетные параметры выходной функции [6.5 12.5].

Исходная модель системы с учетом выполненных параметров показана на рис. 6.

Результаты дефазификации экспертной оценки методом Мамдани показывают, что с учетом мнений 5 экспертов по переводу прогнозных ресурсов к условным запасам коэффициент перевода составляет 0,295 (рис. 7).

Сравнение результатов проведенных на участках недр по твердым полезным ископаемым на территории Брянской области геолого-

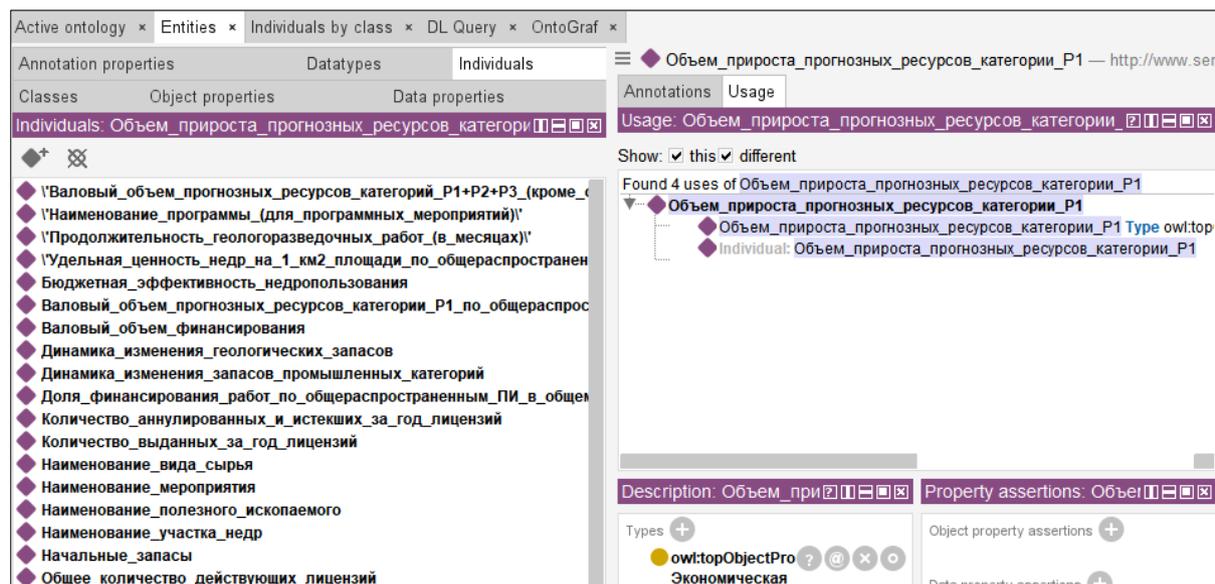


Рис. 5. Показатели по блокам онтологической модели (фрагмент)

