

УДК 622.276:553.982.2:004.942

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2023

Использование результатов дифференциации и группирования залежей для решения задач разработки карбонатных коллекторов Волго-Уральской нефтегазоносной провинции**Р.А. Гилязетдинов¹, В.В. Мухаметшин², Л.С. Кулешова¹**¹Институт нефти и газа Уфимского государственного нефтяного технического университета (Россия, 452607, г. Октябрьский, ул. Девонская, 54а)²Уфимский государственный нефтяной технический университет (Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1)**Using the Results of Differentiation and Grouping of Deposits to Solve the Problems of Developing Carbonate Reservoirs in the Volga-Ural Oil and Gas Province****Ruslan A. Gilyazetdinov¹, Vyacheslav V. Mukhametshin², Lyubov S. Kuleshova¹**¹Institute of Oil and Gas Ufa State Petroleum Technological University (54a Devonskaya st., Oktyabrsky, 452607, Russian Federation)²Ufa State Petroleum Technical University (1 Kosmonavtov st., Ufa, 450064, Russian Federation)

Получена / Received: 29.05.2023. Принята / Accepted: 27.11.2023. Опубликовано / Published: 30.03.2024

Ключевые слова:

карбонатные коллекторы, разработка месторождений, тектонико-стратиграфическая приуроченность объектов, геолого-технические мероприятия, геолого-статистическое моделирование, метод анализа иерархии, дискриминантный анализ, метод главных компонент, контроль и регулирование процессов нефтеизвлечения, мониторинг остаточных запасов нефти, ранжирование перспективных для разработки зон скопления жидких углеводородов.

Актуальность выбранной для исследования темы обусловлена повсеместной необходимостью решения задач разработки в рамках реализации недропользователем высокоуровневого мониторинга и контроля процессов нефтеизвлечения на месторождениях со сложным геологическим строением для принятия своевременных и эффективных управленческих решений. При помощи комплексных результатов дифференциации и группирования залежей Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, приуроченных к карбонатным коллекторам нижнекаменноугольной системы, проведена оценка релевантности параметров, характеризующих ключевые геолого-физические характеристики продуктивных пластов и насыщающих их флюидов. С использованием метода анализа иерархии в исследуемой нелинейной системе, образуемой после расчета процента правильно сгруппированных объектов и значений главных компонент, сформирован рейтинг потенциальных для разработки участков залежей месторождения N, содержащих в себе перспективные для вовлечения в процесс дренирования и освоения остаточные запасы нефти. При помощи расчетов вектора приоритетов как для одного из параметров, так и для их совокупности между собой получены качественные результаты, позволяющие эффективно выстроить стратегию повышения коэффициента нефтеизвлечения за счет учета уровня иерархии шести основных показателей при планировании или моделировании дизайна геолого-технических мероприятий, в том числе в специализированных программных обеспечениях. Это, в свою очередь, приводит к формированию альтернативного взгляда на изучение степени взаимовлияния основных геолого-физических характеристик продуктивных пластов между собой при различных граничных условиях, образуемых в результате протекания непрерывных процессов в системе «скважина – пласт». Объективность выявленных закономерностей успешно подтверждена в рамках точечного сравнения и сопоставления с имеющимися результатами геофизических и гидродинамических исследований скважин, скрининга и анализа ключевых технологических параметров разработки залежей жидких углеводородов, что существенно повышает область применения результатов в рамках решения задач разработки зрелых месторождений.

Keywords:

carbonate reservoirs, field development, tectonic-stratigraphic confinement of objects, well stimulation, geological and statistical modeling, hierarchy analysis method, discriminant analysis, principal component method, control and regulation of oil production processes, monitoring of residual oil reserves, ranking of areas of accumulation of liquid hydrocarbons prospectv for development.

The relevance of the topic chosen for the study is due to the widespread need to solve development tasks within the framework of the implementation by the subsurface user of high-level monitoring and control of oil recovery processes in fields with a complex geological structure in order to make timely and effective management decisions. Using the complex results of differentiation and grouping of deposits in the Volga-Ural oil and gas province, confined to the carbonate reservoirs of the Lower Carboniferous system, the relevance of the parameters characterizing the key geological and physical characteristics of productive formations and saturating fluids was assessed. Using the hierarchy analysis method in the nonlinear system under study, formed after calculating the percentage of correctly grouped objects and the values of the main components, a rating of potential N field parts containing residual oil reserves promising for involvement in the drainage and development process was formed. By calculating the priority vector for both one of the parameters and for their combination with each other, qualitative results were obtained that make it possible to effectively build a strategy to increase the oil recovery coefficient by taking into account the hierarchy level of the six main indicators when planning or modeling the design of geological and technical measures, including in specialized software. This, in turn, leads to the formation of an alternative view on the study of the degree of mutual influence of the main geological and physical characteristics of productive formations with each other under various boundary conditions formed as a result of continuous processes in the borehole-formation system. The objectivity of the revealed patterns has been successfully confirmed within the framework of point comparison and comparison with the available results of geophysical and hydrodynamic studies of wells, screening and analysis of key technological parameters for the development of liquid hydrocarbon deposits, which significantly increases the scope of the results in solving the problems of developing mature fields.

© Гилязетдинов Руслан Альбертович – научный сотрудник кафедры «Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений» (тел.: +007 (347) 676 64 04, e-mail: gilyazetdinov_2023@mail.ru). Контактное лицо для переписки.

© Мухаметшин Вячеслав Вячеславович – (ORCID: 0000-0003-3283-1047) – доктор технических наук, профессор кафедры «Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений» (тел.: +007 (347) 241 61 89, e-mail: vv@of.ugntu.ru).

© Кулешова Любовь Сергеевна – (ORCID: 0000-0003-2975-3666) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений», заместитель директора по учебной работе (тел.: +007 (347) 676 75 60, e-mail: markl212@mail.ru).

© Ruslan A. Gilyazetdinov (Author ID in Scopus: 57321933200) – Senior Researcher at the Department of Exploration and Development of Oil and Gas Fields (tel.: +007 (347) 676 64 04, e-mail: gilyazetdinov_2023@mail.ru). The contact person for correspondence.

© Vyacheslav V. Mukhametshin (Author ID in Scopus: 58868028800, ORCID: 0000-0003-3283-1047) – Doctor of Engineering, Professor of the Department of Geology and Exploration of Oil and Gas Fields (tel.: +007 (347) 241 61 89, e-mail: vv@of.ugntu.ru).

