

Научная статья / Original research article

УДК 622.276.5

DOI: <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2026-4-00-00>

EDN: ROXJXY



Геометризация сложнопостроенных карбонатных коллекторов Восточной Сибири с помощью комплексирования гидродинамических исследований скважин и результатов сейсморазведочных работ

Д. Д. Моргачёв^{1*}, Т. С. Арбатский², О. Н. Кардашина³

¹ООО «Газпромнефть НТЦ», Санкт-Петербург, Российская Федерация

²ООО «Иркутская нефтяная компания», Иркутск, Российская Федерация

³Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург,
Российская Федерация

*morgachelli@gmail.com

Аннотация. Сложнопостроенные карбонатные коллекторы Восточной Сибири характеризуются высокой неоднородностью фильтрационно-емкостных свойств и ограниченной достоверностью сейсмического прогноза вследствие интрузивных тел, тонкослоистости разреза и зон засоления. Цель исследования — оценить эффективность комплексной геометризации коллектора для уточнения границ продуктивных зон, повышения успешности эксплуатационного бурения и снижения геологических рисков на примере нефтегазоконденсатного месторождения Иркутской области. Ведущим методом стал ретроспективный анализ, включающий интеграцию длительных ГДИС, гидродинамического прослушивания, численного 2D-моделирования фильтрации в Карра Ecrin Saphir, карт сейсмических атрибутов (акустический импеданс, V_p/V_s) и сейсмофациального анализа. Установлено, что продуктивный коллектор лишь частично приурочен к выступам фундамента и не полностью конформен их границам. Комплексирование динамических и сейсмических данных позволило уточнить латеральное распространение пористо-каверновых зон. Результаты подтверждены стартовыми дебитами, замерами пластового давления и импульсным ГДП. Предложенный подход может повысить успешность бурения с 78,4 до 86,4 % и использоваться для оптимизации размещения скважин и программ разработки.

Ключевые слова: гидродинамические исследования скважин, повышение успешности бурения, сейсморазведочные работы, геометризация пласта-коллектора, карбонатный коллектор, комплексирование исследований

Для цитирования: Моргачёв Д. Д., Арбатский Т. С., Кардашина О. Н. Геометризация сложнопостроенных карбонатных коллекторов Восточной Сибири с помощью комплексирования гидродинамических исследований скважин и результатов сейсморазведочных работ. *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ.* 2026;30(4):77–86. <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2026-4-77-86> EDN: ROXJXY

Geometrization of East Siberia complex carbonate reservoirs with integration of well-testing and seismic surveys

Dmitrii D. Morgachev^{1*}, Timur S. Arbatsky², Olga N. Kardashina³

¹Gazprom Neft Scientific and Technical Center LLC, Saint Petersburg, Russian Federation

²Irkutsk Oil Company LLC, Irkutsk, Russian Federation

³Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “ITMO University”, Saint-Petersburg, Russian Federation

*morgachelli@gmail.com

Abstract. Complex carbonate reservoirs of Eastern Siberia are highly heterogeneous and difficult to predict seismically because of intrusive bodies, thin-bedded strata, and salinization zones. This study aims to evaluate the effectiveness of an integrated reservoir geometrization approach for refining the boundaries of productive zones, improving production drilling success, and reducing geological risks using an oil and gas condensate field in the Irkutsk Region as a case study. The leading method is a retrospective analysis by integrating long-term well testing, interference testing, numerical 2D flow modeling in Kappa Ecrin Saphir, seismic attribute maps (acoustic impedance and V_p/V_s ratio), and seismic facies analysis. The results show that the productive reservoir is only partly associated with basement highs and does not fully conform to their boundaries. By combining dynamic reservoir data with seismic information, the authors define the lateral extent of vuggy porosity zones more accurately. Initial rates, reservoir pressure measurements, and pulse interference tests confirm authors' results. This approach can enhance drilling success from 78,4 % to 86,4 % and provides an effective tool for optimizing well placement and development programs.

