

Научная статья / Original research article

УДК 550.8:553.98. 622.276

DOI:10.31660/0445-0108-2025-5-11-20

EDN: DLYETK



**Уточнение концептуальной модели и подходов к разработке залежей
углеводородов на основе фрактальных представлений о характере
их геологического строения**

С. Р. Бембель^{1*}, Е. С. Милей², М. В. Лешкова², М. А. Билута², М. Е. Савина¹

¹Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

²ОАО «НТЦ НИС Нафтагас», Нови Сад, Республика Сербия

*bembelsr@tyuiu.ru

Аннотация. Объект исследования — продуктивный горизонт миоценовых отложений одного из нефтегазовых месторождений Паннонского бассейна (Республика Сербия). С целью уточнения особенностей геологического строения и повышения эффективности ввода в разработку новых продуктивных участков и повышения нефтеотдачи уже разрабатываемых площадей месторождения выполнены детальный анализ и обобщение керновых данных, материалов сейсмических работ, опробования и динамики работы эксплуатационных скважин. На основе проведенных исследований детализированы геологические особенности территории месторождения, обновлена концептуальная модель, обоснованы дальнейшие способы разработки открытых залежей нефти и газа. Кроме того, перестроена геологическая модель, скорректировано размещение проектного фонда скважин и комплекс геолого-технических мероприятий по повышению нефтеотдачи, выполнен прогноз показателей разработки. Выявлены особенности геологического строения изучаемого месторождения, свидетельствующие о «мозаичности» распределения фильтрационно-емкостных свойств в пределах установленных залежей углеводородов. Локализованный характер распределения продуктивности и изменчивости промысловых параметров, влияющих на успешность открытия, эффективность вовлечения и разработку подобных залежей углеводородов подтверждает фрактальные свойства геологической среды. Сделан вывод о необходимости изучения и использования фрактальных свойств геологических объектов при геологоразведочных работах на нефть и газ.

Ключевые слова: геологическое строение, тектоника, седиментация, керн, сейсморазведка, залежь, продуктивность, скважина, модель, разработка

Для цитирования: Уточнение концептуальной модели и подходов к разработке залежей углеводородов на основе фрактальных представлений о характере их геологического строения / С. Р. Бембель, Е. С. Милей, М. В. Лешкова [и др.]. — DOI 10.31660/ 0445-0108-2025-5-11-20 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. — 2025. — № 5. — С. 11–20. — EDN: DLYETK

**Refinement of the conceptual model and algorithms to the development
of hydrocarbon deposits based on fractal ideas about the nature
of their geological structure**

**Sergey R. Bembel^{1*}, Evgeniia S. Miley², Margarita V. Leshkova²,
Maksim A. Biluta², Marina E. Savina¹**

¹*Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia*

²*STC NIS Naftagas LLC, Novi Sad, Serbia*

**bembelsr@tyuiu.ru*

Abstract. This study examines the productive horizon of Miocene deposits in an oil and gas field in the Pannonian Basin (Republic of Serbia). To clarify the features of the geological structure and improve the efficiency of upcoming development of new productive areas while increasing oil recovery from existing parts of the field, the authors of this paper conducted a detailed analysis and synthesis of core data, seismic work materials, testing and the dynamics of production wells. Through conducted studies, the authors detailed the geological features of the field, updated the conceptual model, and proposed additional methods for developing the identified oil and gas reservoirs. Researches also rebuilt the geological model, adjusted the placement of the project well stock and developed a set of geological and technical measures to enhance oil recovery. Furthermore, they forecasted of development indicators. The study identified features of the field's geological structure that suggest a "mosaic" distribution of filtration and capacitive properties within the established hydrocarbon reservoirs. The localized character of the distribution of productivity and variability of field parameters that influence the success of discovery, efficiency of involvement and development of such hydrocarbon deposits confirms the fractal properties of the geological environment. In conclusion, the authors highlighted the necessity of studying and applying the fractal properties of geological objects during oil and gas exploration.