© Lyubov S. Kuleshova – (Author ID in Scopus: 49963947200, ORCID: 0000-0003-2975-3666) – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Exploration and Development of Oil and Gas Fields, Deputy Director for Academic Affairs (tel.: +007 (347) 676 75 60, e-mail: markl212@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Гилязетдинов Р.А., Мухаметшин В.В., Кулешова Л.С. Использование результатов дифференциации и группирования залежей для решения задач разработки карбонатных коллекторов Волго-Уральской нефтегазоносной провинции // Недропользование. – 2023. – Т.23, №4. – С.152–158. DOI: 10.15593/2712-8008/2023.4.1

Please cite this article in English as:

Gilyazetdinov R.A., Mukhametshin V.V., Kuleshova L.S. Using the results of differentiation and grouping of deposits to solve the problems of developing carbonate reservoirs in the Volga-Ural oil and gas province. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2023, vol.23, no.4, pp.152-158. DOI: 10.15593/2712-8008/2023.4.1

Введение

Неустойчивость нелинейных процессов при изучении сложных технологических систем нефтегазовой отрасли накладывает ряд трудностей при их анализе с использованием различных подходов [1–7]. Это приводит к формированию неосновательных и непредставительных выводов касательно текущего состояния разработки объектов и возможных перспектив повышения продуктивности скважин, совершенствования и регулирования процессов заводнения. В условиях значительного расширения извлекаемой ресурсной базы Российской Федерации за счет разведки запасов, приуроченных к низкопроницаемым и неоднородным коллекторам, возникает перечень вопросов, решение которых сопряжено с различными видами рисков, оказывающих влияние на эффективность принятия управленческих решений. Формирование необходимой стратегии освоения и ввода в промышленную эксплуатацию трудноизвлекаемых запасов, должно осуществляться прежде всего, с использованием комплексных научно-методических основ, позволяющих в рамках проактивного управления ресурсами успешно подбирать необходимый перечень инструментов для моделирования различных производственных процессов [8–13].

На основании полученных эмпирических и теоретических результатов не всегда удается дать объективную и высококвалифицированную оценку рассматриваемым объектам нефтегазовой отрасли, что приводит:

- к дополнительным затратам ресурсов на уточнение существующих моделей при помощи ряда промысловых испытаний и экспериментов;
- использованию объектов без достаточной по количественно-качественному соотношению доказательной и аргументационной базы [14–16];
- получению различных погрешностей при моделировании процессов и систем, расположенных на более низком уровне иерархии;
- развитию масштабной инвариантности пространственных и временных характеристик объектов [17–19];
- низкому уровню информативности данных с точки зрения практической ценности и возможности использования их при решении ключевых задач разработки месторождений.

В связи с этим на современном этапе добычи жидких углеводородов значительная роль отводится поиску, уточнению и расширению области применения моделей, полученных в рамках прикладных исследований, что обусловлено необходимостью реализации качественного сопровождения и регулирования процессов движения жидкости к забоям добывающих скважин [20–23].

Материалы и методы

Одним из наиболее часто используемых инструментов для снижения размерности задачи и установления определенных соответствий между входными и выходными сигналами является комплексный анализ промысловых данных с использованием геолого-статистического моделирования [24–27]. Так, значительный интерес представляют методы, основанные на теории распознавания образов, которые позволяют успешно проводить классификацию объектов в условиях плохо определенных процессов, нечетких ограничений и низкой плотности информации при помощи представлений параметров в виде l -мерных векторов, каждый из которых оказывает влияние на итоговый результат. В то же время с учетом особенностей

нефтяной отрасли и реализации ее технологических процессов их значительное количество формирует системы сложных неравенств, решение которых не всегда возможно реализовать, руководствуясь лишь сопредельной полученной информацией [28–31].

Недостаточный уровень достоверности оценок геолого-физических параметров по результатам промысловых или лабораторных испытаний способствует снижению эффективности принятия управленческих решений, что прямо отражается на результатах мероприятий по повышению производительности скважин, оптимизации глубинно-насосного оборудования и в целом успешной реализации процессов добычи нефти [32]. Для решения текущей проблемы в рамках уточнения результатов геолого-статистического моделирования важным аспектом является определение параметров, которые оказывают значительное влияние на уровень распределения объектов в осях канонических дискриминантных функций, расстояние между центроидами групп и плотность каждой из них относительно друг друга.

Вышесказанное подтверждает необходимость поиска оптимального подхода к вопросу максимального использования информации о степени принадлежности объектов к той или иной группе для решения задач разработки сложных геологических комплексов [33–35]. В частности, наиболее перспективными для освоения на современном этапе добычи нефти являются карбонатные коллекторы Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (ВУНГП), которые обладают следующими характеристиками:

- сложным и неоднородным структурным строением в симбиозе с нелинейным седиментационным циклом [36];
- разветвленной микро- и макротрещиноватостью горных пород;
- значительной неоднородностью изменения фильтрационно-емкостных характеристик при постоянном или переменном влиянии пластовых условий;
- высокой степенью деформации пород, способствующей изменению направлений движения жидкости в трещиноватых средах и, как следствие, формированию зон неопределенности при численном или гидродинамическом моделировании [37–40].

Результаты

В ходе дискриминантного анализа по данным 18 групп залежей, приуроченных к карбонатным коллекторам ВУНГП, построена диаграмма распределения вклада каждого из рассматриваемых параметров в процент верно сгруппированных объектов (рис. 1).

Как можно заметить, выделенные параметры определяют до 80 % идентифицируемости, причем вклад параметра m , численно равен сумме вкладов параметров: m_k , μ_0 , $P_{в}$, $P_{нас}$, G , $P_{пл}$. Иная ситуация наблюдается, например, при изучении нижнекаменноугольной и верхнедевонской систем ВУНГП [41–43]. Дискриминантный анализ, проведенный по 6 группам и 16 параметрам, определил, что 80 % идентифицируемости обеспечивают 9 параметров, причем их порядок существенно отличается от предыдущего случая (рис. 2).

На основании результатов исследований установим, что применение дискриминантного анализа позволяет проводить лишь верхнеуровневую оценку параметров в рамках рассматриваемой системы, ее граничных условий и показателей, что при формировании алгоритма вовлечения в разработку остаточных запасов нефти не всегда дает положительные результаты. Это связано,

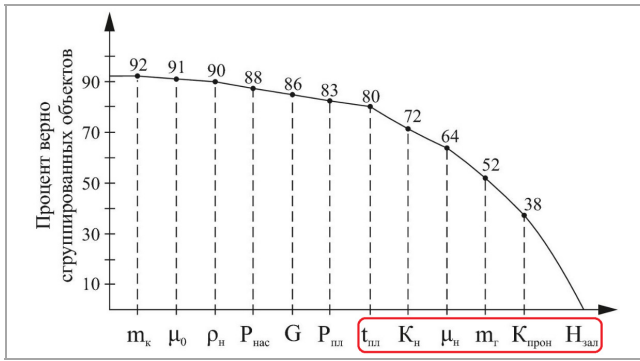


Рис. 1. Вклад параметров в процент верно сгруппированных объектов ВУНПП в карбонатных коллекторах: m_k – среднее значение пористости (по керну), %; μ_0 – относительная вязкость нефти; ρ_n – плотность пластовой нефти, кг/м³; $P_{нас}$ – давление насыщения нефти газом, МПа; G – пластовый газовый фактор, м³/т; $P_{пл}$ – пластовое давление, МПа; $t_{пл}$ – пластовая температура, °С; K_n – коэффициент нефтенасыщенности, доли ед.; μ_n – вязкость пластовой нефти, мПа·с; m_r – среднее значение пористости (по геофизике), %; $K_{прон}$ – коэффициент проницаемости, 10⁻³, мкм²; $H_{зал}$ – глубина залегания пласта, м