Keywords: well testing, improving drilling success, seismic survey, reservoir geometrization, carbonate reservoir, integrated studies

For citation: Morgachev D. D., Arbatsky T. S., Kardashina O. N. Geometrization of East Siberia complex carbonate reservoirs with integration of well-testing and seismic surveys. *Oil and Gas Studies*. 2026;30(4):77–86. (In Russ.). <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2026-4-77-86>

Введение

Карбонатные коллекторы традиционно относятся к наиболее сложным объектам разработки нефтяной и газовой отрасли. Их ключевой особенностью является высокая степень неоднородности фильтрационно-емкостных свойств: широкая вариативность проницаемости и пористости наблюдается не только между разными пластами, но и в пределах одного геологического объекта. Это обусловлено сложным строением пустотного пространства, включающего поры, каверны и трещины различных масштабов, что подробно отмечается во множестве фундаментальных работ. Такая неоднородность затрудняет построение достоверных геологических моделей и прогнозирование параметров коллектора. В результате возникают существенные риски при геометризации залежей, что напрямую влияет на эффективность заложения новых скважин и точность подсчета запасов углеводородов. Ошибки в оконтуривании продуктивных зон приводят к бурению сухих скважин и недооценке потенциала месторождения [1–4].

В условиях Восточной Сибири стандартные методы прогноза имеют ряд ограничений. Основным поисковым признаком пористо-каверновых коллекторов в рассматриваемом районе выступает их приуроченность к выступам кристаллического фундамента, не покрытым непроницаемым осадочным чехлом от вышележащего коллектора и хорошо картируемым сейсмикой [1]. Однако точность сейсмического прогнозирования существенно снижается из-за сложного геологического строения разреза. Наличие масштабных интрузивных тел (даек) искажает волновую картину, создавая ложные структурные формы, а тонкослоистость целевых пластов вызывает эффекты настройки, затрудняющие выделение тонких коллекторов. Особую проблему представляет экранирующий эффект зон засоления: некартируемые участки невыщелоченных солей поглощают сейсмическую энергию, делая нижележащие коллекторы невидимыми для стандартных методов

интерпретации. Все это приводит к значительным погрешностям при определении распространения коллектора только по сейсмическим данным [5, 6].

В связи с этим актуальной задачей становится разработка комплексного подхода, позволяющего компенсировать недостатки отдельных методов. В статье представлен ретроспективный анализ эффективности геометризации сложнопостроенного карбонатного коллектора за счет интеграции результатов длительных гидродинамических исследований скважин (ГДИС) и карт сейсмических атрибутов. Синергия методов позволяет совместить пространственную непрерывность сейсмических данных с динамической информацией о фильтрационных свойствах, полученной из скважин [7]. Цель работы — повышение эффективности эксплуатационного бурения и снижение геологических рисков на примере месторождения Иркутской области, характеризующегося наличием пористо-каверновых и пористо-каверново-трещинных коллекторов.

Объект и методы исследования

Объект исследования — нефтегазоконденсатное месторождение Иркутской области, разрабатываемое в период 2010–2020 гг. Целевыми отложениями являются сложнопостроенные карбонатные коллекторы пористо-кавернового и пористо-каверново-трещинного типов. Геологическое строение характеризуется наличием интрузивных тел, малой мощностью целевых пластов и присутствием зон засоления, что существенно осложняет сейсмическое картирование.

Для повышения эффективности геометризации коллектора был применен комплексный подход, интегрирующий данные ГДИС и сейсморазведочных работ.

Методика исследования включала следующие этапы:

1. Верификация поисковой концепции. Проверка гипотезы о приуроченности коллектора к выступам фундамента проводилась методом гидродинамического прослушивания (ГДП) между первыми разведочными скважинами, расположенными над изолированными выступами, а также бурением оценочных скважин за пределами выявленных структур на этапе ГРП [8, 9].

2. Интерпретация ГДИС и численное моделирование. Данные длительных ГДИС обрабатывались в программном комплексе Carra Ecrin Saphir. Выполнено численное 2D-моделирование фильтрационных процессов. Граничные условия модели задавались по контурам выступов фундамента для проверки их конформности с реальными границами коллектора.

3. Интеграция с сейсмическими атрибутами. Для пространственной привязки границ, выявленных по ГДИС, использовались карты акустического импеданса (АИ) и отношения скоростей V_p/V_s . Контурирование высокопродуктивных зон проводилось итеративно по зонам с максимальными значениями атрибутов с использованием сетки Вороного [10].

4. Сейсмофациальный анализ. В качестве альтернативного метода картирования применен сейсмофациальный анализ с выделением 7 сейсмофаций. Распространение коллектора ассоциировалось с определенным типом фации [11].

