

УДК 553
JEL B23, C13, C18
DOI 10.25205/2542-0429-2021-21-1-59-71

Определение условий возникновения ресурсно-экономических активов с использованием алгоритмов порогового анализа

А. Д. Савельева, Д. В. Миляев, Д. И. Душенин

*Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН
Новосибирск, Россия*

*Сибирский научно-исследовательский институт геологии,
геофизики и минерального сырья
Новосибирск, Россия*

Аннотация

Рассматриваются условия, при которых геологическое изучение выявленных структур может привести к коммерческому промышленно значимому открытию месторождения. Для достижения поставленной цели выбран нестандартный подход – определение минимально рентабельных параметров освоения объектов с применением алгоритмов порогового анализа. Он позволяет определить, с одной стороны, ограничения рентабельного освоения объектов, существующие в настоящий момент, выделить критические параметры, обуславливающие нерентабельность проекта, с другой – сформировать условия, в которых освоение может стать рентабельным в будущем, тем самым формируя вектор, в котором должны приниматься решения на всех этапах реализации проекта. Применение подхода продемонстрировано на зонах Карбонатного рифа Сибирской платформы. Получены пороговые значения объема извлекаемых ресурсов, условия эффективно-го освоения рассматриваемых территорий и устойчивость проектов по их освоению. Обоснована комплексность, удобство и применимость данного подхода к задаче поиска условий формирования новых ресурсно-экономических активов.

Ключевые слова

нефть и газ, трудноизвлекаемые ресурсы, методика геолого-экономической оценки, пороговый анализ

Источник финансирования

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (РНФ), грант № 19-18-00170

Для цитирования

Савельева А. Д., Миляев Д. В., Душенин Д. И. Определение условий возникновения ресурсно-экономических активов с использованием алгоритмов порогового анализа // Мир экономики и управления. 2021. Т. 21, № 1. С. 59–71. DOI 10.25205/2542-0429-2021-21-1-59-71

Determining the Conditions for the Resource and Economic Assets Emergence Using Threshold Analysis Algorithms

A. D. Savelieva, D. V. Milyaev, D. I. Dushenin

*Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation*

*Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources
Novosibirsk, Russian Federation*

Abstract

The authors consider the conditions under which the geological study of the identified structures can lead to a commercial industrially significant discovery of the Deposit. To achieve this goal, a non-standard approach was chosen – determining the minimum cost-effective parameters of object development using threshold analysis algorithms. It allows you to determine, on the one hand, the limitations of cost – effective development of objects that exist at the moment, to identify critical parameters that determine the unprofitability of the project, on the other – to create conditions in which development can become cost-effective in the future, thereby forming a vector in which decisions should be made at all stages of the project implementation. Application of the approach is demonstrated on a group of promising local objects in Paleozoic deposits located in the South of Western Siberia. The conditions for effective development of the objects under consideration are obtained, the probability of their achievement is estimated, and a list of recommendations on the order of search drilling is formulated. The complexity, convenience and applicability of this approach to the problem of searching for conditions for the formation of new resource and economic assets are proved.

Keywords

oil and gas, hard-to-recover resources, geological-economic methodology evaluation, threshold analysis

Funding

The article is funded by the Russian Science Foundation (RSF) within the framework of the scientific project no. 19-18-00170

For citation

Savelieva A. D., Milyaev D. V., Dushenin D. I. Determining the Conditions for the Resource and Economic Assets Emergence Using Threshold Analysis Algorithms. *World of Economics and Management*, 2021, vol. 21, no. 1, p. 59–71. (in Russ.) DOI 10.25205/2542-0429-2021-21-1-59-71

Проблематика

Важной современной особенностью развития ресурсного сектора является быстрое изменение типов и источников сырья (как перспективных, так и уже вовлекаемых в хозяйственный оборот). В настоящее время, например, в нефтегазовом секторе к основным перспективным объектам относятся преимущественно трудноизвлекаемые ресурсы [1], малоизученные территории со слаборазвитой инфраструктурой, участки недр арктического шельфа. Эффективная разработка сложных и нетрадиционных ресурсных источников с необходимостью требует трансформации схем взаимодействия ресурсного сектора, с одной стороны, и отраслей и сфер экономики знаний, с другой. Такая трансформация предполагает наличие среды – институциональных и организационно-экономических условий, нацеленных на генерацию новых знаний, подходов, технологий и практик их применения.