Keywords: geological structure, tectonics, sedimentation, core, seismic exploration, reservoir, productivity, well, model, development

For citation: Bembel, S. R., Miley, E. S., Leshkova, M. V., Biluta, M. A., & Savina, M. E. (2025). Refinement of the conceptual model and algorithms to the development of hydrocarbon deposits based on fractal ideas about the nature of their geological structure. *Oil and Gas Studies*, (5), pp. 11-20. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2025-5-11-20

Введение

Основная особенность как на ранее открытых и разрабатываемых нефтегазовых месторождениях во всем мире, так и сегодня, на новых площадях и территориях и новых этажах геологического разреза, заключается в чрезвычайно высокой степени неоднородности геологического строения продуктивных интервалов геологического разреза и связанных с ними залежей углеводородов (УВ). При этом важным фактором при прогнозе и разработке залежей нефти и газа является фрактальный характер распределения пород-коллекторов и их свойств, оценка степени их неоднородности при изучении особенностей геологического строения для формирования рекомендаций по размещению скважин и видов геолого-технических мероприятий по увеличению выработки запасов [1, 2].

По мнению Р. М. Бембеля [1], подобное свойство локализованности залежей УВ обусловлено действием активных очагов зон деструкции, следствием которого является локальность высокодебитных участков и мозаичный характер их пространственного распределения. Основная роль при этом связана с тектоническими процессами прерывистой во времени и пространстве природы, обеспечивающими «фрактальную» структуру трещин, через которые происходит заполнение углеводородами осадочного чехла.

Такую системную закономерность — фрактальность чрезвычайно неоднородных и поэтому сложнопостроенных месторождений — нам удалось выявить при работах в Среднем Приобье Западной Сибири [1, 2, 5]. Фрактальность — это, в первую очередь, характеристика неоднородностей разного рода, в достаточном количестве выделенных при разведке и разработке залежей и месторождений УВ. Изменчивость этих характеристик при распределении фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пород-коллекторов, фазового состояния УВ, PVT-параметров во времени — это очевидные следствия особенностей формирования залежей и месторождений нефти и газа, закономерно зафиксированные в истории их разведки и разработки [1].

Главная морфологическая особенность подобных залежей нефти и газа — их чрезвычайно высокая локальность, обусловленная свойствами активных очагов зон деструкции как следов проявления узких пучков геодинамических импульсов [1]. Это отражается в распределении продуктивных участков. Фрактальность залежей нефти и газа месторождений во всем мире проявляется на всех этапах геологоразведочных работ — от поиска, разведки до разработки месторождений [2].

Объект и методика исследований

Объект исследований — продуктивный интервал от миоценовых отложений до фундамента одной из многочисленных залежей УВ на нефтегазовом месторождении в Паннонском бассейне (Республика Сербия).

Основными методами исследований служат детальный анализ и обобщение керновых данных, материалов сейсмических работ, опробования и динамики работы эксплуатационных скважин, на основе которых сделана детализация геологических особенностей территории месторождения, обновление концептуальной модели, обоснованы дальнейшие способы разработки открытых залежей нефти и газа.

Геологические и структурно-геологические съемки на территории Паннонского бассейна проведены на начальных стадиях изучения региона. Наибольший объем исследований выполнен до начала 70-х годов XX века, детально изучено строение верхней части разреза. Сейсморазведочные работы МОГТ 3D на исследуемой площади осуществлены в объеме 250 км². Перспективные на поиск и открытие залежей УВ объекты были выделены по данным ГИС в отложениях нижнего миоцена.

После выявления перспектив была пробурена скважина К-1D. Целью ее бурения было проведение полноценного комплекса ГИС и уточнение строения предполагаемых залежей. Скважина была пробурена до глубины 1 100 м со вскрытием пород фундамента. В скважине выполнен комплекс ГИС и вертикальное сеймопрофилирование (ВСП). При испытании в эксплуатационной колонне интервала нижнего миоцена, представленного песчаником и конгло-брекчией гетерогенного состава, получен фонтанный

приток нефти дебитом 9 м³/сут. Скважина явилась первооткрывательницей месторождения *К*.