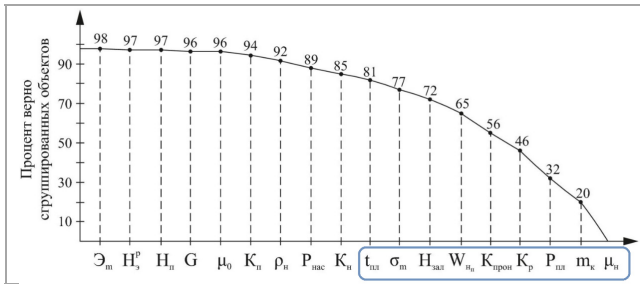


Рис. 2. Вклад параметров в процент верно сгруппированных объектов ВУНПП в карбонатных коллекторах нижнекаменноугольной и верхнедевонской систем: \mathcal{E}_m – энтропия пористости; H_n^p – среднее значение эффективной нефтенасыщенной толщины в зоне разбуривания, м; H_n – среднее значение толщины нефтенасыщенных пропластков, м; K_n – доля пород-коллекторов в общей толщине пласта, доли ед.; σ_m – среднеквадратичное отклонение пористости, %; W_n – вариация толщины нефтенасыщенных пропластков, %; K_p – коэффициент расчлененности пласта

например, с высокой корреляцией между геолого-физическими характеристиками объектов, которая значительно варьируется в пределах того или иного стратиграфического комплекса [44–46].

В данном случае объективную и правильную классификацию параметров по ряду различных критериев, необходимую для уточнения существующих моделей и расширения области их применения, можно провести при помощи метода анализа иерархии (МАИ). Данный способ позволяет давать объективную и релевантную оценку параметрам неустойчивой системы [47]. Преимуществом МАИ при решении задач разработки месторождений жидких углеводородов является возможность работы с неоднородными данными за счет разложения их на взаимосвязанные кластеры.

Исходными данными для расчетов выступили:

- в качестве критериев:
 - ранжированный ряд параметров, обеспечивающий до 80 % идентифицируемости объектов при реализации дискриминантного анализа, рассчитанный по формуле (1):

$$J = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}, \quad (1)$$

где J – информативность того или иного параметра при определении процента верно сгруппированных объектов; R_i – номер ранга параметра в i -м варианте группирования объектов; n – количество вариантов группирования, в которые вошел параметр;

- в качестве альтернативных вариантов:
 - залежи в карбонатных коллекторах каменноугольной системы ВУНПП, включающие в себя наиболее перспективные участки для проведения геолого-технических мероприятий (ГТМ) по результатам проведенного мониторинга, скрининга и анализа геолого-промысловых данных месторождения N, приуроченные к Благовещенской впадине (БВ);
 - верейского горизонта (Вр), шифры опытных участков (1XV–5XV);
 - башкирского яруса (Бш), шифры опытных участков (1XVI–4XVI);
 - каширского горизонта (Кш), шифры опытных участков (1XII–6XII);
 - подольского горизонта (Пд), шифры опытных участков (1VII–3VII).

Для определения уровня приоритетов рассматриваемых критериев используем матрицу парных сравнений, полученную при экспертной оценке и анализе результатов проведения различных ГТМ за последний год по объекту исследования. Затем на основе полученных значений рассчитаем показатели локальных векторов ω_i приоритетов (табл. 1) по формуле (2):

$$\omega_i = \frac{\vartheta_{(1-6)_i}}{\sum \vartheta_{(1-6)_i}}, \quad (2)$$

где ω_i – значение локального вектора i -го критерия; $\sum \vartheta_{(1-6)_i}$ – сумма промежуточных оценок критериев; $\vartheta_{(1-6)_i}$ – промежуточная оценка i -го критерия, рассчитываемая по формуле:

$$\vartheta_{(1-6)_i} = \sqrt[6]{\vartheta_{1i} \cdot \vartheta_{2i} \cdot \vartheta_{3i} \cdot \vartheta_{4i} \cdot \vartheta_{5i} \cdot \vartheta_{6i}}, \quad (3)$$

где $\vartheta_{1i}, \vartheta_{2i}, \dots, \vartheta_{6i}$ – оценки важности критериев для каждого из i -го параметра.

Для проверки объективности экспертных оценок последовательно решается система (4), на основе которой устанавливается согласованность результатов и отсутствие противоречий:

$$\begin{cases} \delta = \frac{|\alpha_{max} - n|}{n - 1}; \\ \alpha_{max} = \sum_{i=1}^1 \varpi_i \cdot \omega_1 + \sum_{i=2}^2 \varpi_i \cdot \omega_2 + \sum_{i=3}^3 \varpi_i \cdot \omega_3 + \\ + \sum_{i=4}^4 \varpi_i \cdot \omega_4 + \sum_{i=5}^5 \varpi_i \cdot \omega_5 + \sum_{i=6}^6 \varpi_i \cdot \omega_6; \\ \chi_i = \frac{\delta}{\tau_i} > 0, 1, \end{cases}$$

где δ – индекс согласованности; α_{max} – размах экспертных оценок; n – размерность матрицы экспертных оценок (см. столбцы 2–7 табл. 1); $\sum_{i=1}^6 \varpi_i$ – сумма оценок i -го столбца матрицы; χ_i – параметр,

Таблица 1

Результаты оценки важности критериев в условиях залежей ВУНГП, приуроченных к карбонатным коллекторам

Номер параметра	ω_i							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Критерий	K_p	$K_{\text{прон}}$	μ_n	m	H_s	K_n	$\vartheta_{(1-6)_i}$	ω_{1-6}
K_p	1	9	8	6	4	3	4,1602	0,455
$K_{\text{прон}}$	$\frac{1}{9}$	1	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	0,2316	0,0253
μ_n	$\frac{1}{8}$	8	1	3	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	0,8908	0,0974
m	$\frac{1}{6}$	3	$\frac{1}{3}$	1	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	0,416	0,0453
H_s	$\frac{1}{4}$	5	2	4	1	$\frac{1}{2}$	1,3076	0,143
K_n	$\frac{1}{3}$	6	3	8	2	1	2,1398	0,234
Сумма	1,986	32	14,458	22,3	7,95	5,125	9,146	1

Таблица 2

Рейтинг наиболее перспективных для вовлечения в разработку участков залежей ВУНГП месторождения N

Шифр участка залежи	Векторы приоритетов ξ_j						Рейтинг, k_j
	K_p	$K_{\text{прон}}$	μ_n	m	H_s	K_n	
1XV БВ (Вр)	0,554*	0,323	0,289	0,122	0,321	0,123	0,368 (1)
4XVI БВ (Бш)	0,098	0,467	0,109	0,167	0,404	0,147	0,166 (4)
3XII БВ (Кш)	0,126	0,387	0,98	0,188	0,087	0,212	0,233 (3)
1VII БВ (Пд)	0,321	0,454	0,067	0,119	0,039	0,321	0,243 (2)

Примечание: жирным шрифтом отмечены наиболее приоритетные значения для различных геолого-физических параметров.