На данный момент все более актуальной становится модель взаимодействия по линии «минерально-сырьевые ресурсы – новые знания – ресурсно-экономические активы (запасы)», акцентирующая важность получения знаний в процессе формирования активов и необходимость развития методов и подходов к эффективному накоплению базы знаний и их применению на практике [2; 3]. В процессе такого взаимодействия в разработку вовлекаются новые активы, ранее даже не относящиеся к категории потенциальных объектов.

Разработка подхода к обоснованию направлений развития на основе взаимодействия ресурсного сектора и отраслей и сфер экономики знаний требует решения комплекса задач, среди важнейших из них – создание методологии и инструментария для обоснования решений по выбору соответствующих направлений развития.

Методика

Авторами предлагается применение метода порогового анализа (поиск пороговых значений), который позволяет определить систему ограничений для рентабельного освоения новых активов и в то же время дать методические рекомендации для недропользователей, задать ориентиры, позволяющие на всех уровнях управления принимать эффективные решения (табл. 1).

Перечень показателей в табл. 1 представляет собой искомые варьируемые параметры порогового анализа, выбор оптимальной комбинации которых гарантирует рентабельность проекта.

Для решения данной задачи использовались статические и динамические методы оценки инвестиционных проектов, а также сравнительный, структурный и трендовый анализ финансовой эффективности [4–10]. Поиск оптимального сочетания «управляемых» параметров выполняется модификацией метода градиентного спуска. По нашему мнению, для определения критических (пороговых) значений ключевых параметров (дебитов, темпов отбора, глубин залегания, удалённости от нефтепроводов и др.) целесообразно использовать не аналитический подход, а задействовать вычислительные методы нелинейной алгебры по переменной сетке. Дальнейшая оценка вероятности выполнения критериев, обеспечивающих рентабельность освоения участков недр, позволит оценить риски инвестиционных вложений.

Поскольку предлагаемый автором подход представляет собой так называемую «обратную» задачу, её решение может быть получено посредством итерационного воспроизведения «прямой» задачи.

В первую очередь для этого требуется увязать в рамках единой модели прогноз производственных процессов: геологоразведочных работ, добычи углеводородов, транспортировки сырья, технологического обустройства промысла и инфраструктуры, повышения нефтеотдачи и др. Тем самым в расчёте фигурирует большое количество параметров со сложными взаимосвязями, поэтому для прикладных работ научным коллективом разработан специализированный программный комплекс.

Вторым этапом необходимо за разумное количество расчётов определить совокупность комбинаций исходных данных, при которых модель даёт результат, удовлетворяющий заданному условию.

Таблица 1

Области применения порогового анализа

Table 1

Applications of threshold analysis

Ориентиры для геологов и проектировщиков	Ориентиры для экономистов и сметчиков	Ориентиры для менеджмента
<i>Природные характеристики</i>	<i>Наблюдаемые параметры</i>	<i>Управляемые параметры</i>
Целевые горизонты. Минимальные площади и эффективные толщины потенциальных залежей углеводородов. Коэффициент заполнения ловушки. Минимально допустимые коллекторские свойства пород (значения пористости, проницаемости, нефтенасыщенности)	Цена реализации сырья. Налоги и льготы. Стоимости товаров и услуг (например, тариф на транспортировку сырья)	Допустимая удалённость района поисков от существующей нефтегазотранспортной инфраструктуры. Виды и объёмы геологоразведочных работ (например, допустимые глубины скважин, плотность сети проектных сейсмических профилей). Бюджет проекта. Допустимый уровень рисков

Поскольку модель фактически воспроизводит функцию в N -мерном пространстве, а накладываемое на неё условие, как правило, линейное, то геометрически решение представляет собой сечение многомерной поверхности плоскостью, а алгебраически сводится к решению обратной многопараметрической задачи нелинейной алгебры на множестве ограничений-неравенств.