5. Оценка эффективности. Достоверность методики оценивалась ретроспективно по результатам эксплуатационного бурения (стартовые дебиты, пластовое давление) и данным импульсного ГДП.

Результаты

Ввиду сложностей картирования карбонатного коллектора сейсмическими методами особой задачей стала локализация высокопродуктивной части коллектора. Проведенное гидродинамическое прослушивание между тремя разведочными скважинами над изолированными выступами фундамента подтвердило отсутствие гидродинамической связи между ними: отклик давления не был получен в течение 2 месяцев мониторинга. Скважины, пробуренные за пределами выступов, дали непромышленные притоки, что подтвердило локализацию коллектора в пределах структурных выступов.

Уточнение распространения коллектора в пределах выступов выполнялось методом численного 2D-моделирования в Kappa Ecrin Saphir. Изначально граничные условия задавались по контуру выступа фундамента. Однако модельные и фактические кривые давления показали несопоставимые результаты (рис. 1), что было интерпретировано как не полностью неконформное распространение коллектора и выступов фундамента: контуры высокопродуктивного коллектора по геологическим сценариям P90 и P50 и картируемые выступы существенно различались, что может быть обусловлено неконтролируемым размывом зон засоления элизионными потоками.

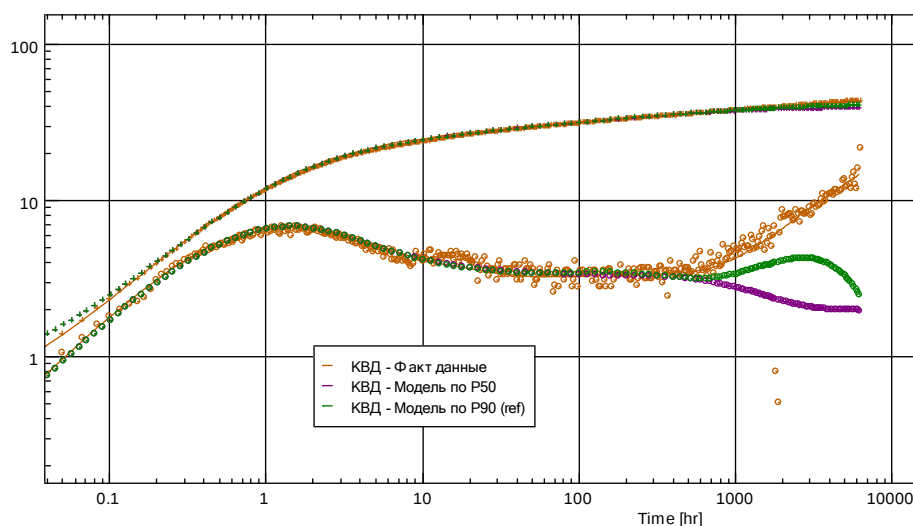


Рис. 1. Сопоставление фактических данных с численными моделями по контурам выступа фундамента (скриншот обработки ГДИС из Kappa Ecrin Saphir).

Составлено авторами

Fig. 1. Factual data versus numerical models based on basement high contours (screenshot of well test interpretation from Kappa Ecrin Saphir). By the authors

Таким образом, подтверждена частичная приуроченность коллектора к выступам фундамента, но установлено отсутствие полной конформности их границ. Поскольку ГДИС дают информацию лишь об относительном

