

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЭКОНОМИКИ

УДК 330.322.54:553.04:004

DOI: 10.26456/2219-1453/2025.4.131–139

Оценка инвестиционного потенциала минерально-сырьевых объектов посредством нечеткой логики и машинного обучения

В.С. Дадыкин¹, Н.В. Глушак²

¹ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск

²ФГАОУ ВО «Российский государственный гуманитарный университет», г. Москва

В статье рассматривается методология оценки инвестиционного потенциала минерально-сырьевых объектов с применением современных методов искусственного интеллекта. Предложен комплексный подход, основанный на сочетании нечеткой логики и алгоритмов машинного обучения для повышения точности прогнозирования инвестиционной привлекательности месторождений полезных ископаемых. Целью исследования является разработка усовершенствованной методики оценки, учитывающей многофакторность и неопределенность при анализе минерально-сырьевых объектов. В работе проведен анализ существующих подходов к оценке инвестиционного потенциала, выявлены их ограничения и предложены пути их преодоления. Методологическая база исследования включает теорию нечетких множеств, методы машинного обучения и статистического анализа. Разработанная модель позволяет обрабатывать как количественные, так и качественные показатели, характеризующие минерально-сырьевой объект, включая геологические, экономические, экологические и социальные факторы. Практическая значимость работы заключается в создании инструмента, позволяющего инвесторам и добывающим компаниям принимать более обоснованные решения при выборе объектов для инвестирования. Предложенный подход обеспечивает более точную оценку рисков и потенциала месторождений в условиях неопределенности рыночной конъюнктуры. Результаты исследования демонстрируют эффективность предложенной методологии по сравнению с традиционными методами оценки, что подтверждается проведенными экспериментальными расчетами на реальных данных минерально-сырьевых объектов.

Ключевые слова: инвестиционный потенциал, минерально-сырьевые объекты, нечеткая логика, машинное обучение, оценка месторождений, искусственный интеллект.

Введение

В настоящее время в условиях развития минерально-сырьевой базы особо актуальным становится вопрос проработки эффективных

методов оценки инвестиционного потенциала месторождений. Инвестиционная привлекательность объектов минерально-сырьевого комплекса зависит от группы факторов, что требует комплексного подхода к оценке. Инвестиционный потенциал минерально-сырьевых объектов оказывает влияние на возможность привлечения крупномасштабных инвестиций, влияет на социально-экономическое развитие регионов, а также возможность создания новых центров экономического роста и на обеспечение национальной безопасности.

Современные вызовы в структуре инвестиционного развития формулируют необходимость проведения структурной трансформации минерально-сырьевого комплекса, определяют потребность в интенсификации производства, определяют важность внедрения ресурсосберегающих технологий, а также сложность проведения оценки влияния инвестиций на региональное развитие.

Основная часть

К оценке потенциала минерально-сырьевых объектов в настоящее время сложилось несколько направлений оценки. Классические подходы предполагают применение метода чистой приведенной стоимости, метода внутренней нормы доходности, анализа рисков инвестиционных проектов и анализ оценки окупаемости инвестиций (табл. 1).

Таблица 1
Подходы к оценке инвестиционного потенциала [1, 3, 5, 7, 10]

Подход	Преимущества	Недостатки	Область применения
Доходный подход (NPV)	Учитывает временную стоимость денег, позволяет сравнивать проекты	Чувствителен к изменениям ставки дисконтирования	Оценка месторождений с низкой неопределенностью, сравнение территорий
Когнитивное моделирование	Учитывает множество факторов, подходит для высокой неопределенности	Требует экспертных знаний и сложных моделей	Оценка месторождений с высокой неопределенностью
Сценарный анализ	Учитывает риски и различные сценарии развития событий	Субъективизм экспертных суждений	Проекты с высокой степенью неопределенности, управление рисками
Методы дисконтирования	Комплексная оценка эффективности, учёт временных факторов	Сложность расчёта, зависимость от точности прогнозов	Все стадии проекта, включая подготовку и ликвидацию

Нами предлагается использовать следующую дефиницию для понятия «инвестиционный потенциал месторождения»: совокупность физико-химических свойств полезных ископаемых, сосредоточенный в пределах месторождения, выраженных в стоимостной оценке его минеральных ресурсов, скорректированная особенностями разработки ресурсов с учетом стоимости подготовки к разработке месторождения и инфраструктурной обеспеченности района его расположения.