Пусть N – это количество исходных параметров. Для каждого параметра задан допустимый диапазон значений, а также шаг разбиения этого диапазона. Пусть t_1, \dots, t_N – число точек разбиения по каждому из введенных параметров функции $F(P_1, \dots, P_N)$. Предположим, что параметры P_i расположены в порядке убывания степени их влияния на функцию F . Таким образом, процесс вычисления пороговых значений функции будет представлять собой итеративный процесс, выстроенный по принципу дерева. В вершине данного дерева будут расположены допустимые значения наиболее значимого параметра – P_1 , на втором уровне будут рассмотрены допустимые значения параметра P_2 при фиксации каждого допустимого значения параметра P_1 , на третьем уровне будут рассмотрены допустимые значения параметра P_3 при фиксированных значениях параметров P_1, P_2 и т. д. В основании будет рассмотрен параметр, который оказывает наименьшее влияние на значение функции F . Спускаясь от вершины к основанию, предполагается производить ограничение значений по каждому параметру

при фиксации допустимых значений вышестоящих параметров. В результате формируется множество веток дерева (рис. 1), которые обеспечивают выполнение заданного условия [11].

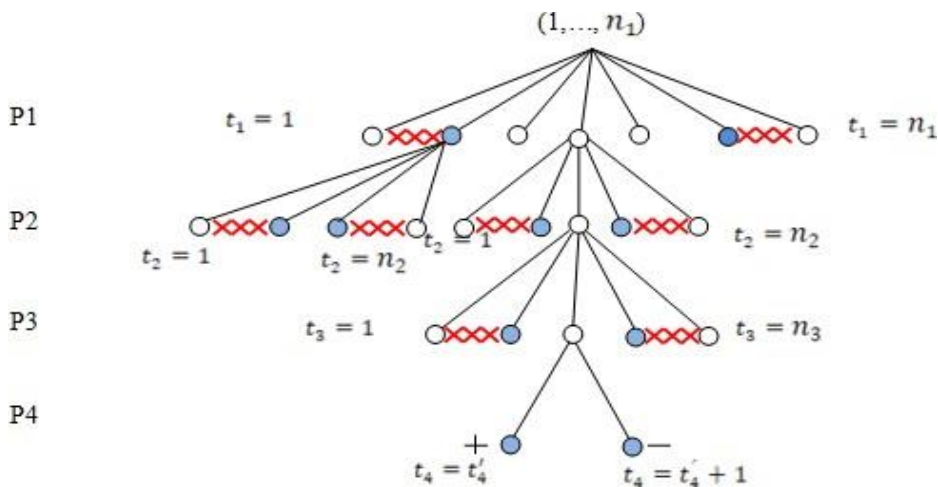


Рис. 1. Процесс нахождения пороговых значений

Fig. 1. The thresholds values finding process

Практическое решение

Решение поставленных задач было реализовано авторами на примере зон Карбонатного рифа и приграничных территорий.

Карбонатный риф расположен на территории юго-восточной части Сибирской платформы и пересекает семь нефтегазоносных областей: Сюгджерскую, Анабарскую, Западно-Вилуйскую, Вилуйскую, Северо-Алданскую и Алдано-Майскую (рису. 2). В целях исследования была изучена область непосредственного расположения рифа и прилегающие к ней территории.

Рассматриваемая территория, за исключением лицензионных участков, принадлежащих крупным недропользователям, была поделена на геологические зоны (рис. 3). В основу деления положена география распространения продуктивных горизонтов: контуры зон определялись исходя из преобладания одного горизонта (основного) над остальными (сопутствующими).

Для исследуемой территории был проведен поиск геолого-экономических ограничений (предельных значений) на извлекаемые объемы углеводородных ресурсов. В основу расчетов закладывались [12]:

- геологические характеристики продуктивных горизонтов (глубины залегания, эффективные толщины и промысловые характеристики с выбранных месторождений-аналогов);