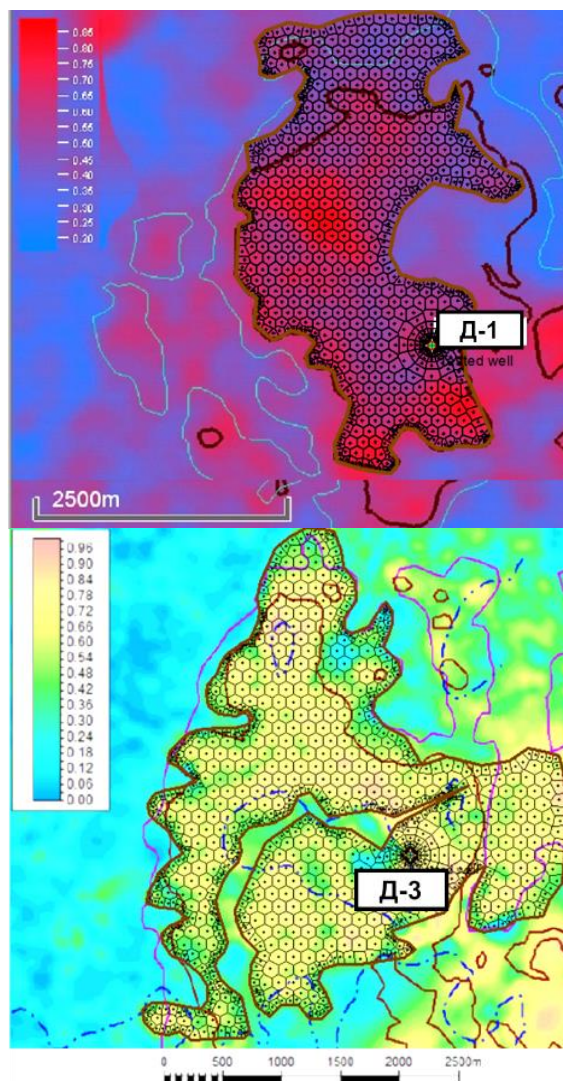
положении границ, для пространственной привязки использовались карты сейсмических атрибутов (АИ и V_p/V_s).

Геометризация по данным ГДИС с использованием атрибута АИ проведена по трем разведочным скважинам. Контуры коллектора проводились итеративно по зонам с наибольшим значением атрибута («сотовая» мозаика — сетка Вороного на рис. 2), с учетом характерных признаков границ на билогарифмических кривых давления (кривые Бурде) [12, 13].

Рис. 2. Пример геометризации коллектора комплексированием ГДИС и сейсмических атрибутов.

Составлено авторами

Fig. 2. Reservoir geometrization based on the integration of well testing and seismic attributes. By the authors



С увеличением количества скважин в разбуриваемой зоне была проведена ретроспективная оценка успешности бурения (рис. 3). Зоны разбуривались в течение двух лет, что внесло определенную погрешность из-за истощения пластового давления. Несмотря на это, прослеживается качественная зависимость между стартовым дебитом и выделенным контуром:

самые уверенные результаты бурения располагаются внутри контура, в удалении от его границ.

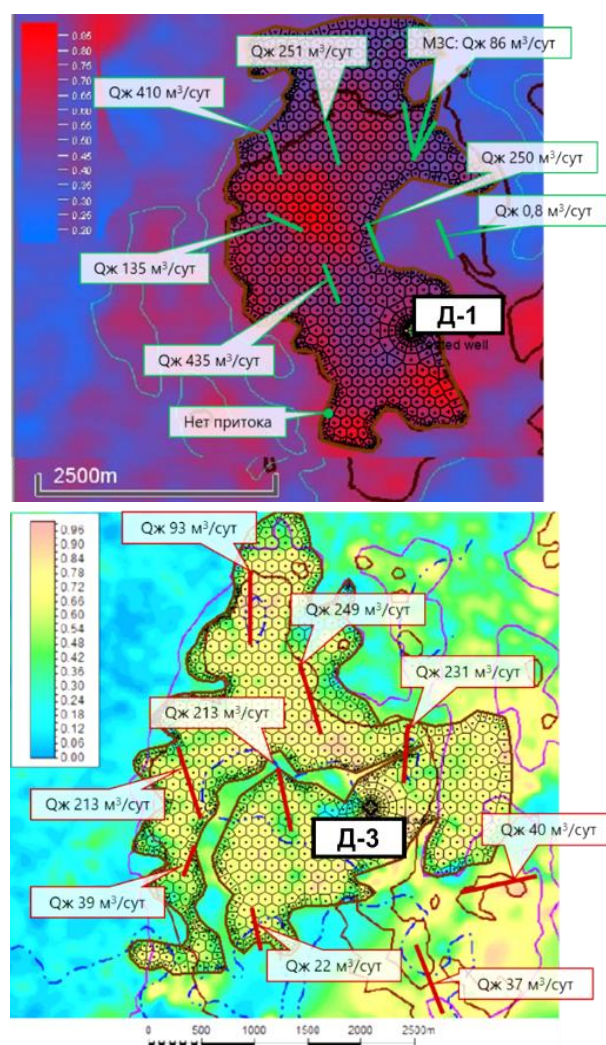


Рис. 3. Результаты бурения скважин на подложке геометризации коллектора по ГДИС и сейсмическим атрибутам. Составлено авторами

Fig. 3. Well drilling results overlaid on the reservoir geometrization model based on well testing and seismic attributes. By the authors

Дополнительным методом картирования стал сейсмофациальный анализ. Распространение пористо-каверново-трещинного коллектора предполагалось по выделенной «желтой» фации (рис. 4).