Отметим, что инвестиционный потенциал месторождения также представляет собой интегральный показатель, который включает значительное количество параметров, оказывающих факторное влияние на него. Для построения архитектуры инвестиционного потенциала месторождения по этой причине не представляется возможным использовать традиционные подходы, в частности, реляционные подходы, применяемый в теории баз данных с их бинарными связями.

В подобной ситуации, когда для отображения взаимосвязей между сущностями используется сложная система взаимозависимостей принято использовать онтологический подход. Его особенностью является возможность использования более гибкой архитектуры, позволяющей учитывать связи между элементами на уровнях групп показателей.

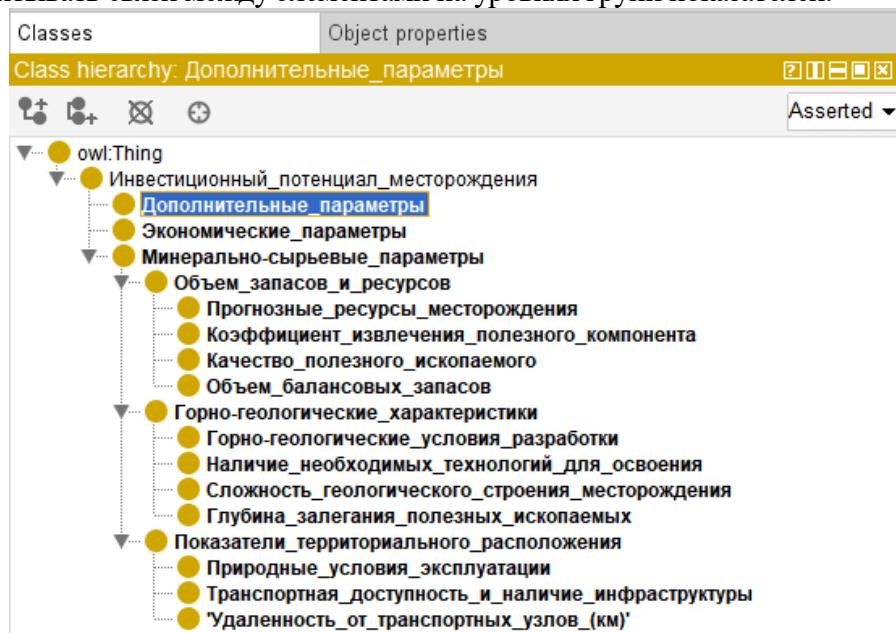


Рис. 1. Состав онтологической модели блока «Минерально-сырьевые параметры». Источник: составлено автором в программе Protégé

В качестве исходных данных для построения онтологической модели взята информация из геологических отчетов по оценке минерально-сырьевого потенциала ЦФО [3, 4, 9]. В состав системы оценки инвестиционного потенциала месторождения нами предлагается учитывать следующие блоки показателей:

1. минерально-сырьевые параметры;
2. экономические параметры;
3. дополнительные параметры.

В составе блока минерально-сырьевых параметров можно выделить следующие группы показателей: показатели территориального расположения, горно-геологические характеристики, объем запасов и ресурсов.

Состав группы минерально-сырьевых параметров был смоделирован в программе-редакторе Protégé (рис. 1).

В составе блока экономических параметров можно отметить следующие группы показателей: финансовые показатели, факторы рынка, инфраструктурные показатели. Состав группы экономических параметров был смоделирован в программе-редакторе Protégé (рис. 2).