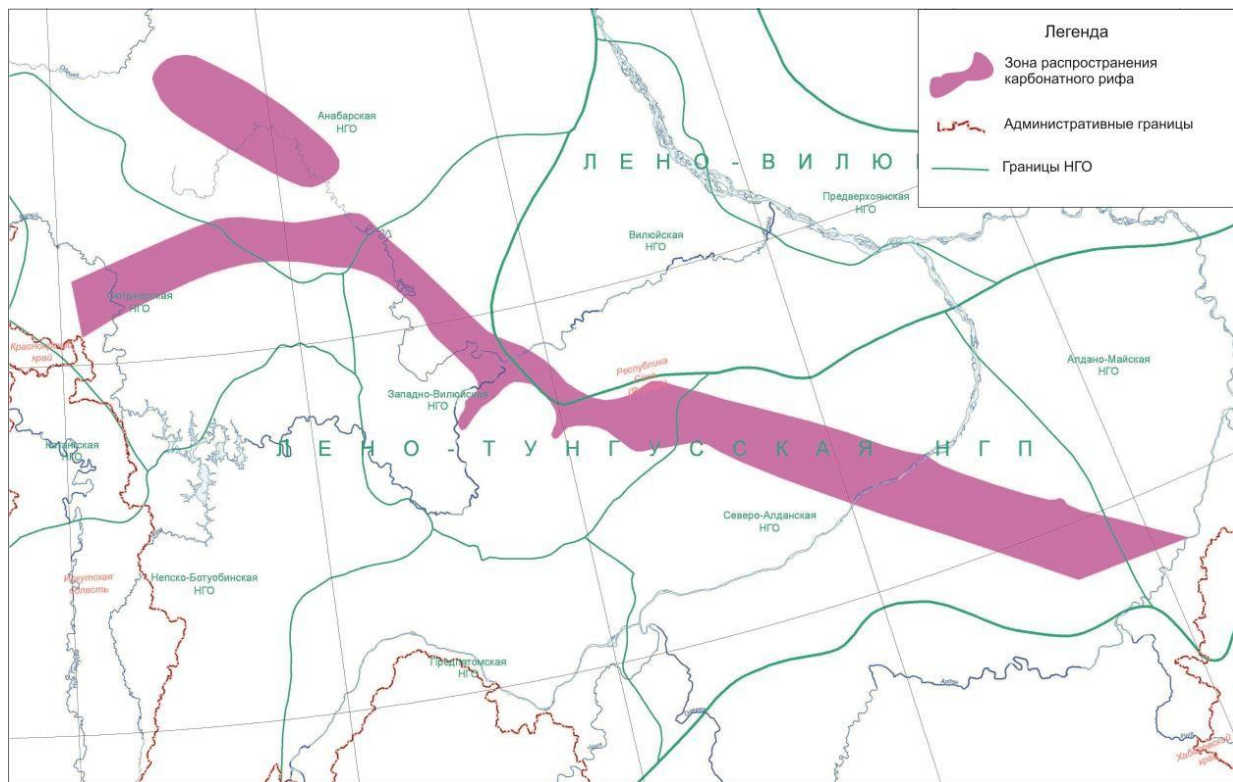


Рис. 2. Территория распространения Карбонатного рифа
Fig. 2. Carbonate reef distribution