Результаты сейсмофациального анализа верифицировались данными бурения и замеров давления. Вторая и третья продуктивные скважины показали сниженное пластовое давление относительно первой (начальное давление 20 МПа). Бурение за пределами выделенной сейсмофации показало отсутствие высокопродуктивного коллектора: пластовое давление соответствует начальному, промышленный приток отсутствует. Импульсное ГДП подтвердило наличие гидродинамической связи между скважинами

внутри зоны, выделенной по сейсмофации, что верифицировало распространение коллектора по данному маркеру.

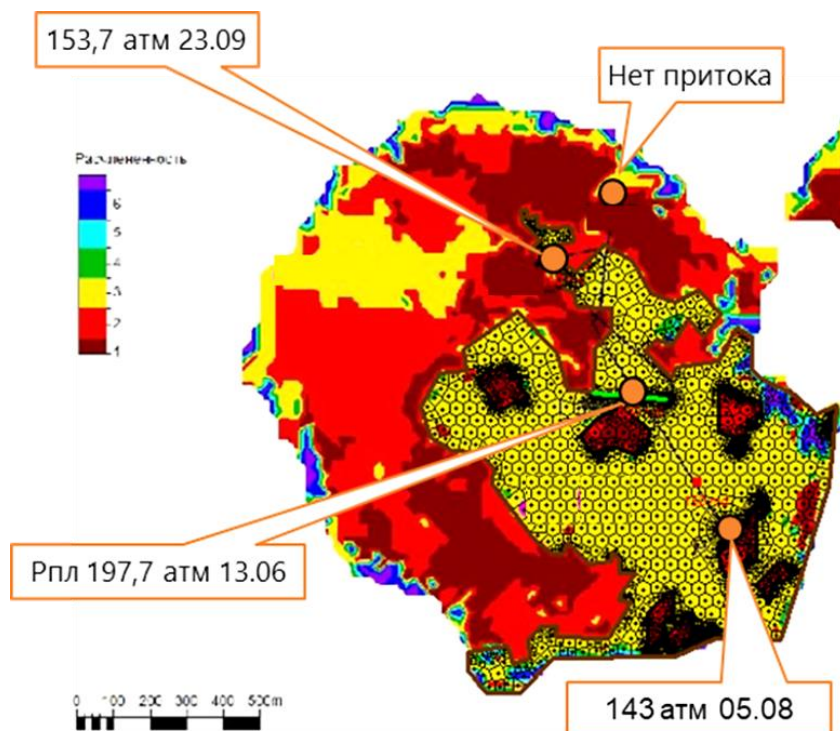


Рис. 4. Геометризация коллектора по сейсмофациям. Составлено авторами
Fig. 4. Reservoir geometrization based on seismic facies. By the authors

Выводы

Проведенное исследование подтверждает, что сложное строение и относительно низкая изученность карбонатных коллекторов Восточной Сибири обуславливают высокие требования к точности их геометризации. Традиционные методы сейсмического прогноза, несмотря на свою пространственную непрерывность, часто оказываются недостаточными для достоверного выделения продуктивных зон в условиях влияния интрузивных тел и зон засоления. Ключевой задачей при разработке таких месторождений остается не просто выявление структурных ловушек, но и точное оконтуривание коллектора с учетом его фильтрационно-емкостных свойств для обоснования размещения скважин и подсчета запасов углеводородов. Ошибки на этом этапе ведут к существенному росту капитальных затрат и снижению экономической эффективности проекта.

Рассмотренные в статье подходы к комплексированию результатов ГДИС и сейсморазведки продемонстрировали высокую практическую эффективность. Установлено, что интеграция динамических данных о работе

пласта с сейсмическими атрибутами (акустический импеданс, V_p/V_s) позволяет компенсировать недостатки каждого метода в отдельности.