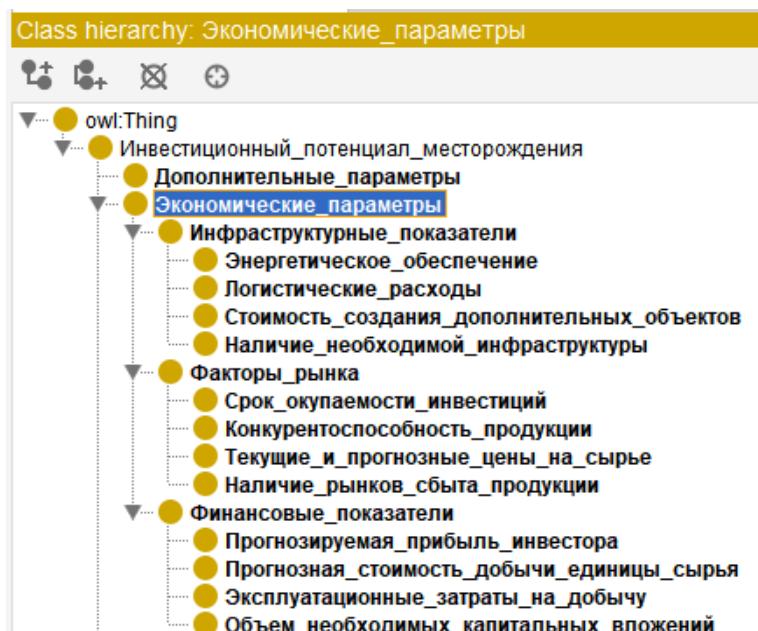


Рис. 2. Состав онтологической модели блока «Экономические параметры»

Источник: составлено автором в программе Protégé.

В составе блока дополнительных параметров можно отметить следующие группы показателей: экологические показатели, социальные аспекты, правовые условия. Состав группы дополнительных параметров был смоделирован в программе-редакторе Protégé (рис. 3).

Class hierarchy: owl:Thing

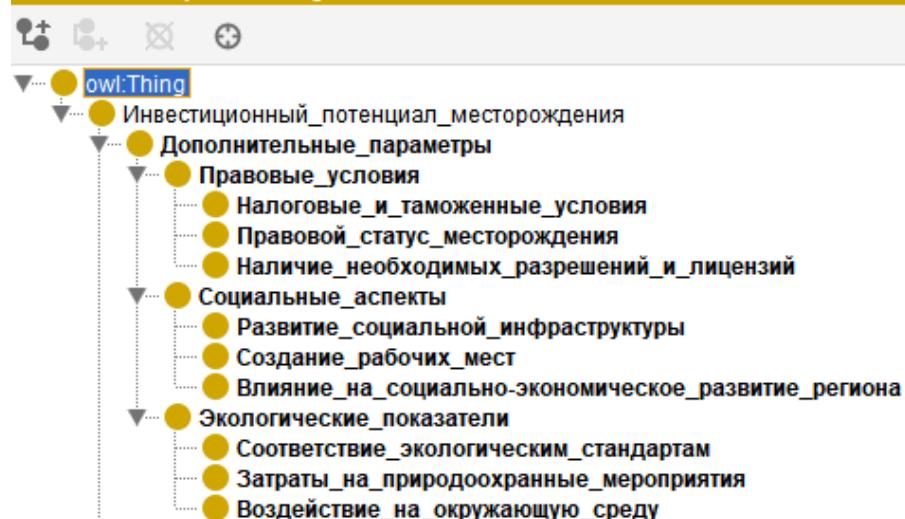


Рис. 3. Состав онтологической модели блока «Дополнительные параметры».

Источник: составлено автором в программе Protégé

Рассмотрим механизм применения нечеткой логики на примере показателя «Сложность геологического строения месторождения» [2]. Особенностью данного показателя является экспертный характер его оценки. Применительно к таким и аналогичным показателям необходимо применять нестандартные средства оценки, а именно, математический аппарат нечеткой логики [4].