характеризующий отношение согласованности i -х критериев; τ_i – значение величины случайной согласованности.

Заключительный этап анализа представлен расчетом показателей глобального приоритета k_j по исходной выборке данных (формула (5)), на основе которой формируется рейтинг вовлечения в разработку наиболее перспективных участков рассматриваемых залежей месторождения N, приуроченных к карбонатным коллекторам ВУНГП (табл. 2):

$$k_j = \sum_{i=1}^6 \omega_i \cdot \xi_{ij}, \quad (5)$$

где k_j – глобальный приоритет i -го критерия; ξ_{ij} – векторы приоритетов исследуемых участков залежей.

Библиографический список

- Кулешова Л.С., Мухаметшин В.Ш. Поиск и обоснование применения инновационных методов добычи углеводородов в осложненных условиях // SOCAR Proceedings. – 2022. – Спец. вып. № 1. – С. 71–79. DOI: 10.5510/OGP2022SI100647
- Мухаметшин В.В., Кулешова Л.С. О снижении уровня неопределенности при управлении заводнением залежей с трудноизвлекаемыми запасами // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 5. – С. 140–146. DOI: 10.18799/24131830/2020/5/2644
- Martyushev D.A., Yurikov A. Evaluation of opening of fractures in the Logovskoye carbonate reservoir // Petroleum Research. – 2021. – Vol. 6 (2). – P. 137–143. DOI: 10.1016/j.ptlrs.2020.11.002
- Мухаметшин В.Ш. Экспресс-оценка коэффициента извлечения нефти при разработке залежей в карбонатных коллекторах на естественных режимах. SOCAR Proceedings. – 2022. – Спец. вып. № 1. – С. 27–37. DOI: 10.5510/OGP2022SI100642
- Муслимов Р.Х. Нефтеотдача: прошлое, настоящее, будущее (оптимизация добычи, максимизация КИН). – Казань: Фэн, 2014. – 750 с.
- Галкин В.И., Колтырин А.Н. Разработка методики прогнозирования технологических показателей работы скважины после применения геолого-технических мероприятий // Нефтепромысловое дело. – 2020. – № 7(619). – С. 18–28. DOI: 10.30713/0207-2351-2020-7(619)-18-28
- Changes in adhesion force on kaolin under pressures / V. Seredin, M. Fyodorov, I. Lunegov, V. Galkin // AIP Conference Proceedings: 28th Russian Conference on Mathematical Modelling in Natural Sciences, RuMoNaS 2019, Perm, 02–05 октября 2019 года. – Perm: American Institute of Physics Inc., 2020. – Vol. 2216. – P. 040004. DOI: 10.1063/5.0003673

По результатам рейтинга участок 1XV месторождения N, приуроченный к Благовещенской впадине верейского горизонта, рекомендован как наиболее перспективный для вовлечения в разработку остаточных запасов нефти при помощи ряда геолого-технических мероприятий.

В свою очередь, участок 4XVI башкирского горизонта обладает меньшим потенциалом для эффективного освоения жидких углеводородных ресурсов, что подтверждается:

- довольно высокими значениями векторов приоритета для параметров проницаемости и эффективной нефтенасыщенной толщины;

- результатами гидродинамического моделирования, геофизических исследований скважин и прогнозными расчетами [48];

- анализом динамики изменения продуктивности добывающих скважин.

Остальные участки залежей ВУНГП месторождения N обладают рейтингами, значения которых не превышают 0,05 единицы, что, в свою очередь, требует более детального и комплексного анализа на микроуровне организации нелинейных систем нефтедобычи с привлечением разносторонней информации о пластовых процессах.

Заключение

В результате использования метода анализа иерархии для комплекса геолого-физических параметров, характеризующих коллекторские свойства пластов и насыщающих их флюидов, по залежам ВУНГП, приуроченных к карбонатным коллекторам, получены следующие выводы:

- уточнение результатов дискриминантного анализа позволяет выявить ряд параметров, оказывающих преобладающее влияние на успешность реализации дальнейших операций, связанных с различными аспектами моделирования или операциями планирования геолого-технических мероприятий;

- при помощи расчета шести значений векторов приоритета в зависимости от участков залежи определены наиболее важные параметры как по отдельности для каждой из них, так и в совокупности, что позволило сформировать рейтинг наиболее перспективных зон для вовлечения остаточных запасов;

- полученные в ходе исследования закономерности подтверждаются результатами анализа геолого-промысловых данных эксплуатации месторождения N, геофизических и гидродинамических исследований скважин.

Для обеспечения наиболее рациональных условий разработки объекта исследования необходимо провести по менее перспективным участкам аналогичные и более детальные исследования в целях поиска и оценки возможностей повышения коэффициента нефтеизвлечения.