Ретроспективная оценка бурения показала количественное преимущество предложенного метода. При использовании комплексной геометризации успешность эксплуатационного бурения составила бы 86,4 %, тогда как закладка скважин только по первоначальному поисковому признаку (выступы фундамента) обеспечила фактическую успешность на уровне 78,4 %. Полученные результаты верифицированы независимыми данными: стартовыми дебитами скважин, замерами пластового давления и результатами импульсного гидродинамического прослушивания. Выделенные зоны высокопродуктивного коллектора достоверно коррелируют с областями максимальных дебитов, что подтверждает правильность выбранной методики оконтуривания.

Таким образом, предложенный алгоритм геометризации может быть рекомендован к тиражированию на других месторождениях региона со схожим геологическим строением. Внедрение комплексного подхода позволяет существенно снизить геологические риски при бурении, оптимизировать программу развития месторождения и повысить коэффициент извлечения нефти.

Вклад авторов

Моргачёв Д. Д.: обработка и интерпретация данных; подготовка иллюстраций и текста статьи; окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Арбатский Т. С.: разработка концепции статьи; обработка и интерпретация данных; окончательно утвердил публикуемую версию статьи.

Кардашина О. Н.: подготовка текста статьи; окончательно утвердила публикуемую версию статьи.

Authors' contributions

Dmitrii D. Morgachev: data processing and interpretation; creating illustrations and writing; approved final version of article and accepted responsibility for all aspects of work.

Timur S. Arbatsky: conceptualization; data proceeding and interpretation; approved final version of article.

Olga N. Kardashina: writing; approved final version of article.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Список источников

1. Каячев Н. Ф., Назаров Д. В., Шуталев А. Д., Дадакин Н. М., Котельников И. А., Кутукова Н. М. Элизионные процессы как основные факторы формирования высокопродуктивных карбонатных коллекторов венд-кембрийских отложений Восточной Сибири. *Нефтяное хозяйство*. 2020;(5):16–21. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2020-5-16-21>

2. Кузнецов В. Г. *Природные резервуары нефти и газа карбонатных отложений*. Москва: Недра; 1992. 240 с.
3. Lucia F. J. *Carbonate reservoir characterization: an integrated approach*. 2nd ed. Berlin; Heidelberg: Springer, 2007. 264 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-72742-2>
4. Nelson R. A. *Geologic analysis of naturally fractured reservoirs*. 2nd ed. Houston : Gulf Professional Publishing, 2001. 349 p.
5. Tchistiakov A., Snegireva I., Spivakova M., Cheremisin A. DFN Modeling Approach in the Eastern Siberia Oil and Gas Condensate Carbonate Reservoir. First EAGE Workshop on Advances in Carbonate Reservoirs from Prospects to Development. *European Association of Geoscientists & Engineers*. 2024;(2024):1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024634037>
6. Kolesov V., Ter-Saakov S. Weak and Large Collector (Based on the Examples of the Eastern Siberia Carbonate Reservoirs). *Progress'19*. 2019. 2019;(1):1–5. *European Association of Geoscientists & Engineers*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201953051>
7. Okpoli C. C., Arogunyo D. I. Integration of well logs and seismic attribute analysis in reservoir identification on PGS field onshore Niger Delta, Nigeria. *Pakistan Journal of Geology*. 2020;4(1):12–22. <https://doi.org/10.2478/pjg-2020-0002>
8. Кульпин Л. Г. *Гидродинамические методы исследования скважин при упругом режиме фильтрации в ограниченных пластах : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук*. Москва : Московский ин-т нефтехим. и газовой промышленности им. И. М. Губкина; 1971. 24 с.
9. Деева Т. А., Камартдинов М. Р., Кулагина Т. Е., Мангазеев П. В., Панков М. В. *Гидродинамические исследования скважин*. Томск : Изд-во Томского политехнического университета; 2004. 340 с.
10. Okabe A., Boots B., Sugihara K., Chiu S. N. *Spatial tessellations: concepts and applications of Voronoi diagrams*. 2nd ed. Chichester; New York: Wiley, 2000. 696 p. (Wiley Series in Probability and Statistics).
11. Nikishin A. M., Startseva K. F., Verzhbitsky V. E., Cloetingh S., Malyshev N. A., Petrov E. I. [et al.]. Sedimentary basins of the East Siberian Sea and the Chukchi Sea and the adjacent area of the Amerasia Basin: seismic stratigraphy and stages of geological history. *Geotectonics*. 2019;53(6),635–657. <https://doi.org/10.1134/S001685211906010>
12. Bourdet D. *Well test analysis: the use of advanced interpretation models*. Amsterdam : Elsevier, 2002. 320 p.
13. Боганик Г. Н., Гурвич И. И. *Сейсморазведка*. Тверь : АИС; 2006. 744 с.