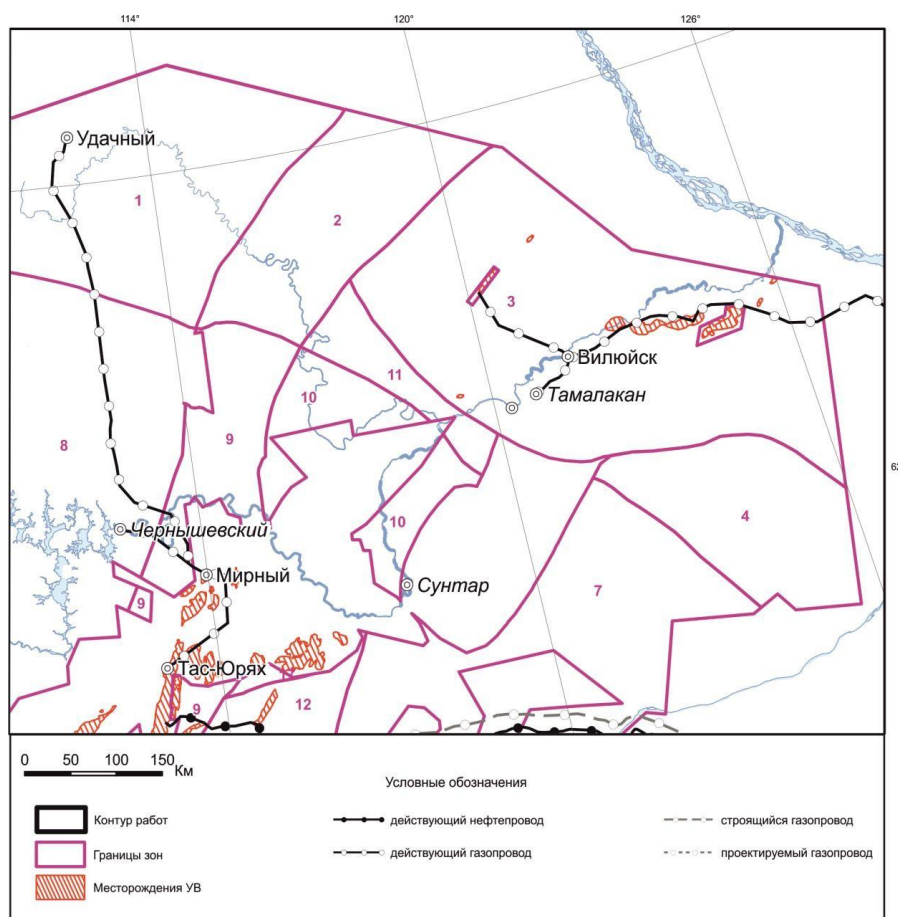


Рис. 3. Зонирование территории
Fig. 3. Territory zoning

- инфраструктурные особенности (расположение существующих нефте- или газопроводов и местоположение промышленных административных центров, до которых возможна доставка добытого сырья автотранспортом);
- стоимостные показатели промыслового обустройства, геологоразведочных и добычных работ в соответствии с технологическими схемами последних лет и отчетами недропользователей о проведенных геологоразведочных работах на территории Сибирской платформы;
- возможность получения налоговых льгот и применения особых налоговых режимов;
- ценовой сценарий, максимально приближенный к реальной конъюнктуре рынка: цена нефти – 45 \$/bbl, цена газа – 5 000 руб./тыс. м³.

