

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2025.1.96-111>

EDN JGEWXM

УДК 622.276.031

**Ретроспективный анализ геологической изученности залежи
нефти в карбонатном резервуаре с целью выявления
объектов для доизучения и освоения**

Харочкин Я.И., Иванов П.А., Бурханов Р.Н.

*ГБОУ ВО «Альметьевский государственный технологический университет» -
«Высшая школа нефти», Альметьевск, Россия*

**Retrospective analysis of the geological study of oil deposits in a
carbonate reservoir in order to identify objects for further
exploration and development**

Y.I. Kharochkin, P.A. Ivanov, R.N. Burkhanov

Almetyevsk State University of Technology – Higher Petroleum School, Almetyevsk, Russia

E-mail: rino.yuroslav@mail.ru

Аннотация. В статье исследуется залежь нефти в карбонатных по составу данково-лебедянских отложениях нефтяного месторождения, которые отличаются пониженной продуктивностью по сравнению с ниже залегающими терригенными по составу верхне и среднедевонскими отложениями. Данково-лебедянские отложения только попутно изучались при активном освоении ниже залегающих высокопродуктивных пластов, этим объясняется их пониженная геологическая изученность. В условиях высокой выработанности основного эксплуатационного объекта, актуальность доизучения залежи в данково-лебедянском карбонатном резервуаре не вызывает сомнения. Обобщены сведения о геологической изученности залежи, включая керновые материалы, каротаж в открытом и закрытом стволе, данные опробования, испытания и разработки. Установлено, что структурный и литологический факторы являются определяющими в пространственном распределении нефтеносности в резервуаре. В скважинах, ранее пробуренных на основной эксплуатационный объект, для окончательного подтверждения нефтеносности предложенных перспективных интервалов перед вскрытием и опробованием рекомендуются исследования генератором нейтронов и углерод кислородного каротажа. При подтверждении нефтеносности обосновывается комплекс мероприятий по вовлечению в

разработку выявленных нефтеносных интервалов и залежей с добурированием боковых и горизонтальных стволов, гидроразрыва, кислотных обработок, одновременно-раздельной эксплуатацией и другими комплексами методов, признанными наиболее эффективными в карбонатных породах.

Ключевые слова: геофизические исследования, комплект испытательного инструмента, импульсный генератор нейтронов, углерод–кислородный каротаж, фильтрационные емкостные свойства, сверлящий керноотборник, результаты геологических исследований скважин, бурение горизонтальных стволов

Для цитирования: Харочкин Я.И., Иванов П.А., Бурханов Р.Н. Ретроспективный анализ геологической изученности залежи нефти в карбонатном резервуаре с целью выявления объектов доизучения и освоения // Нефтяная провинция.-2025.-№1(41).-С. 96-111. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2025.1.96-111>. - EDN JGEWXM

Abstract. The article studies an oil deposit in the carbonate dankov-lebedyansk sediments of the oil field, which are characterized by reduced productivity compared to the lower lying terrigenous Upper and Middle Devonian sediments. The dankov-lebedyansk sediments were sporadically studied during active development of highly productive reservoirs, which explains their low geological study. In the conditions of depletion of the main exploitation object, the relevance of additional study of the deposit in the dankov-lebedyansk horizon is undoubted. The data on the geological study of the deposit, including core materials, open and closed hole logging, sampling, testing and development data are summarized. It is proved that the reservoir is understudied and it is established that structural and lithological factors are determinant in the spatial distribution of oil-bearing capacity in the reservoir. In wells previously drilled for the main production object for final confirmation of oil-bearing capacity of the proposed promising intervals before stripping and sampling are recommended research by neutron generator and carbon oxygen logging. If oil-bearing capacity is confirmed, a set of measures is justified to involve the identified oil-bearing intervals and reservoirs into development with sidetracking and horizontal drilling, hydraulic fracturing, acid treatments, simultaneous separate exploitation and other methods recognized as the most effective in carbonate rocks.