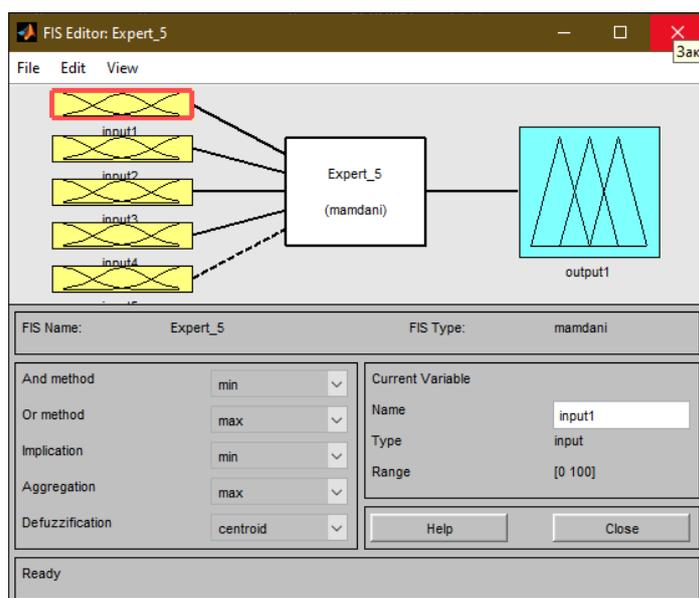


Рис. 6. Настройка алгоритма для расчета

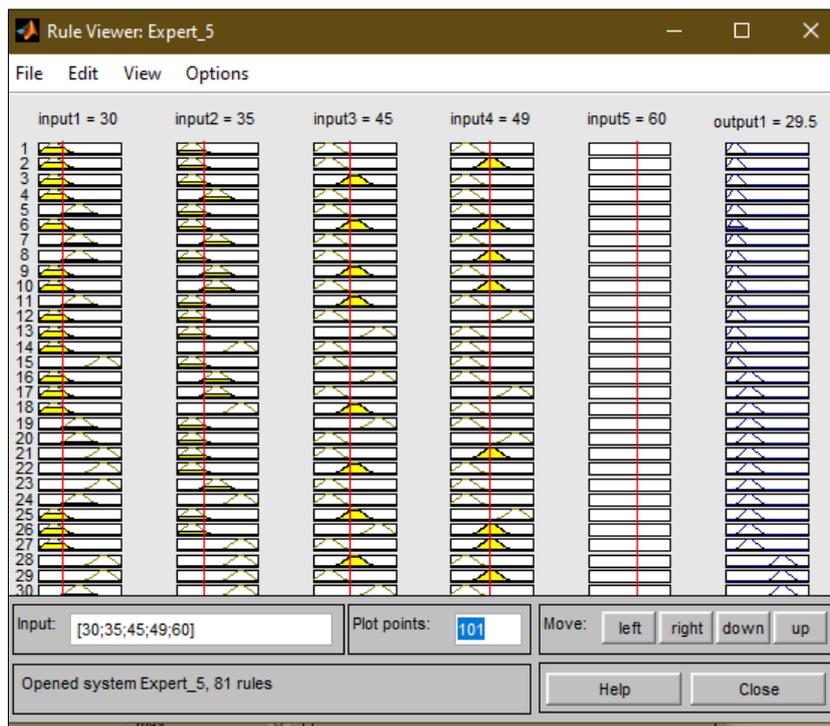


Рис. 7. Результаты дефазификации

разведочным работам позволяет сделать вывод о достаточно высокой достоверности такого метода оценки (сходимость результатов – более 90%). Таким образом, по отдельным категориям твердых полезных ископаемых при расчетных параметрах, соответствующих вышерассмотренному примеру, с учетом выставленных экспертных оценок коэффициент перевода прогнозных ресурсов категории P_2 может использоваться в расчетах в процессе осуществления экономической оценки прогнозных ресурсов.

Обсуждение

Стоит отметить, что в настоящее время наряду с оценкой, получаемой путем применения теории нечетких множеств и метода дефазификации, применяются и другие подходы [2].

Один из возможных методов оценки основан на применении нейронных сетей. Суть данного метода состоит в обучении нейронной сети методам обратного распространения ошибки на достаточно большом количестве обучающей выборки, составляющей в среднем порядка 20–40 тыс. примеров. К сожалению, в большинстве случаев такой объем обучающей выборки недоступен применительно к

минерально-сырьевым объектам со схожим геологическим строением, морфологией и составом. Соответственно, применение данного метода в отдельных случаях может быть весьма затруднительно.

Еще один возможный подход основан на применении так называемых нейро-нечетких систем. Суть этого подхода состоит в сочетании преимуществ теории нечетких множеств и нейросетевого программирования. Данный подход позволяет использовать преимущества нейронных сетей на относительно небольших объемах выборки.

Заключение

Таким образом, в качестве основных выводов, полученных в данной работе, следует отметить следующие:

- ♦ в основе применения методов нечеткой логики к экономической оценке прогнозных ресурсов лежит онтологическая модель;
- ♦ онтологическая модель экономической оценки прогнозных ресурсов содержит взаимосвязи семантики поисков и разведки прогнозных ресурсов;
- ♦ математический аппарат нечеткой логики может быть применен для проведения

консолидированной экспертной оценки с выводом общего результата, что подтверждается схождением выполненного прогноза по ретроспективным данным с результатами проведенных впоследствии геолого-разведочных работ;

♦ наряду с применяемым в данной работе подходом, основанном на использовании тео-

рии нечетких множеств, возможно применение нейро-нечетких систем, сочетающих преимущества применения нейронных сетей и теории нечетких множеств применительно к объекту исследования в условиях отсутствия достаточно большого объема входных данных для обучения нейронной сети.