8. Мухаметшин В.В., Кулешова Л.С. О снижении уровня неопределенности при управлении заводнением залежей с трудноизвлекаемыми запасами // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 5. – С. 140–146. DOI: 10.18799/24131830/2020/5/2644
9. Методический подход к мониторингу эффективности использования ресурсной базы при разработке нефтяных месторождений / В.А. Грищенко, И.Н. Асылгареев, Р.Н. Бахтизин, В.В. Мухаметшин, Р.Ф. Якупов // SOCAR Proceedings. – 2021. – Спец. вып. № 2. – С. 229–237. DOI: 10.5510/OGP2021SI200604
10. Рогачев М.К., Мухаметшин В.В., Кулешова Л.С. Повышение эффективности использования ресурсной базы жидких углеводородов в юрских отложениях Западной Сибири // Записки Горного института. – 2019. – Т. 240. – С. 711–715. DOI: 10.31897/PMI.2019.6.711
11. Мартюшев Д.А., Галкин В.И., Пономарева И.Н. Изучение закономерностей распределения фильтрационных свойств в пределах сложнопостроенных карбонатных резервуаров // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 11. – С. 117–126. DOI: 10.18799/24131830/2021/11/3069
12. Идентификация слабо выработанных зон на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами / И.Ф. Хатмуллин, Е.И. Хатмуллина, А.Т. Хамитов, Р.А. Гималетдинов, С.Е. Мезиков // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 74–79.
13. Галкин В.И., Соснин Н.Е. Разработка геолого-математических моделей для прогноза нефтегазонасности сложнопостроенных структур в девонских терригенных отложениях // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 28–31.
14. Евсюткин И.В., Марков Н.Г. Глубокие искусственные нейронные сети для прогноза значений дебитов добывающих скважин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 11. – С. 88–95. DOI: 10.18799/24131830/2020/11/2888
15. Дифференциация и группирование сложнопостроенных залежей нефти в карбонатных коллекторах в решении задач управления разработкой / В.Ш. Мухаметшин, И.Н. Хакимзянов, Р.Н. Бахтизин, Л.С. Кулешова // SOCAR Proceedings. – 2021. – Спец. вып. № 1. – С. 88–97. DOI: 10.5510/OGP2021SI100513
16. Reservoir pressure prediction using time-lapse seismic multi-attribute analysis / Zhu Zhenyu, Liu Zhipeng, Mi Fang, Sang Shuyun // SEG Technical Program Expanded Abstracts. – 2013. – P. 5036–5040. DOI: 10.1190/segam2013-1436.1
17. Mukhametshin V.V., Kuleshova L.S. Using the method of canonical discriminant functions for a qualitative assessment of the response degree of producing wells to water injection during the development of carbonate deposits // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MEACS 2020 – International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems). – 2021. – Vol. 1064. – 012069. – P. 1–9. DOI: 10.1088/1757-899X/1064/1/012069
18. Classification of heavy high-viscosity oils for improving the efficiency of reservoir development / I.Sh. Mingulov, V.V. Mukhametshin, Sh.G. Mingulov, L.S. Kuleshova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (AIME 2020 – International Conference: Actual Issues of Mechanical Engineering). – 2021. – Vol. 1111. – 012036. – P. 1–6. DOI: 10.1088/1757-899X/1111/1/012036
19. Мартюшев Д.А., Галкин С.В., Шелепов В.В. Влияние напряженного состояния горных пород на матричную и трещинную проницаемость в условиях различных литолого-фациальных зон турне-фаменских нефтяных залежей Верхнего Прикамья // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2019. – № 5. – С. 44–52. DOI: 10.33623/0579-9406-2019-5-44-52
20. Mukhametshin V.Sh., Tyncherov K.T., Rakhimov N.R. Geological and statistical modeling of oil recovery of carbonate formations // Journal of Physics: Conference Series (IPDME-2020 – International Conference on Innovations, Physical Studies and Digitalization in Mining Engineering). – 2021. – Vol. 1753. – 012080. – P. 1–7. DOI: 10.1088/1742-6596/1753/1/012080
21. Хасанов М.М., Мухамедшин Р.К., Хатмуллин И.Ф. Компьютерные технологии решения многокритериальных задач мониторинга разработки нефтяных месторождений // Вестник инжинирингового центра ЮКОС. – 2001. – № 2. – С. 26–29.
22. Developing an algorithm for solving a material balance equation in the context of information uncertainty / R.F. Yakupov, V.V. Mukhametshin, L.S. Kuleshova, I.Sh. Mingulov // Journal of Physics: Conference Series (International Conference on IT in Business and Industry (ITBI 2021)). – 2021. – Vol. 2032. – 012053. – P. 1–7. DOI: 10.1088/1742-6596/2032/1/012053
23. Mukhametshin V.V., Kuleshova L.S. The role and significance of the stratigraphic factor in the identification of oil fields // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (International Symposium "Earth sciences: history, contemporary issues and prospects"). – 2021. – Vol. 867. – 012015. – P. 1–7. DOI: 10.1088/1755-1315/867/1/012015
24. Beltiukov D.A., Kochnev A.A., Galkin S.V. The combining different-scale studies in a reservoir simulation model of a deposit with a fractured-cavernous type of carbonate reservoir // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 14, Perm, Virtual, 09–12 ноября 2021 года. – Perm, Virtual, 2022. – Vol. 1021. – P. 012027. DOI: 10.1088/1755-1315/1021/1/012027
25. Статистическая оценка достоверности определения фильтрационных параметров пласта с применением кривых стабилизации давления и анализа добычи в различных геолого-физических условиях / И.Н. Пономарева, В.И. Галкин, Д.А. Мартюшев, И.А. Черных, К.А. Черный, С.В. Галкин // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – М., 2020. – № 11 (347). – С. 63–67. DOI: 10.30713/2413-5011-2020-11(347)-63-67
26. Воеводкин В.Л., Галкин С.В., Поплыгин В.В. Прогнозирование дебитов нефти при технико-экономическом обосновании проектов освоения и поисков месторождений территории ВКМКС // Нефтепромысловое дело. – 2010. – № 7. – С. 45–47.
27. Мухаметшин В.В., Андреев В.Е. Повышение эффективности оценки результативности технологий, направленных на расширение использования ресурсной базы месторождений с трудноизвлекаемыми запасами // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 8. – С. 30–36.
28. Методика вероятностной оценки геологических рисков при поисках нефтяных месторождений для территорий с высокой плотностью промышленных открытий / А.Р. Курников, В.Н. Бородкин, С.В. Галкин, В.И. Галкин, А.В. Растегаев // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2013. – № 10. – С. 4–13.
29. Галкин С.В. Методология учета геологических рисков на этапе поисков и разведки нефтяных месторождений // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2012. – Т. 11, № 4. – С. 23–32.
30. Построение статистических моделей оценки коэффициента извлечения нефти для эксплуатационных объектов Пермского Прикамья / В.И. Галкин, С.В. Галкин, В.Л. Воеводкин, В.Г. Пермяков // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 2. – С. 86–88.
31. Поплыгин В.В., Галкин С.В. Прогнозная экспресс-оценка показателей разработки нефтяных залежей // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 3. – С. 112–115.
32. Токарев М.А. Комплексный геолого-промысловый контроль за текущей нефтеотдачей при вытеснении нефти водой. – М.: Недра, 1990. – 267 с.
33. Методический подход к классификации месторождений и поиску месторождений-аналогов / И.О. Орлова, Е.И. Захарченко, Н.К. Скиба, Ю.И. Захарченко // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2014. – № 12. – С. 16–18.
34. Шахвердиев А.Х. Некоторые концептуальные аспекты системной оптимизации разработки нефтяных месторождений // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 2. – С. 58–63. DOI: 10.24887/0028-2448-2017-2-58-63
35. Yakupov R.F., Mukhametshin V.Sh., Tyncherov K.T. Filtration model of oil coning in a bottom water-drive reservoir // Periodico Tche Quimica. – 2018. – V. 15, iss. 30. – P. 725–733. DOI: 10.52571/PTQ.v15.n30.2018.725
36. Скачек К.Г., Галкин В.И., Растегаев А.В. Разработка моделей прогноза нефтегазонасности пласта Ю2 по геохимическим данным (на примере территории деятельности ООО «Лукойл-Западная Сибирь») // Нефтепромысловое дело. – 2013. – № 9. – С. 13–16.
37. Йереско К.Г., Клован Д.И., Реймент Р.А. Геологический факторный анализ / пер. с англ. Л.Н. Дуденко. – Л.: Недра, 1980. – 224 с.
38. Крамбеин У., Кауфман М., Мак-Кеммон Р. Модели геологических процессов: введ. в мат. геологию / пер. с англ. Р.И. Когана. – М.: Мир, 1973. – 150 с.
39. Мирзаджанзаде А.Х., Степанова Г.С. Математическая теория эксперимента в добыче нефти и газа. – М.: Недра, 1977. – 229 с.
40. Вотинов А.С., Мартюшев Д.А., Галкин С.В. Способ дифференциации пустотности неоднородных карбонатных пластов: № 2021133939: заявл. 22.11.2021; опубл. 12.05.2022 / заявитель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». Патент № 2771802 С1 Российская Федерация, МПК E21B 47/00, E21B 49/00, G01V 5/14.
41. Valeev A.I., Mukhametshin V.Sh., Anisimov V.V. Forecasting the hydraulic fracturing efficiency when selecting wells for an event // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (XIV Russian Conference on Petroleum and Mining Engineering). – 2022. – Vol. 1021. – 012057. – P. 1–7. DOI: 10.1088/1755-1315/1021/1/012057
42. Mukhametshin V.Sh. Calculation and Forecast of Resource Extraction during Exploration // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (XIV Russian Conference on Petroleum and Mining Engineering). – 2022. – Vol. 1021. – 012006. – P. 1–9. DOI: 10.1088/1755-1315/1021/1/012006
43. Журавлев Ю.И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации // Проблемы кибернетики. – 1978. – Вып. 33. – С. 5–68.
44. Robustness analysis of shield tunnels in non-uniformly settled strata based on fuzzy set theory / Z. Li, Z. Zhong, X. Cao, B. Hou, L. Li // Computers and Geotechnics. – 2023. – № 105670. – P. 162. DOI: 10.1007/978-3-319-97115-5178
45. Tavana M., Soltanifar M., Santos-Arteaga F.J. Analytical hierarchy process: Revolution and evolution // Annals of Operations Research. – 2023. – Т. 326, № 2. – P. 879–907. DOI: 10.1007/s10479-021-04432-2
46. Estimation of heterogeneity of Oil & Gas field carbonate reservoirs by means of computer simulation of Core X-Ray Tomography data / A.A. Efimov, S.V. Galkin, Y.V. Savitsky, V.I. Galkin // Ecology, Environment and Conservation. – 2015. – Vol. 21, November. – P. 79–85.