Key words: logging, test tool set, pulsed neutron generator, carbon-oxygen logging, filtration capacitance properties, drill core sampler, well geologic results, horizontal borehole drilling

For citation: Y.I. Kharochkin, P.A. Ivanov, R.N. Burkhanov Retrospektivnyj analiz geologicheskoy izuchennosti zalezhi nefti v karbonatnom rezervuare s cel'yu vyyavleniya ob"ektov dlya doizucheniya i osvoeniya [Retrospective analysis of the geological study of oil deposits in a carbonate reservoir in order to identify objects for further exploration and development]. Neftyanaya Provintsiya, No.1(41), 2025. pp. 96-111. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2025.1.96-111>. EDN JGEWXM (in Russian)

Введение. В статье исследуются данково-лебединские отложения, нефтеносность которых на нефтяном месторождении доказана, карбонатные по составу, они отличаются пониженной продуктивностью по сравнению с ниже залегающими терригенными верхне и среднедевонскими отложениями. Относятся к средненефаменскому подъярису верхнедевонского отдела (Рис. 1). Разработка месторождения нефти началась в 1952 году и по технологической схеме было разделено на 22 площади по терригенным верхнедевонским франским отложениям [1]. К настоящему времени, на месторождении отобрано 87% извлекаемых запасов. Около 80% балансовых запасов разведанных категорий относятся к основным терригенным отложениям верхнего девона и 20 % относятся к карбонатному девону [7]. Этим объясняется актуальность исследования и доизучения залежи в данково-лебединском карбонатном резервуаре, которая не была вовлечена в освоение в связи с большей эффективностью для разведки и разработки ниже залегающих более продуктивных верхнедевонских пластов франского яруса.

Фаменский ярус сложен карбонатными и глинисто-карбонатными породами, в составе которых встречаются карбонатно-глинистые битуминозные и слабоглинистые и слабо-битуминозные разности. Включает в себя плотные, местами биогермные-органогенные, часто перекристаллизованные и доломитизированные известняки. Также часто встречаются переслаивающиеся битуминозные и окремнелые, окрашенные в темные цвета известняки, мергели с содержанием горючих и глинистых сланцев, аргиллиты с редкими прослоями доломитов [2]. Отметим, что нередко особенности литологического состава, связанные с доломитизацией и сульфатизацией известняков, повышающие их сопротивление могут быть приняты при интерпретации диаграмм электрического каротажа за насыщение нефтью.

К настоящему времени по фаменским карбонатным отложениям накоплен достаточно богатый керновый материал и выполнены все необходимые виды и объемы изучения, позволяющие судить о литологическом

строении, характере неоднородности и коллекторских свойствах пород, в том числе об отложениях данково-лебедянского горизонта. Всего поднято керны 339,7 м, из них 36,0 м нефтенасыщенного, что составляет 10,6 % к общей проходке. С целью поисков и разведки залежей нефти в данково-лебедянском горизонте проводились опробования и испытания комплектом испытательных инструментов КИИ, геофизические исследования в открытом стволе, в том числе углерод-кислородный С/О каротаж [3]. По результатам анализа геологической изученности были предложены скважины кандидаты, из числа ранее пробуренных на франские отложения, для дальнейшего доизучения и проведения опытно-промышленных работ. Для окончательного подтверждения нефтеносности в этих скважинах рекомендуется провести исследования с использованием генератора нейтронов и углеродно-кислородного каротажа. При получении благоприятных данных вскрыть и опробовать перспективные интервалы. Если наличие нефти подтвердится, то необходимо разработать комплекс мер по включению в процесс эффективной разработки выявленных нефтеносных интервалов, включая бурение дополнительных боковых и горизонтальных скважин ЗБС, проведение гидроразрыва ГРП, кислотных обработок и других методов, признанных наиболее эффективными для работы с карбонатными породами [4, 5].