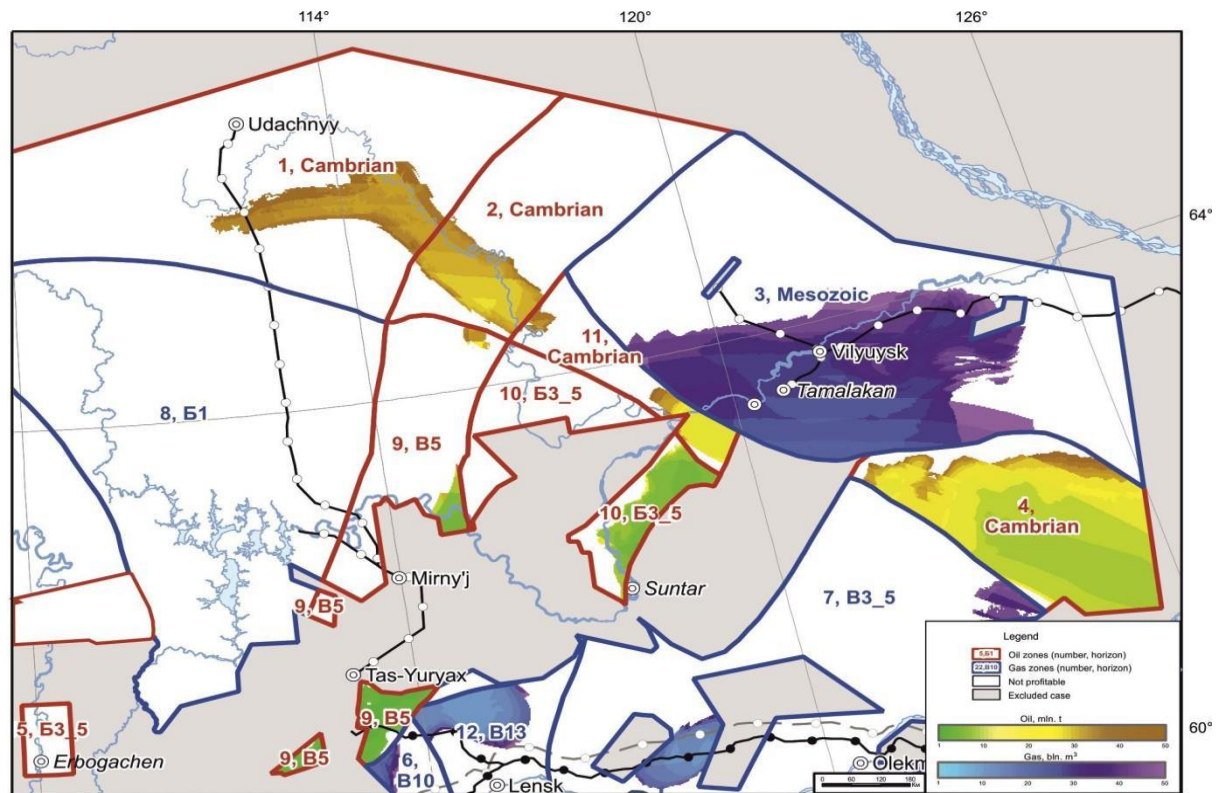


Рис. 2. Результаты поиска минимально рентабельного объема ресурсов
 Fig. 2. Minimum cost-effective amount of resources

Реализация поставленных задач проводилась по следующему алгоритму.

- Для каждой выделенной зоны оценены ее общие характеристики: изученность сейсморазведочными работами 2D, диапазоны глубин залегания и максимальные эффективные толщины продуктивных горизонтов, расстояния до существующих трубопроводов. Значения остальных (не варьируемых в расчетах) параметров были приняты фиксированными для каждой зоны на основе усреднения фактических данных по объектам-аналогам.

- Проведены сценарные расчёты, по результатам которых получены значения геолого-экономических ограничений на извлекаемые объемы углеводородных ресурсов. По результатам расчетов построены геолого-экономические карты, где для каждой точки выделенных зон отмечены пороговые (обеспечивающие рентабельность проекта) величины извлекаемых ресурсов поискового объекта (рис. 4).

В соответствии с исходными геологическими характеристиками для каждой зоны рассматриваемой территории далее авторами были выделены типовые объекты. Типовой объект (ТО) – это наиболее вероятный (целевой, ожидаемый) объект геологоразведочных работ, определяемый исходя из геологических предпосылок возможности открытия месторождения углеводородов в той или иной зоне. Для рассматриваемых зон типовыми принимались объекты с объемом запасов 20 млн т нефти или 20 млрд м³ газа (в зависимости от основного типа флюида).

На основании карт минимально рентабельных объемов запасов (см. рис. 4) и потенциального дохода, полученного в расчетах, можно сделать выводы об устойчивости проектов освоения ТО к изменению ключевых геологических и географических характеристик. Минимально допустимые требования к типовым объектам с объемом запасов представлены в табл. 2. Прочерками помечены ячейки зон, для которых типовой объект не рентабелен при всех значениях варьируемых характеристик в пределах рассмотренных диапазонов.

Таблица 2

Минимальные требования к рентабельным типовым объектам

Table 2

Minimum requirements for cost-effective standard objects

Зона	Требования к рентабельным типовым объектам		
	Глубина залегания основного продуктивного горизонта, м	Эффективная толщина основного продуктивного горизонта, м	Расстояние до трубопровода, км
1	–	–	–
2	–	–	–
3	< 3807	> 10	< 461
4	< 2202	> 11	< 297
5	< 2131	> 8	< 152
6	< 3806	> 7	< 75

Окончание табл. 2

Зона	Требования к рентабельным типовым объектам		
	Глубина залегания основного продуктивного горизонта, м	Эффективная толщина основного продуктивного горизонта, м	Расстояние до трубопровода, км
7	< 3106	> 6	< 212
8	–	–	–
9	< 3001	> 4	< 360
10	< 2562	> 6	< 284
11	< 1143	> 18	< 309
12	< 3833	> 8	< 74