47. Некрасов А.С. Результаты дисперсионного факторного анализа при оценке достоверности структуры порового пространства карбонатных пород-коллекторов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2015. – № 16. – С. 25–34. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.16.3
48. Чичина Т.И., Мартюшев Д.А. Особенности анизотропных свойств трещиноватых коллекторов: исследование параметра Томсона δ // Геомодель 2021: материалы 23-й Конференции по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа, Геленджик, 06–10 сентября 2021 года. – М.: ООО «ЕАГЕ Геомодель», 2021. – С. 71. DOI: 10.3997/2214-4609.202157085

References

- Kuleshova L.S., Mukhametshin V.Sh. Poisk i obosnovanie primeneniia innovatsionnykh metodov dobychi uglevodorodov v oslozhnennykh usloviakh. [Research and justification of innovative techniques employment for hydrocarbons production in difficult conditions]. *SOCAR Proceedings*, 2022, spetsial'nyi vypusk no. 1, pp. 71-79. DOI: 10.5510/OGP2022SI100647
- Mukhametshin V.V., Kuleshova L.S. O snizhenii urovnia neopredelennosti pri upravlenii zavodneniem zalezhei s trudnoizvlekaemymi zapasami [On uncertainty level reduction in managing waterflooding of the deposits with hard to extract reserves]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2020, vol. 331, no. 5, pp. 140-146. DOI: 10.18799/24131830/2020/5/2644
- Martyushev D.A., Yurikov A. Evaluation of opening of fractures in the Logovskoye carbonate reservoir. *Petroleum Research*, 2021, Vol. 6 (2), pp. 137-143. DOI: 10.1016/j.ptlrs.2020.11.002
- Mukhametshin V.Sh. Ekspress-otsenka koeffitsienta izvlecheniia nefiti pri razrabotke zalezhei v karbonatnykh kolektorakh na estestvennykh rezhimakh [Oil recovery factor express evaluation during carbonate reservoirs development in natural regimes]. *SOCAR Proceedings*, 2022, spetsial'nyi vypusk no. 1, pp. 27-37. DOI: 10.5510/OGP2022SI100642
- Muslimov R.Kh. Nefteotdacha: proshloe, nastoiashchee, budushchee (optimizatsiia dobychi, maksimizatsiia KIN) [Oil recovery: past, present, future (production optimization, oil recovery factor maximization)]. Kazan': Fen, 2014, 750 p.
- Galkin V.I., Kolyrin A.N. Razrabotka metodiki prognozirovaniia tekhnologicheskikh pokazatelei raboty skvazhiny posle primeneniia geologo-tekhnicheskikh meropriatii [Development of a method for forecasting technological indicators of a well operation after application of geological-technical measures]. *Neftepromyslovoe delo*, 2020, no. 7(619), pp. 18-28. DOI: 10.30713/0207-2351-2020-7(619)-18-28
- Seredin V., Fyodorov M., Lunegov I., Galkin V. Changes in adhesion force on kaolin under pressures. *AIP Conference Proceedings: 28th Russian Conference on Mathematical Modelling in Natural Sciences, RuMoNaS 2019, Perm, 02-05 Oktober 2019*. Perm: American Institute of Physics Inc., 2020, vol. 2216, 040004 p. DOI: 10.1063/5.0003673
- Mukhametshin V.V., Kuleshova L.S. O snizhenii urovnia neopredelennosti pri upravlenii zavodneniem zalezhei s trudnoizvlekaemymi zapasami [On uncertainty level reduction in managing waterflooding of the deposits with hard to extract reserves]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2020, vol. 331, no. 5, pp. 140-146. DOI: 10.18799/24131830/2020/5/2644
- Grishchenko V.A., Asylgareev I.N., Bakhtizin R.N., Mukhametshin V.V., Iakupov R.F. Metodicheskii podkhod k monitoringu effektivnosti ispol'zovaniia resursnoi bazy pri razrabotke nefitnykh mestorozhdenii [Methodological Approach to The Resource Base Efficiency Monitoring in Oil Fields Development]. *SOCAR Proceedings*, 2021, spetsial'nyi vypusk no. 2, pp. 229-237. DOI: 10.5510/OGP2021SI200604
- Rogachev M.K., Mukhametshin V.V., Kuleshova L.S. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniia resursnoi bazy zhidkikh uglevodorodov v iurskikh otlozheniakh Zapadnoi Sibiri [Improving the efficiency of using resource base of liquid hydrocarbons in Jurassic deposits of Western Siberia]. *Zapiski Gornogo instituta*, 2019, vol. 240, pp. 711-715. DOI: 10.31897/PMI.2019.6.711
- Martiushev D.A., Galkin V.I., Ponomareva I.N. Izuchenie zakonomernosti raspredeleniia fil'tratsionnykh svoystv v predelakh slozhnopoastroennykh karbonatnykh rezervuarov [Study of regularities of distribution of filtering properties within complexly constructed carbonate reservoirs]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2021, vol. 332, no. 11, pp. 117-126. DOI: 10.18799/24131830/2021/11/3069
- Khatmullin I.F., Khatmullina E.I., Khamitov A.T., Gimaltdinov R.A., Mezikov S.E. Identifikatsiia slabo vyrabotannykh zon na mestorozhdeniakh s trudnoizvlekaemymi zapasami. [Identification of zones with poor displacement in fields with hard-to-recover reserves]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2015, no. 1, pp. 74-79.
- Galkin V.I., Sosnin N.E. Razrabotka geologo-matematicheskikh modelei dlia prognoza neftegazonosnosti slozhnopoastroennykh struktur v devonskikh terrigenykh otlozheniakh [Geological development of mathematical models for the prediction of oil and gas complex-built structures in the Devonian clastic sediments]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2013, no. 4, pp. 28-31.