Структурный каркас карбонатной части разреза ограничен снизу репером «аяксы», сверху кровлей турнейского яруса, в его составе рассматриваются елецко-задонский и данково-лебедянский горизонты, заволжский надгоризонт (Рис. 1), образцы кернов которых представлены на рис. 2 [6]. Данково-лебедянские отложения сложены плотными, доломитизированными, мелкозернистыми, трещиноватыми, глинистыми с включениями ангидрита известняками, содержащими в себе относительно небольшие промышленные запасы углеводородов.

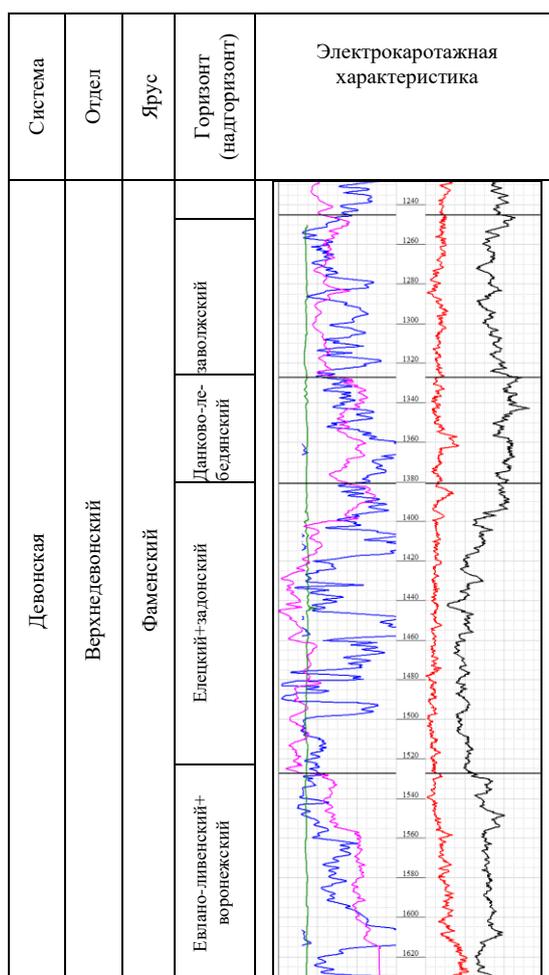


Рис. 1. Электрокаротажная характеристика верхнедевонских отложений

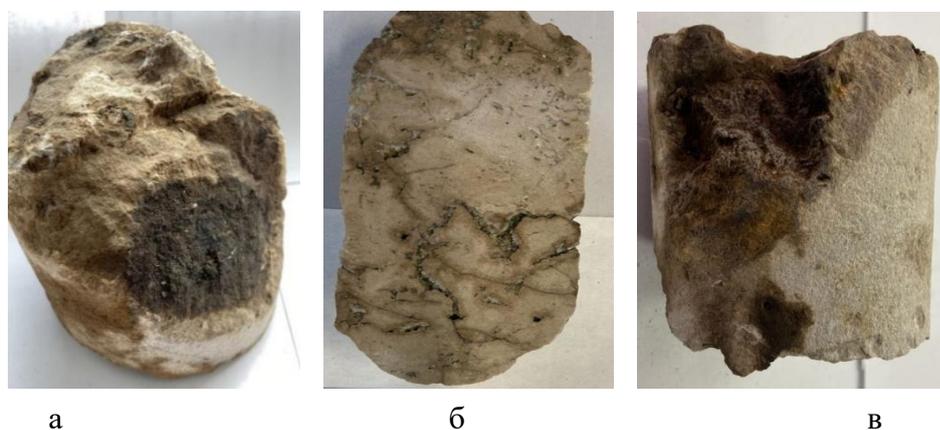


Рис. 2. Образцы керна фаменского яруса в сравнении (горизонты: а – елецкий; б – данково-лебедянский; в – заволжский)

Целью работы является привлечение внимания к фаменским отложениям, в качестве объекта доразведки и дополнительного исследования с целью выявления продуктивных интервалов и вовлечения их в разработку.