За последующие 10 лет на рассматриваемом месторождении пробурено 12 скважин, 10 из которых находятся в контуре залежи. Установлено неравномерное распределение накопленной добычи нефти по отдельным скважинам и участкам.

Детализация геологического строения интервала пород фундамент — осадочный чехол на текущем этапе разработки залежи продиктована необходимостью решения вопросов по разработке залежи:

- резкое падение пластовых давлений при запуске залежи в миоцен;
- отсутствие достоверных РВТ-проб не позволяет выполнить адаптацию гидродинамической модели на историю добычи нефти и газа;
- определение связности коллекторов и размеров геологических тел — коллекторов, определяющих динамику работы эксплуатационных скважин и изменение пластового давления.

Детализация терригенных отложений и корректировка концептуальной модели

Необходимость детализации геологического строения месторождения и изменения представлений о тектоно-седиментационных процессах формирования пластов-коллекторов обусловлена невысокой эффективностью бурения эксплуатационных скважин и их расстановкой по площади залежи. При пересмотре геологической модели, в первую очередь, были обоснованы границы фундамента по вертикали по всем скважинам месторождения. После сейсмостратиграфической привязки уточнена корреляция кровли фундамента в межскважинном пространстве.

Строение осадочных пластов интервала нижнего миоцена детализировано на основании методов ГИС, по результатам анализа которых выделено 4 цикла осадконакопления (рис. 1).

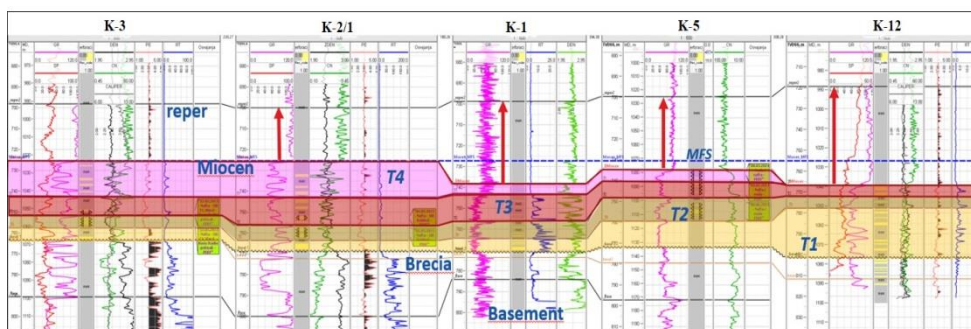


Рис. 1. Пример детализации строения целевого пласта по латерали и вертикали по данным ГИС

На основании результатов комплексной интерпретации данных 3D-сейсморазведки структурных карт по кровле фундамента и сейсмических атрибутов [4] выполнена детализация строения терригенных отложений. В результате были выделены отдельные геологические тела, сформированные в результате сочетания тектонических и седиментационных процессов (рис. 2). На основании выполненных исследований месторождение условно разделено на восточную и западную части.