- Evsitkin I.V., Markov N.G. Glubokie iskusstvennye neironnye seti dlia prognoza znachenii debitov dobyvaiushchikh skvazhin [Deep artificial neural networks for forecasting debit values for production wells]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2020, vol. 331, no. 11, pp. 88-95. DOI: 10.18799/24131830/2020/11/2888
- Mukhametshin V.Sh., Khakimzianov I.N., Bakhtizin R.N., Kuleshova L.S. Differentsiatsiia i gruppирование slozhnopoastroennykh zalezhei nefiti v karbonatnykh kolektorakh v reshenii zadach upravleniia razrabotkoi [Differentiation and Grouping of Complex-Structured Oil Reservoirs in Carbonate Reservoirs in Development Management Problems Solving]. *SOCAR Proceedings*, 2021, spetsial'nyi vypusk no. 1, pp. 88-97. DOI: 10.5510/OGP2021SI100513
- Zhu Zhenyu, Liu Zhipeng, Mi Fang, Sang Shuyun. Reservoir pressure prediction using time-lapse seismic multi-attribute analysis. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 2013, pp. 5036-5040. DOI: 10.1190/segam2013-1436.1
- Mukhametshin V.V., Kuleshova L.S. Using the method of canonical discriminant functions for a qualitative assessment of the response degree of producing wells to water injection during the development of carbonate deposits. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MEACS 2020 - International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems)*, 2021, vol. 1064, 012069, pp. 1-9. DOI: 10.1088/1757-899X/1064/1/012069
- Mingulov I.Sh., Mukhametshin V.V., Mingulov Sh.G., Kuleshova L.S. Classification of heavy high-viscosity oils for improving the efficiency of reservoir development. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (AIME 2020 - International Conference: Actual Issues of Mechanical Engineering)*, 2021, vol. 1111, 012036, p. 1-6. DOI: 10.1088/1757-899X/1111/1/012036
- Martiushev D.A., Galkin S.V., Shelepov V.V. Vliianie napriazhennogo sostoianiia gornykh porod na matrichnuiu i treshchinnuiu pronitsaemost' v usloviakh razlichnykh litologo-fatsial'nykh zon turne-famenskikh nefitnykh zalezhei Verkhnego Prikam'ia [The influence of the stress state of rocks on the matrix and fracturing permeability in the conditions of various lithologic-facial zones of the Turn-Famen oil deposits of the Upper Kama region]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Geologiya*, 2019, no. 5, pp. 44-52. DOI: 10.33623/0579-9406-2019-5-44-52
- Mukhametshin V.Sh., Tyncherov K.T., Rakhimov N.R. Geological and statistical modeling of oil recovery of carbonate formations. *Journal of Physics: Conference Series (IPDME-2020 - International Conference on Innovations, Physical Studies and Digitalization in Mining Engineering)*, 2021, vol. 1753, 012080, pp. 1-7. DOI: 10.1088/1742-6596/1753/1/012080
- Khasanov M.M., Mukhametshin R.K., Khatmullin I.F. Komp'yuternye tekhnologii resheniia mnogokriterial'nykh zadach monitoringa razrabotki nefitnykh mestorozhdenii [Computer technologies for solving multi-criteria problems of monitoring the development of oil fields]. *Vestnik inzhiniringovogo tsentra IUKOS*, 2001, no. 2, pp. 26-29.
- Yakupov R.F., Mukhametshin V.V., Kuleshova L.S., Mingulov I.Sh. Developing an algorithm for solving a material balance equation in the context of information uncertainty. *Journal of Physics: Conference Series (International Conference on IT in Business and Industry (ITBI 2021))*, 2021, vol. 2032, 012053, pp. 1-7. DOI: 10.1088/1742-6596/2032/1/012053
- Mukhametshin V.V., Kuleshova L.S. The role and significance of the stratigraphic factor in the identification of oil fields. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (International Symposium "Earth sciences: history, contemporary issues and prospects")*, 2021, vol. 867, 012015, pp. 1-7. DOI: 10.1088/1755-1315/867/1/012015
- Beltukov D.A., Kochnev A.A., Galkin S.V. The combining different-scale studies in a reservoir simulation model of a deposit with a fractured-cavernous type of carbonate reservoir. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 14, Perm, Virtual, 09-12 November 2021*. Perm, Virtual, 2022, vol. 1021, 012027 p. DOI: 10.1088/1755-1315/1021/1/012027
- Ponomareva I.N., Galkin V.I., Martiushev D.A., Chernykh I.A., Chernyi K.A., Galkin S.V. Statisticheskaya otsenka dostovernosti opredeleniia fil'tratsionnykh parametrov plasta s primeneniem krivykh stabilizatsii davleniia i analiza dobychi v razlichnykh geologo-fizicheskikh usloviakh [Statistical assessment of the reliability of determining formation filtering parameters using pressure stabilization curves and analysis of production under different geological-physical conditions]. *Geologiya, geofizika i razrabotka nefitnykh i gazovykh mestorozhdenii*. Moscow, 2020, no. 11 (347), pp. 63-67. DOI: 10.30713/2413-5011-2020-11(347)-63-67
- Voevodkin V.L., Galkin S.V., Poplygin V.V. Prognozirovaniie debitov nefiti pri tekhniko-ekonomicheskome obosnovanii proektov osvoeniia i poiskov mestorozhdenii territorii VKMKS [Prognosis of oil production rates during feasibility studies of projects during prospecting and development of fields on the territory of Verkhnekamsk potassium salts deposits]. *Neftepromyslovoe delo*, 2010, no. 7, pp. 45-47.