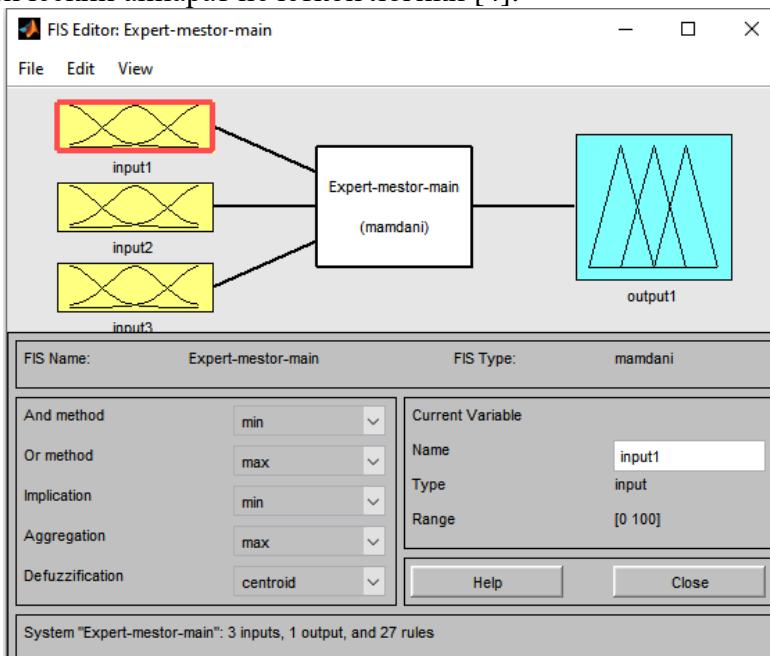


Рис. 4. Входные параметры для расчета функции принадлежности*

Источник: составлено автором в пакете нечеткого вывода Fuzzy Logic Toolbox

Для реализации процедуры оценки данного и аналогичных ему показателей, оцениваемых эксперты путем, потребуется ввести лингвистический параметр «Оценка по критерию» с возможными вариантами оценки «высокая», «средняя» и «низкая» [6]. В качестве диапазона значений по данному критерию устанавливается диапазон 0–100 баллов, в котором пропорционально распределяются границы диапазонов с высокими, средними и низкими оценками [9, 11]. В качестве функции принадлежности используем стандартную симметричную гауссовскую функцию (функция gaussmf в пакете нечеткого вывода Fuzzy Logic Toolbox). Для проведения расчетов требуется привлечение не менее 3-х экспертов в качестве входного параметра функции принадлежности (рис. 4).

В качестве выходных параметров выступает аналогичная функция принадлежности, но с большим числом параметров (рис. 5).

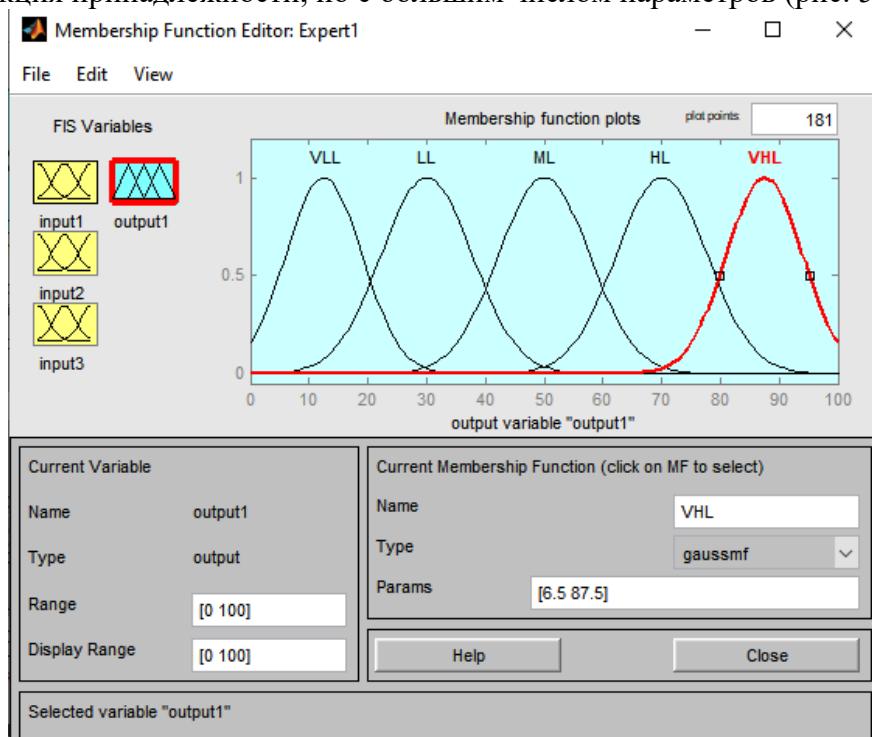


Рис. 5. Выходные параметры для расчета функции принадлежности*

Источник: составлено автором в пакете нечеткого вывода Fuzzy Logic Toolbox

Ввод параметров оценки показателя «Сложность геологического строения месторождения» и последующий расчет данного показателя в пакете нечеткого вывода Fuzzy Logic Toolbox позволил построить поверхность нечеткого вывода, которая соответствует оценкам экспертов (рис. 6). Таким образом, расчетные показатели становятся основой для проведения последующего машинного обучения на базе онтологической модели [8].