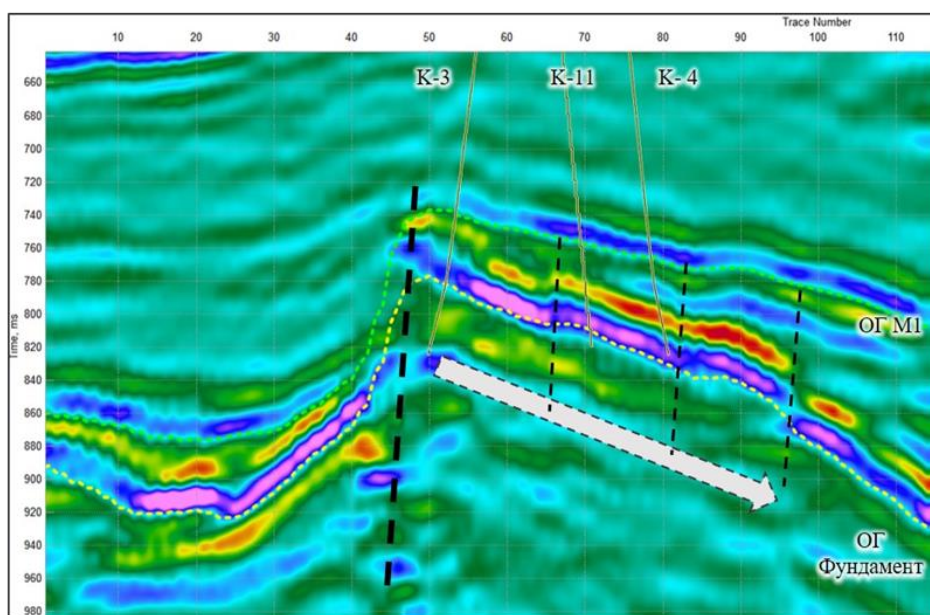


Рис. 2. Разрез по кубу акустического импеданса с интерпретацией границ локальных блоков фундамента и направлением терригенного осадконакопления в интервале ОГ М1 — ОГ фундамент

Согласно проведенным исследованиям [4] осадочные процессы **восточной** части месторождения характеризуются следующими особенностями: выступы фундамента разрушались в процессе выветривания и обломки переносились в гипсометрически пониженные области, где уже перерабатывались внутри локальных водоемов. Коллекторы являются гетерогенными, имеют плохую латеральную связность и трещинную составляющую пористости. Эти особенности характерны для интервала пород, залегающих на границе несогласия между породами фундамента и миоцена (для рассматриваемых залежей Паннонского бассейна).

На рисунке 3 показан принцип седиментации осадков интервала М1 в восточной части изучаемой территории. Локальные выступы фундамента обозначены черными звездочками, направление сноса терригенных осадков — белой стрелкой.

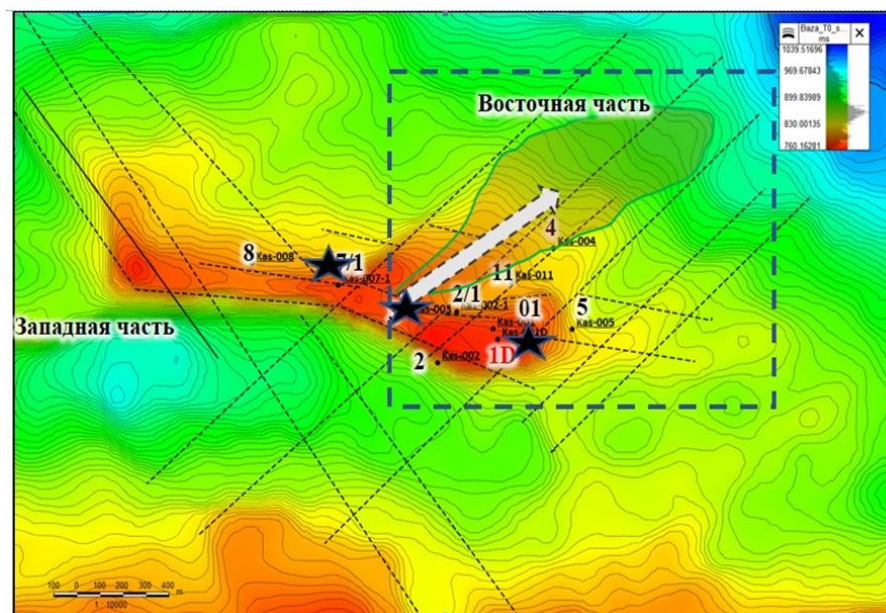


Рис. 3. Структурная карта кровли фундамента с интерпретацией формы седиментационных тел интервала Миоцен

В *западной* части месторождения менее мощные песчаные тела образованы за счет флуктуации относительного уровня моря. По всей вероятности, с точки зрения тектонического развития здесь господствовала более спокойная обстановка седиментации. Песчаник намывался волновыми процессами, что подтверждается фиксацией на сейсмических разрезах рисунка pinch-out (выклинивания).