Список источников

1. The geocore ontology: a core ontology for general use in Geology / L. Garcia, M. Abel, M. Perrin, R. Alvarengarenata // Computers & Geosciences. (2019). Vol. 135. doi:10.1016/j.cageo.2019.104387.
2. Zhong J., Aydina A., Mcguinness D. Ontology of fractures // Journal of Structural Geology – J STRUCT GEOL. 2009. Vol. 31. Pp. 251–259. doi:10.1016/j.jsg.2009.01.008.
3. Дадыкин В.С. Анализ и оценка обеспеченности предприятий железной рудой на основе геоэкономического мониторинга // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2017. № 11 (157). С. 35–39.
4. Дадыкин В.С. Анализ, моделирование и прогноз оптимальных объемов запасов для устойчивого развития горнодобывающих предприятий // Недропользование XXI век. 2018. № 2 (71). С. 162–169.
5. Степина О.М., Дадыкин В.С. Применение ГИС-технологий в управлении промышленным предприятием // Инновационно-промышленный потенциал развития экономики регионов : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Брянск, 31 марта 2017 г. Брянск, 2017. С. 285–290.
6. Дадыкин В.С. Аддитивная модель оценки минерально-сырьевого потенциала // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2018. № 2. С. 40–42.
7. Guarino N., Welty Ch. Evaluating ontological decisions with ontoclean // Communications of the ACM. 2002. Vol. 45. Pp. 61–65.

References

1. The geocore ontology: a core ontology for general use in Geology / L. Garcia, M. Abel, M. Perrin, R. Alvarengarenata // Computers & Geosciences. (2019). Vol. 135. 10.1016/j.cageo.2019.104387.
2. Zhong J., Aydina A., Mcguinness D. Ontology of fractures // Journal of Structural Geology – J STRUCT GEOL. 2009. Vol. 31. Pp. 251–259. doi:10.1016/j.jsg.2009.01.008.
3. Dadykin V.S. Analysis and assessment of iron ore supply to enterprises based on economic monitoring // Vestnik of Samara State University of Economics. 2017. No. 11 (157). Pp. 35–39.
4. Dadykin V.S. Analysis, modeling and forecast of optimal reserves for the sustainable development of mining enterprises // Subsurface use of the XXI century. 2018. No. 2 (71). Pp. 162–169.
5. Stepina O.M., Dadykin V.S. Application of GIS technologies in industrial enterprise management // Innovative and industrial potential of regional economic development : proceedings of the IV International scientific and practical conference, Bryansk, March 31, 2017. Bryansk, 2017. Pp. 285–290.
6. Dadykin V.S. An additive model for assessing the mineral resource potential // Mineral resources of Russia. Economics and Management. 2018. No. 2. Pp. 40–42.
7. Guarino N., Welty Ch. Evaluating ontological decisions with ontoclean // Communications of the ACM. 2002. Vol. 45. Pp. 61–65.

Информация об авторах

В.С. Дадыкин – доктор экономических наук, доцент, декан факультета отраслевой и цифровой экономики, профессор кафедры «Цифровая экономика» Брянского государственного технического университета;

О.В. Дадыкина – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры «Цифровая экономика» Брянского государственного технического университета;

В.В. Бураго – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры «Цифровая экономика» Брянского государственного технического университета.

Information about the authors

V.S. *Dadykin* – Doctor of Economics, Associate Professor, Dean of the Faculty of Industrial and Digital Economics, Professor of the Department of Digital Economics of the Bryansk State Technical University;

O.V. *Dadykina* – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Digital Economics of the Bryansk State Technical University;

V.V. *Burago* – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Digital Economics of the Bryansk State Technical University.

Статья поступила в редакцию 10.10.2024; одобрена после рецензирования 11.11.2024; принята к публикации 10.03.2025.

The article was submitted 10.10.2024; approved after reviewing 11.11.2024; accepted for publication 10.03.2025.