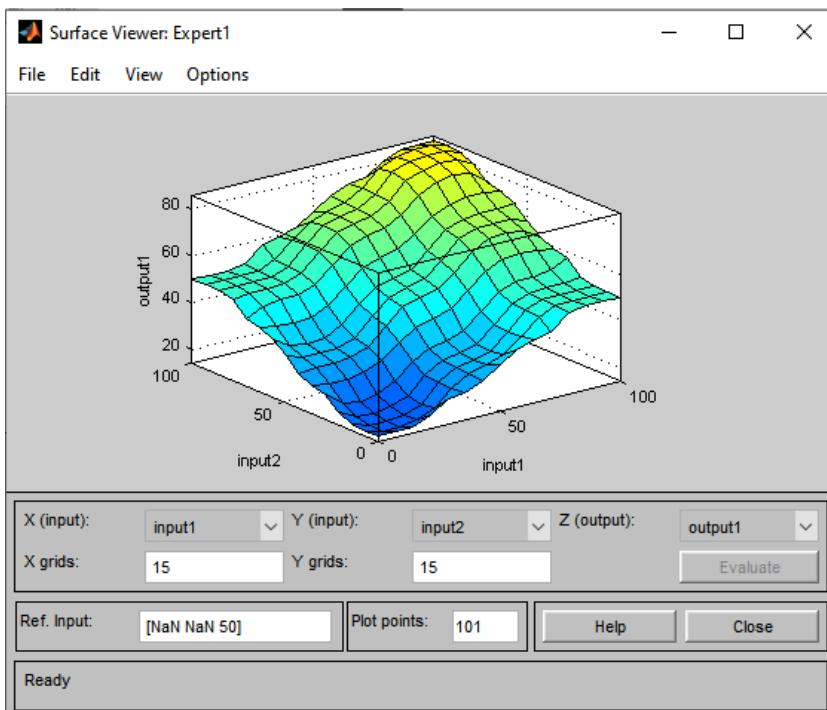


Рис. 6. Выходные параметры для расчета функции принадлежности*

Источник: составлено автором в пакете нечеткого вывода Fuzzy Logic Toolbox

В результате применения нечеткой логики появилась возможность учитывать в расчете нечисловые показатели, приставленные экспертными оценками по отдельным параметрам онтологической модели. Данные показатели возможно загружать в систему и учитывать при расчете интегрального показателя.

Представленный метод расчета показателей модели онтологической дает возможность получить ответы на ключевые вопросы в сфере недропользования, применительно к объекту исследования. С его помощью можно определить: потребность в увеличении разведанных запасов полезных ископаемых, потенциальный объем прироста этих запасов, локализацию прогнозных ресурсов, необходимые инвестиции в геологоразведочные работы; приоритетность освоения различных месторождений; перспективы наращивания производства товарной продукции; планируемые объемы выпуска продукции.

Список литературы

1. Бурцева И.Г. Методологические основы оценки минерально-сырьевого потенциала: международный и российский опыт // Известия Коми научного центра УрО РАН. Серия «Экономические науки». 2021. № 2(48). С. 61–70.
2. Гальцева Н.В. Стоимостная оценка минерально-сырьевых ресурсов Магаданской области: методология, инструментарий, результаты / Н.В.