Открытые залежи УВ тектонически ограничены и имеют размер 1,2×0,4 км. Амплитуда локальных поднятий не превышает 150 м. Литологические экраны отсутствуют, зафиксировано выклинивание пластов на выступах фундамента.

Наиболее достоверным методом при уточнении конфигурации залежей послужили результаты комплексной интерпретации материалов сейсморазведки МОГТ-3D.

Результаты

По результатам комплексного анализа данных керна, ГИС, сейсморазведки МОГТ-3D в рамках тектоно-седиментационного подхода [5, 6] в восточной части территории месторождения были установлены следующие особенности геологического строения и принципы седиментации терригенного материала:

- восточная часть более тектонически активная, характеризуется большим количеством разломов в фундаменте и осадочном чехле;

- локальные вертикальные движения блоков фундамента способствуют созданию локальных источников сноса терригенного материала (конусов выноса);
- процесс седиментации «запускается» в результате сложных сдвиговых и вертикальных движений блоков фундамента;
- терригенные отложения в западной части накапливались в более спокойной тектонической обстановке;
- процесс седиментации в западной части контролируется колебаниями уровня моря;
- кровля фундамента на западе гипсометрически ниже относительно восточной части.

Терригенные отложения в восточной части территории месторождения поступали порционно в северо-восточном направлении в зависимости от накопленного материала на выступах фундамента. По данным керна, отобранного из целевого интервала Миоцен в скважине К-3, породы представлены гетерогенными обломками фундамента, с разной степенью окатанности и с плохой сортировкой.

Западная часть месторождения существенно отличается по временным разрезам (рис. 4), определяется более высокая связность тел, менее заметны дизъюнктивные нарушения в осадочном чехле, а ограничения локальных горизонтов по типу выклинивания связаны с колебанием уровня моря.

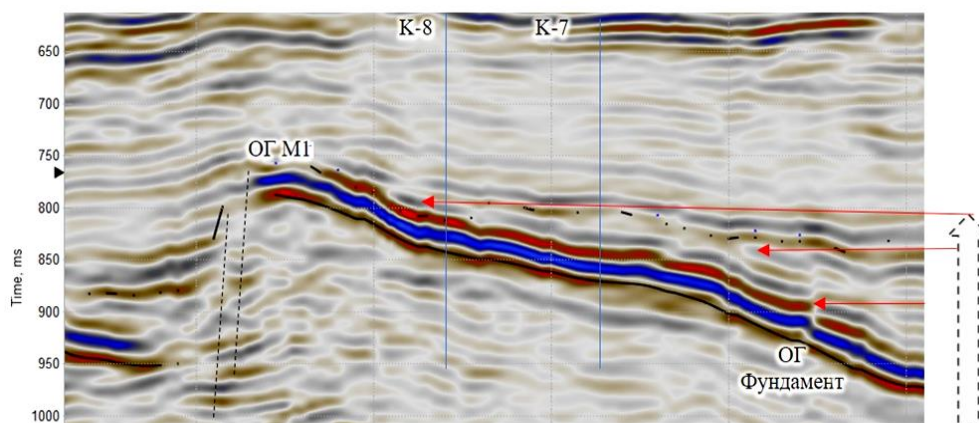


Рис. 4. Строение осадочного чехла западной части залежи (сверху), сейсмический разрез по западной части залежи с нанесением отсечек изменения относительного уровня моря (снизу)

В западной части месторождения по рисунку сейсмической записи на амплитудных разрезах выявляется обратное циклическое строение — налегание слоев на кровлю фундамента, что, по всей вероятности, связано с интервалами повышения уровня моря. Это коррелируется с рельефом фундамента: в западной части на структурной карте можно видеть локаль-

ную впадину, которая «упирается» в протяженный выступ фундамента, тогда как восточная часть территории имеет более пологий склон, по которому и происходил перенос осадков с локальных выступов фундамента.