Выводы

В ходе проведенного исследования была разработана методическая и алгоритмическая основа процесса поиска пороговых значений, обеспечивающих рентабельное освоение углеводородных объектов. Описанный авторами метод является комплексным и удобным инструментом поиска новых перспективных направлений и объектов геологического изучения и освоения. Он позволяет определить, с одной стороны, ограничения рентабельного освоения объектов, существующие в настоящий момент, выделить критические параметры, обуславливающие нерентабельность проекта, с другой – сформировать условия, в которых освоение может стать рентабельным в будущем, тем самым формируя вектор, в котором должны приниматься решения на всех этапах реализации проекта. На примере территорий приграничных зон Карбонатного рифа Сибирской платформы с применением данного подхода авторами были получены следующие результаты:

- определены геолого-экономические ограничения (предельные значения) на извлекаемые объемы углеводородных ресурсов выделенных зон (минимально рентабельные объемы запасов);
- получены границы устойчивости проектов освоения типовых объектов к изменению ключевых геологических и географических характеристик.

Разработанная методика была поддержана как научным сообществом, так и многими недропользователями – отечественными и зарубежными. Планируется дальнейшее освещение предлагаемых авторами идей на научно-исследовательских конференциях и посредством публикаций в научных журналах.

Список литературы

1. Пономарева И. А., Еремин Н. А. Геолого-экономическая методология комплексной оценки ресурсов и запасов месторождений нефти и газа в инвестиционных проектах // Нефтяное хозяйство. 2008. № 8. С. 22–24.

2. **Крюков В. А., Кирова Д. А.** О роли экономики знаний в процессе освоения новых источников углеводородов // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь*. 2018. № 3. С. 225–231.
3. **Миляев Д. В., Душенин Д. И., Киданова О. А.** Эффект накопления знаний при определении критериев рентабельности сырьевых проектов // *Мир экономики и управления*. 2018. Т. 18, № 1. С. 54–69.
4. **Мкртчян Г. М.** Методы оценки эффективности освоения природных ресурсов. Новосибирск: Наука, 1984.
5. **Герт А. А., Пороскун В. И., Немова О. Г., Вымятин А. А., Мельников П. Н., Супрунчик Н. А.** Совершенствование методики геолого-экономической оценки перспективных и прогнозных ресурсов углеводородного сырья // *Геология нефти и газа*. 2013. № 2. С. 69–79.
6. **Емельянова Н. М., Пороскун В. И.** Методы геолого-экономической оценки объектов поиска месторождений нефти и газа с учетом неопределенности и риска // *Недропользование. XXI век*. 2016. № 5. С. 190–201.
7. **Зайцев А. Ю.** Проблемы и особенности методики геолого-экономической и стоимостной оценки месторождений полезных ископаемых // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2016. № S21. С. 400–408.
8. **Ампилов Ю. П., Лапо А. В.** Анализ геолого-экономических показателей, применяемых при оценке эффективности разведки и освоения участков недр // *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. 2010. № 5. С. 29–34.
9. **Аркин В. И., Сластников А. Д., Аркина С. В.** Инвестирование в условиях неопределенности и задачи оптимальной остановки // *Обозрение прикладной и промышленной математики*. 2004. Т. 11, вып. 1. С. 3–33.
10. **Герт А. А.** Обоснование эффективности управленческих решений в нефтегазовом производстве. Новосибирск: СНИИГГиМС, 1999.
11. **Миляев Д. В.** Руководство пользователя программно-вычислительного комплекса GeoProf. Новосибирск, 2017. 104 с.
12. **Назаров В. И.** О совершенствовании методологии геолого-экономической оценки ресурсов нефти и газа // *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. 2013. № 3. DOI 10.17353/2070-5379/28_2013

References

1. **Ponomareva I. A., Eremin N. A.** Geological-economic methodology of a complex estimation of resources and reserves of oil and gas fields in investment projects. *Oil Industry*, 2008, no. 8, p. 22–24. (in Russ.)
2. **Kryukov V. A., Kirova D. A.** On role of knowledge economy in a process of the new hydrocarbons sources development. *Interexpo GEO-Siberia*, 2018, no. 1 (3), p. 225–231. (in Russ.)
3. **Milyaev D. V., Dushenin D. I., Kidanova O. A.** Knowledges build-up effect at determination of cost-effectiveness criteria of raw resources projects. *World of Economics and Management*, 2018, vol. 18, no. 1, p. 54–69. (in Russ.)
4. **Mkrtchyan G. M.** Methods of evaluating the effectiveness of natural resources development. Novosibirsk, Nauka, 1984. (in Russ.)