References

1. Kayachev N. F., Nazarov D. V., Shutalev A. D., Dadakin N. M., Kotelnikov I. A., Kutukova N. M. Elision processes as main factors in formation of high-productive carbonate rocks of vendian-cambrian deposits in Eastern Siberia. *Oil Industry*. 2020;5:16–21. (In Russ.). <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2020-5-16-21>
2. Kuznetsov V. G. *Natural reservoirs of oil and gas in carbonate sediments*. Moscow: Nedra; 1992. (In Russ.).
3. Lucia F. J. *Carbonate reservoir characterization: an integrated approach*. 2nd ed. Berlin; Heidelberg: Springer, 2007. 264 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-72742-2>
4. Nelson R. A. *Geologic analysis of naturally fractured reservoirs*. 2nd ed. Houston : Gulf Professional Publishing, 2001. 349 p.

5. Tchistiakov A., Snegireva I., Spivakova M., Cheremisin A. DFN Modeling Approach in the Eastern Siberia Oil and Gas Condensate Carbonate Reservoir. First EAGE Workshop on Advances in Carbonate Reservoirs from Prospects to Development. *European Association of Geoscientists & Engineers*. 2024;(2024):1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024634037>
6. Kolesov V., Ter-Saakov S. Weak and Large Collector (Based on the Examples of the Eastern Siberia Carbonate Reservoirs). *Progress'19*. 2019. 2019;(1):1–5. *European Association of Geoscientists & Engineers*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201953051>
7. Okpoli C. C., Arogunyo D. I. Integration of well logs and seismic attribute analysis in reservoir identification on PGS field onshore Niger Delta, Nigeria. *Pakistan Journal of Geology*. 2020;4(1):12–22. <https://doi.org/10.2478/pjg-2020-0002>
8. Kulpin L. G. *Hydrodynamic methods of borehole research under elastic filtration conditions in confined formations : abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences*. Moscow: Moscow. in-t neftekhim. and the I. M. Gubkin Gas Industry; 1971. (In Russ.).
9. Deeva T. A., Kamartdinov M. R., Kulagina T. E., Mangazeev P. V., Pankov M. V. *Hydrodynamic Research of Wells*. Tomsk: Tomsk Polytechnic University Press, 2004. (In Russ.).
10. Okabe A., Boots B., Sugihara K., Chiu S. N. *Spatial tessellations: concepts and applications of Voronoi diagrams*. 2nd ed. Chichester; New York: Wiley; 2000.
11. Nikishin A. M., Startseva K. F., Verzhbitsky V. E., Cloetingh S., Malyshev N. A., Petrov E. I. [et al.]. Sedimentary basins of the East Siberian Sea and the Chukchi Sea and the adjacent area of the Amerasia Basin: seismic stratigraphy and stages of geological history. *Geotectonics*. 2019;53(6),635–657. <https://doi.org/10.1134/S001685211906010>
12. Bourdet D. *Well test analysis: the use of advanced interpretation models*. Amsterdam: Elsevier; 2002.
13. Bogannik G. N., Gurvich I. I. *Seismic exploration*. Tver: AIS; 2006. (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the authors

Моргачёв Дмитрий Дмитриевич,
руководитель направления ООО «Газ-
промнефть НТЦ», Санкт-Петербург,
morgachelli@gmail.com

Dmitrii D. Morgachev, Man-
ager, Gazprom Neft Scientific and
Technical Center LLC, Saint Peters-
burg

Арбатский Тимур Сергеевич,
главный специалист ООО «Иркутская
нефтяная компания», г. Иркутск

Timur S. Arbatsky, Main Spe-
cialist, Irkutsk Oil Company LLC,
Irkutsk

Кардашина Ольга Николаевна,
специалист Инновационного исследова-
тельского центра «Газпром нефть-
ИТМО», Санкт-Петербург,
olgakardashina1@gmail.com

Olga N. Kardashina, Special-
ist, Gazprom Neft-ITMO Innovation
and Research Center, Saint-
Petersburg

Поступила в редакцию / Received 10.03.2026

Поступила после рецензирования / Revised 26.04.2026

Принята к публикации / Accepted 28.04.2026