Обсуждение

Применение комплексного подхода к анализу и интерпретации геолого-промысловой информации, включающей материалы исследований керна, ГИС, сейсморазведки опробования и динамики работы эксплуатационных скважин в настоящее время является актуальным и позволяет решить несколько задач:

- перестроить геологическую модель в соответствии с принятыми принципами формирования коллектора и особенностями геологического строения (в частности, для изучаемого месторождения — фундамента западной и восточной частей);
- выполнить ранжирование разломов на дизъюнктивные и флексурные нарушения с целью предположения проницаемых и условно-проницаемых границ в гидродинамической модели;
- скорректировать актуальный план по размещению проектного фонда скважин и применению геолого-технических мероприятий по повышению нефтеотдачи;
- на основе тектоно-седиментационных особенностей терригенных отложений продуктивных интервалов выполнить прогноз показателей разработки при расчете гидродинамических моделей и анализе разработки.

Выявленные характерные особенности геологического строения множества локальных продуктивных участков рассмотренного месторождения свидетельствуют о «мозаичности» распределения ФЕС внутри всего поля нефтеносности. Размеры выделенных участков продуктивности, линз коллекторов, локальных мало- и высокоамплитудных поднятий составляют десятки — первые сотни метров.

Выводы

В результате комплексного анализа геологического строения территории определены принципиальные различия в конфигурации фундамента и генезисе целевых отложений в восточной и западной части месторождения. В дальнейшем, кроме использования различных подходов к моделированию распределения пород-коллекторов в западной и восточной частях месторождения, при уточнении геологического строения резервуара рекомендуется применение различных технологий разработки продуктивного объекта Миоцен с учетом его вертикальной и латеральной неоднородности, включая варьирование сетки эксплуатационных скважин и избирательного заводнения.

Очевидным выводом следует принимать необходимость скорейшего перехода при разведке и изучении особенностей геологического строения, прогноза распределения коллекторов и ФЕС от типовых «пластовых» моделей залежей к малоразмерным и локализованным продуктивным объектам. Вовлечение в разработку подобных объектов требует не только апри-

орно достоверных представлений об их тектоно-седиментационных условиях образования, но и источнике заполнения их УВ.

Кроме этого, существенно локализованный характер распределения продуктивных параметров, влияющих на эффективность открытия, вовлечения и разработку подобных залежей УВ, подтверждает фрактальные свойства геологической среды, пренебрежение которыми значительно снижает эффективность применяемых методов при нефте- и газодобыче.

Список источников

1. Бембель, Р. М. Геологические модели и основы разведки и разработки месторождений нефти и газа Западной Сибири: монография / Р. М. Бембель, С. Р. Бембель. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2022. – 220 с. – Текст : непосредственный.
2. Бембель, С. Р. Представление о фрактальности залежей углеводородов как способ повышения эффективности методов их исследования / С. Р. Бембель. – Текст : непосредственный // Казанская наука, 2011. – № 2. – С. 276–278.
3. Бембель, С. Р. Особенности проявления активной геодинамики и фрактальный характер нефтяных полей / С. Р. Бембель, А. И. Цепляева Текст : непосредственный // Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (опыт, инновации) : материалы IX международной научно-практической конференции (посвященной 100-летию со дня рождения А. К. Протоzanова). – Т. 2. – Тюмень, 10–11 декабря 2014 года. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2014. – С. 102–106.
4. Выявление малоразмерных залежей нефти и газа в Паннонском бассейне по данным сейсморазведки / С. Р. Бембель, Е. С. Милей, А. С. Грицюк, Р. М. Бембель. – DOI 10.31660/0445-0108-2022-4-9-24. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2022. – № 4. – С. 9–24.
5. Милей, Е. С. Поиски и разведка сложнопостроенных залежей УВ в юго-западной части Паннонского бассейна на основе тектоно-седиментационного подхода к геологическому моделированию : специальность 25.00.1 «Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений» : диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Милей Евгения Сергеевна; Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе. – Тюмень, 2022. – 155 с. – Текст : непосредственный.
6. Милей, Е. С. Применение тектоно-седиментационного подхода для прогноза нефтегазоносности залежей в Паннонском бассейне / Е. С. Милей, С. Р. Бембель, Р. М. Бембель. – Текст : непосредственный // Новые идеи в геологии нефти и газа : материалы XI Международной научно-практической конференции / отв. ред. А. В. Ступакова. МГУ им. М. В. Ломоносова. – Москва : Перо, 2023. – С. 34–37.