- Гальцева, О.А. Шарыпова, И.С. Голубенко, И.Н. Григорьева // Горный журнал. 2016. № 3. С. 27–32.
3. Дадыкин, В. С. Методические аспекты проведения экономической оценки прогнозных ресурсов на основе нечеткой логики / В. С. Дадыкин, О. В. Дадыкина, В. В. Бураго // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2025. – № 3(245). – С. 101-109. – EDN VLDIPD.
 4. Дадыкин, В. С. Онтология расчета обеспеченности минерально-сырьевыми ресурсами по твердым полезным ископаемым / В. С. Дадыкин, О. В. Дадыкина, В. М. Тимошкин // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2025. – № 2(244). – С. 87-95. – EDN UARSRT.
 5. Никифорова В.В. Оценка потенциала минеральных ресурсов Западной Якутии и перспективы их вовлечения в хозяйственный оборот / В. В. Никифорова, Е. Р. Романова, Е. Э. Григорьева // Горный журнал. 2018. № 3. С. 41–46.
 6. Похilenko НП. Томтор как приоритетный инвестиционный проект обеспечения России собственным источником редкоземельных элементов / Н.П. Похilenko, В.А. Крюков, А.В. Толстов, Н.Ю. Самсонов // ЭКО. 2014. № 2. С. 22–35.
 7. Склярова ГФ. Системно-стадийный анализ ресурсного потенциала полезных ископаемых Дальневосточного региона РФ в количественно-качественной и стоимостной оценке // Недропользование XXI век. 2016. № 1. С. 128–135.
 8. Темнов А.В. Государственное стимулирование добычи редких металлов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2019. № 5. С. 35–46.
 9. Формирование прогноза обеспеченности минеральными ресурсами на базе онтологической модели и нечеткой логики / В. С. Дадыкин, О. В. Дадыкина, В. М. Тимошкин, Е. П. Николаенко // Недропользование XXI век. – 2025. – № 2-3(107). – С. 10-15. – EDN KCWPQJ.
 10. Шмат В.В. О методах экономической оценки региональных энергетических проектов ГЧП с учётом факторов неопределённости и риска // Энергетическая политика. 2015. № 3. С. 47–58.
 11. Яценко В.А. Оценка эффективности освоения редкоземельных ресурсов // Мир экономики и управления. 2020. Т. 20. № 4. С. 139–151.

Об авторах:

ДАДЫКИН Валерий Сергеевич – доктор экономических наук, доцент кафедры «Цифровая экономика», факультета отраслевой и цифровой экономики, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск (241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, дом 7), e-mail: m@vdadykin.ru, ORCID: 0000-0002-4325-5033, Spin-код: 4102-3282.

ГЛУШАК Николай Владимирович – доктор экономических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Российский государственный гуманитарный университет», экономический факультет, кафедра национальной и мировой экономики (125047, Российская Федерация, г. Москва, Миусская площадь, д. 6), e-mail: GNW3@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-4257-8356, Spin-код: 8815-9997

Assessment of the investment potential of mineral resources through fuzzy logic and machine learning

V.S. Dadykin¹, N.V. Glushak²

¹FGBOU VO “Bryansk State Technical University”, Bryansk

²FGAOU VO “Russian State University for the Humanities”, Moscow

The article discusses the methodology for assessing the investment potential of mineral resources using modern artificial intelligence methods. A comprehensive approach based on a combination of fuzzy logic and machine learning algorithms is proposed to improve the accuracy of forecasting the investment attractiveness of mineral deposits. The aim of the study is to develop an improved assessment methodology that takes into account multifactorial factors and uncertainty in the analysis of mineral resources. The paper analyzes existing approaches to assessing investment potential, identifies their limitations and suggests ways to overcome them. The methodological base of the research includes fuzzy set theory, machine learning and statistical analysis methods. The developed model allows processing both quantitative and qualitative indicators characterizing a mineral resource site, including geological, economic, environmental and social factors. The practical significance of the work lies in creating a tool that allows investors and mining companies to make more informed decisions when choosing investment sites. The proposed approach provides a more accurate assessment of the risks and potential of deposits in conditions of uncertain market conditions. The results of the study demonstrate the effectiveness of the proposed methodology in comparison with traditional assessment methods, which is confirmed by experimental calculations based on real data from mineral resources.

Keywords: *investment potential, mineral resources, fuzzy logic, machine learning, appraisal of deposits, artificial intelligence.*

About the authors:

DADYKIN Valerij Sergeevich – Doctor of Economics, Associate Professor, Department of Digital Economics, Faculty of Industrial and Digital Economics, FGBOU VO “Bryansk State Technical University”, Bryansk (241035, Bryansk region, Bryansk, boulevard 50 years of October, house 7), e-mail: m@vdadykin.ru, ORCID: 0000-0002-4325-5033, Spin code: 4102-3282.

GLUSHAK Nikolaj Vladimirovich – Doctor of Economics, Associate Professor, Department of National and World Economics, Faculty of Economics, FGAOU VO “Russian State University for the Humanities” (125047, Russian Federation, Moscow, Miusskaya Square, 6), e-mail: GNW3@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-4257-8356, Spin code: 8815-9997.

Статья поступила в редакцию 12.12.2025

Статья подписана в печать 15.12.2025