5. **Gert A. A., Poroskun V. I., Nemova O. G., Vymyatin A. A., Melnikov P. N., Suprunchik N. A.** Improving the methodology of geological and economic assessment of perspective and forecast resources of hydrocarbon raw materials. *Oil and Gas Geology*, 2013, no. 2, p. 69–79. (in Russ.)
6. **Emelyanova N. M., Poroskun V. I.** Methods of geological and economic assessment of objects of oil and gas field search taking into account uncertainty and risk. *Nedropolzovanie. XXI vek*, 2016, no. 5, p. 190–201. (in Russ.)
7. **Zaitsev A. Yu.** Problems and features of the methodology of geological-economic and cost estimation of mineral deposits. *Gorny information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, 2016, no. S21, p. 400–408. (in Russ.)
8. **Ampilov Yu. P., Lapo A. V.** Analysis of geological and economic indicators used in assessing the effectiveness of exploration and development of subsurface areas. *Mineral Resources of Russia. Economics and management*, 2010, no. 5, p. 29–34. (in Russ.)
9. **Arkin V. I., Slastnikov A. D., Arkina S. V.** Investing in uncertainty conditions and optimal stop problems. *Obozrenie prikladnoi i promyshlennoi matematiki [Review of Applied and Industrial Mathematics]*, 2004, vol. 11, iss. 1, p. 3–33. (in Russ.)
10. **Gert A. A.** Justification of the effectiveness of management decisions in the oil and gas business. Novosibirsk, SNIIGGiMS, 1999. (in Russ.)
11. **Milyaev D. V.** User's guide for specialized programming and computing suite GeoProfi. Novosibirsk, 2017, 104 p. (in Russ.)
12. **Nazarov V. I.** Improving of geological and economical methodology of oil and gas resources evaluation. *Petroleum Geology – Theoretical and Applied Studies*, 2013, no. 8 (3). (in Russ.) DOI 10.17353/2070-5379/28_2013

Материал поступил в редколлегию 28.10.2020

Принят к печати 11.12.2020

The article was submitted 28.10.2020

Accepted for publication 11.12.2020

Сведения об авторах

Савельева Анастасия Денисовна, соискатель степени кандидата наук, инженер 2 категории АО «СНИИГГиМС» (Новосибирск, Россия); инженер, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (Новосибирск, Россия)

savelieva@sniiggims.ru

ORCID 0000-0002-4648-2573

SPIN-code 4066-4280

Миляев Дмитрий Владимирович, кандидат экономических наук, начальник отдела геолого-экономического анализа АО «СНИИГГиМС» (Новосибирск,

Россия); научный сотрудник, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (Новосибирск, Россия)

mdv@sniiggims.ru

ORCID 0000-0002-4620-2164

SPIN-code 7645-5830

Scopus Author ID 57202535754

Душенин Дмитрий Игоревич, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией технико-экономической оценки проектов, АО «СНИИГГиМС» (Новосибирск, Россия); научный сотрудник, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (Новосибирск, Россия)

dushenin@sniiggims.ru

ORCID 0000-0001-8132-2471

SPIN-code 5250-4050

Scopus Author ID 55357608100

Information about the Authors

Anastasiya D. Savelieva, Doctoral Student, Engineer, SNIIGGIMS (Novosibirsk, Russian Federation); Engineer IEIE SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation)

savelieva@sniiggims.ru

ORCID 0000-0002-4648-2573

SPIN-code 4066-4280

Dmitriy V. Milyaev, Candidate of Sciences (Economics), Head of the Geological and Economic Analysis Department, SNIIGGIMS (Novosibirsk, Russian Federation); Researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation)

mdv@sniiggims.ru

ORCID 0000-0002-4620-2164

SPIN-code 7645-5830

Scopus Author ID 57202535754

Dmitriy I. Dushenin, Candidate of Sciences (Mathematics), Head of the Technical and Economic Assessment of Projects Laboratory, SNIIGGIMS (Novosibirsk, Russian Federation); Researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation)

dushenin@sniiggims.ru

ORCID 0000-0001-8132-2471

SPIN-code 5250-4050

Scopus Author ID 55357608100