References

1. Bembel, R. M., & Bembel, S. R. (2022). Geologicheskie modeli i osnovy razvedki i razrabotki mestorozhdenij nefiti i gaza Zapadnoj Sibiri. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., 220 p. (In Russian).
2. Bembel, S. R. (2011). Presentation on fractal hydrocarbon deposits as a method of increasing the effectiveness of the methods of study. Kazan science, (2), pp. 276-278. (In Russian).

3. Bembel, S. R. & Tseplyaeva A. I. (2014). Osobennosti proyavleniya aktivnoj geodinamiki i fraktal'nyj harakter neftnyh polej. Geologiya i neftegazonosnost' Zapadno-Sibirskogo megabassejna (opyt, innovacii): materialy IX mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (posvyashchennoj 100-letiyu so dnya rozhdeniya Protozanova A. K.). Vol. 2. Tyumen, TyumGNGU Publ., pp. 102-106. (In Russian).
4. Bembel, S. R., Milei, E. S., Gritciuk, A. S., & Bembel, R. M. (2022). Identification of small-sized oil and gas deposits in the Pannonian Basin according to seismic data. Oil and Gas Studies, (4), pp. 9-24. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2022-4-9-24
5. Milej, E. S. (2022). Poiski i razvedka slozhnopostroennyh zalezhej UV v yugo-zapadnoj chasti Pannonskogo bassejna na osnove tektono-sedimentacionnogo podhoda k geologicheskomu modelirovaniyu. Diss. ...kand. geologo-mineralog. nauk. Tyumen, 155 p. (In Russian).
6. Milej, E. S., Bembel, S. R., & Bembel R. M. (2023). Primenenie tektono-sedimentacionnogo podhoda dlya prognoza neftegazonosnosti zalezhej v Pannonskom bassejne. Novye idei v geologii nefti i gaza: materialy XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii / otv. red. A. V. Stupakova. MGU im. M. V. Lomonosova. Moscow, Pero Publ., pp. 34-37. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Бембель Сергей Робертович, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, bembelsr@tyuiu.ru

Милей Евгения Сергеевна, кандидат геолого-минералогических наук, эксперт по геологии, НТЦ Нефтяная Индустрия Сербии, г. Нови Сад, Республика Сербия

Лешкова Маргарита Валерьевна, главный специалист, НТЦ Нефтяная Индустрия Сербии, г. Нови Сад, Республика Сербия

Билута Максим Алексеевич, начальник отдела геологии и разработки, НТЦ Нефтяная Индустрия Сербии, г. Нови Сад, Республика Сербия

Савина Марина Егоровна, старший преподаватель кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Sergey R. Bembel, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor at the Department of Geology of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen, bembelsr@tyuiu.ru

Evgeniia S. Milej, Candidate of Geology and Mineralogy, Expert in Geology, Oil Industry Research Center of Serbia, Novi Sad, Republic of Serbia

Margarita V. Leshkova, Chief Specialist, Research and Technology Center of the Oil Industry of Serbia, Republic of Serbia

Maksim A. Biluta, Head of the Department of Geology and Development, Research and Technology Center of the Oil Industry of Serbia, Novi Sad, Republic of Serbia

Marina E. Savina, Senior Lecturer at the Department of Geology of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen

Статья поступила в редакцию 14.07.2025; одобрена после рецензирования 04.08.2025; принята к публикации 11.08.2025.

The article was submitted 14.07.2025; approved after reviewing 04.08.2025; accepted for publication 11.08.2025.