27. Mukhametshin V.V., Andreev V.E. Povyshenie effektivnosti otsenki rezul'tativnosti tekhnologii, napravlenykh na rasshirenie ispol'zovaniia resursnoi bazy mestorozhdenii s trudnoizvlekaemyimi zapasami [Increasing the efficiency of assessing the performance of techniques aimed at expanding the use of resource potential of oilfields with hard-to-recover reserves]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov*, 2018, vol. 329, no. 8, pp. 30-36.
28. Kurchikov A.R., Borodkin V.N., Galkin S.V., Galkin V.I., Rastegaev A.V. Metodika veroiatnostnoi otsenki geologicheskikh riskov pri poiskakh neftiannykh mestorozhdenii dlia territorii s vysokoi plotnost'iu promyshlennykh otkrytii [Methodology for probabilistic assessment of geological risks when searching for oil fields in areas with a high density of industrial discoveries]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftiannykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2013, no. 10, pp. 4-13.
29. Galkin S.V. Metodologiya ucheta geologicheskikh riskov na etape poiskov i razvedki neftiannykh mestorozhdenii [Accounting methods of geological risks on the stage of oil fields exploration]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2012, vol. 11, no. 4, pp. 23-32.
30. Galkin V.I., Galkin S.V., Voevodkin V.L., Permiakov V.G. Postroenie statisticheskikh modelei otsenki koeffitsienta izvlecheniia nefiti dlia ekspluatatsionnykh ob'ektov Permskogo Prikam'ia [Construction of the statistical models of the estimation of current oil recovery for the operational objects of Perm region]. *Neftiannoe khoziaistvo*, 2011, no. 2, pp. 86-88.
31. Poplygin V.V., Galkin S.V. Prognoznaia ekspress-otsenka pokazatelei razrabotki neftiannykh zalezhei [Forecast quick evaluation of the indices of the development of the oil deposits]. *Neftiannoe khoziaistvo*, 2011, no. 3, pp. 112-115.
32. Tokarev M.A. Kompleksnyi geologo-promyslovyy kontrol' za tekushchei nefteotdachei pri vytesnenii nefiti vodoi [Integrated geological and field control of current oil recovery when oil is displaced by water]. Moscow: Nedra, 1990, 267 p.
33. Orlova I.O., Zakharchenko E.I., Skiba N.K., Zakharchenko Iu.I. Metodicheskii podkhod k klassifikatsii mestorozhdenii i poisku mestorozhdenii-analogov [Methodical approach to fields classification and fields-analogues prospecting]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftiannykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2014, no. 12, pp. 16-18.
34. Shakhverdiev A.Kh. Nekotorye kontseptual'nye aspekty sistemnoi optimizatsii razrabotki neftiannykh mestorozhdenii [Some conceptual aspects of systematic optimization of oil field development]. *Neftiannoe khoziaistvo*, 2017, no. 2, pp. 58-63. DOI: 10.24887/0028-2448-2017-2-58-63
35. Yakupov R.F., Mukhametshin V.Sh., Tyncherov K.T. Filtration model of oil coning in a bottom water-drive reservoir. *Periodico Tche Quimica*, 2018, vol. 15, iss. 30, pp. 725-733. DOI: 10.52571/PTQ.v15.n30.2018.725
36. Skachek K.G., Galkin V.I., Rastegaev A.V. Razrabotka modelei prognoza neftegazonosnosti plasta Iu2 po geokhimicheskim dannym (na primere territorii deiatel'nosti OOO "Lukoil-Zapadnaia Sibir") [Development of prediction models of oil and gas potential of Yu₂ (Ю₂) stratum on the basis of geochemical data (within the area of "Lukoil-Western Siberia, LTD." activity)]. *Neftepromyslovoe delo*, 2013, no. 9, pp. 13-16.
37. Iereskog K.G., Klovan D.I., Reiment R.A. Geologicheskii faktornyy analiz [Geological factor analysis]. Leningrad: Nedra, 1980, 224 p.
38. Krambein U., Kaufmen M., Mak-Kemmon R. Modeli geologicheskikh protsessov: vvod. v mat. geologiiu [Models of Geological Processes: An Introduction to Mathematical Geology]. Moscow: Mir, 1973, 150 p.
39. Mirzadzhanzade A.Kh., Stepanova G.S. Matematicheskaya teoriia eksperimenta v dobyche nefiti i gaza [Mathematical theory of experiment in oil and gas production]. Moscow: Nedra, 1977, 229 p.
40. Votinov A.S., Martiushev D.A., Galkin S.V. Sposob differentsiatsii pustotnosti neodnorodnykh karbonatnykh plastov [Method for differentiating voids in heterogeneous carbonate formations]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2771802 C1 (2022).
41. Valeev A.I., Mukhametshin V.Sh., Anisimov V.V. Forecasting the hydraulic fracturing efficiency when selecting wells for an event. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (XIV Russian Conference on Petroleum and Mining Engineering)*, 2022, vol. 1021, 012057, pp. 1-7. DOI: 10.1088/1755-1315/1021/1/012057
42. Mukhametshin V.Sh. Calculation and Forecast of Resource Extraction during Exploration. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (XIV Russian Conference on Petroleum and Mining Engineering)*, 2022, vol. 1021, 012006, pp. 1-9. DOI: 10.1088/1755-1315/1021/1/012006
43. Zhuravlev Iu.I. Ob algebraicheskome podkhode k resheniiu zadach raspoznavaniia ili klassifikatsii [On an algebraic approach to solving recognition or classification problems]. *Problemy kibernetiki*, 1978, iss. 33, pp. 5-68.
44. Li Z., Zhong Z., Cao X., Hou B., Li L. Robustness analysis of shield tunnels in non-uniformly settled strata based on fuzzy set theory. *Computers and Geotechnics*, 2023, no. 105670, 162 p. DOI: 10.1007/978-3-319-97115-5178
45. Tavana M., Soltanifar M., Santos-Arteaga F.J. Analytical hierarchy process: Revolution and evolution. *Annals of Operations Research*, 2023, vol. 326, no. 2, pp. 879-907. DOI: 10.1007/s10479-021-04432-2
46. Efimov A.A., Galkin S.V., Savitsky Y.V., Galkin V.I. Estimation of heterogeneity of Oil & Gas field carbonate reservoirs by means of computer simulation of Core X-Ray Tomography data. *Ecology, Environment and Conservation*, 2015, vol. 21, November, pp. 79-85.
47. Nekrasov A.S. Rezul'taty dispersionnogo faktornogo analiza pri otsenke dostovernosti struktury porovogo prostranstva karbonatnykh porod-kollektorov [The results of dispersion factor analysis in verifying a structure of pore space in reservoir rocks]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta*, 2015, no. 16, pp. 25-34. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.16.3
48. Chichinina T.I., Martiushev D.A. Osobennosti anizotropnykh svoystv treshchinovatykh kollektorov: issledovanie parametra Tomsena δ [Specific Anisotropy Properties of Fractured Reservoirs: Research on Thomsen's Anisotropy Parameter Delta]. *Geomodel' 2021. Materialy 23-i Konferentsii po voprosam geologorazvedki i razrabotki mestorozhdenii nefiti i gaza, Gelendzhik, 06-10 September 2021*. Moscow: OOO "EAGE Geomodel'", 2021, 71 p. DOI: 10.3997/2214-4609.202157085

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
 Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
 Вклад авторов равноценен.