Обоснование направлений доизучения и освоения данково-лебединского горизонта проводится на основе анализа ранее проведенных исследований и работ. Для детального доизучения и выделения нефтенасыщенных интервалов предлагаются методы С/О каротажа, импульсного генератора нейтронов ИГН, а также проведение на скважинах опытно-промышленных работ, таких как соляно-кислотная-обработка СКО, перфорация, гидравлический разрыв пласта и других технологий, показавших свою эффективность в карбонатных коллекторах [7].

Нефтесодержащие породы данково-лебединского горизонта обладают схожими характеристиками по литологии, составу, петрофизическим свойствам и коллекторским свойствам. Разрез отложений включает несколько пластов, обозначаемые Д_{дл-4}, Д_{дл-3}, Д_{дл-2} и Д_{дл-1} [8, 9]. Общая толщина нефтеносных пластов изменяется в пределах от 1,6 до 11,1 при среднем значении 4,7 м. Нефтеносность связана с пластами Д_{дл-4} и Д_{дл-3} в основном в при-сводовой части структур. Среднее значение эффективной нефтенасыщенной толщины изменяется от 1 м до 7 м, где распространённость и выдержанность каждого из продуктивных пластов различна [10]. Нефтеносность относится к карбонатным породам-коллекторам, представленными органо-генно-детритовыми, сгустковыми известняками и доломитами, показанными на рис. 2. Нефтенасыщенность пород послойно неравномерна и приурочена к пористо-каверново-трещинным участкам, залегающим под региональной карбонатной крышкой. Отметим, что и коллектора и крышки сложены одинаковыми литологическими разностями пород.

Методика работ включала анализ геологической изученности, который отражает полноту и достоверность информации о геологическом строении залежи нефти. Исследование второстепенных и возвратных объектов на многопластовых месторождениях производится с помощью транзитных скважин. Так как процесс изучения изучаемых отложений занял значительный промежуток времени в десятки лет и проводился попутно с основным

эксплуатационным объектом, сбор, систематизация и обобщение информации из различных источников в настоящее время представляют собой довольно сложную задачу. Были проанализированы первичные и вторичные источники информации. К первичным источникам информации относятся геофизические исследования, а также данные по отбору полноразмерного керна и образцов сверлящими керноотборниками, испытаниям пластов комплектом испытательных инструментов и вторичного вскрытия. К вторичным источникам относятся макроописания керна, отбивки пластопересечений, лабораторные исследования фильтрационно-ёмкостных свойств керна ФЕС, результаты испытания и опробования. Эти данные использовались для построения карт изученности, структурных карт и карт изопахит, которые применялись в качестве картографической основы для выявления перспективных на нефть зон. Сводный результат анализа геологической изученности фаменских отложений представлен в табл. 1. Отбор и исследование ФЕС, макроописание полноразмерных образцов керна представлены в 3,71, данные опробования и первичного вскрытия в 2 % скважин. Изученность оценивалась как процент скважин, в которых проведены исследования к общему числу скважин, вскрывших пласт, представлена в табл. 1.

Таблица 1

Сводка по геологической изученности

Вид изученности (по количеству исследований в скважинах)	Описание и источник изученности	Изученность, %	Количество скважин (с признаками нефти)
Количество скважин	-	-	350
Отбор и исследование керна (с признаками нефти)	Макроописание, исследование ФЕС	3,71	6(4)
СКО	Краткое описание	3,14	3(нет)
ГИС в открытом стволе (отсутствуют сведения)	Сканы, las файлы М1:200 и 1:500	-	350(нет)
РИГИС в открытом стволе (с признаками нефти)	Заключение ГИС в открытом стволе	33,71	107(12)
Опробование, испытание (с признаками нефти)	КИИ-146, КИИ-95	2	5(4)

Продолжение таблицы 1

Вид изученности (по количеству исследований в скважинах)	Описание и источник изученности	Изученность, %	Количество скважин (с признаками нефти)
Комплексные исследования в колонне (с признаками нефти)	ИГН, С/О-каротаж, компл. исследования	8,28	19(1)
Первичное или вторичное вскрытие (отключен, вода)	Бескорпусная перфорация, ГРП, ЗБС и фильтр щелевой	2,57	8(1)

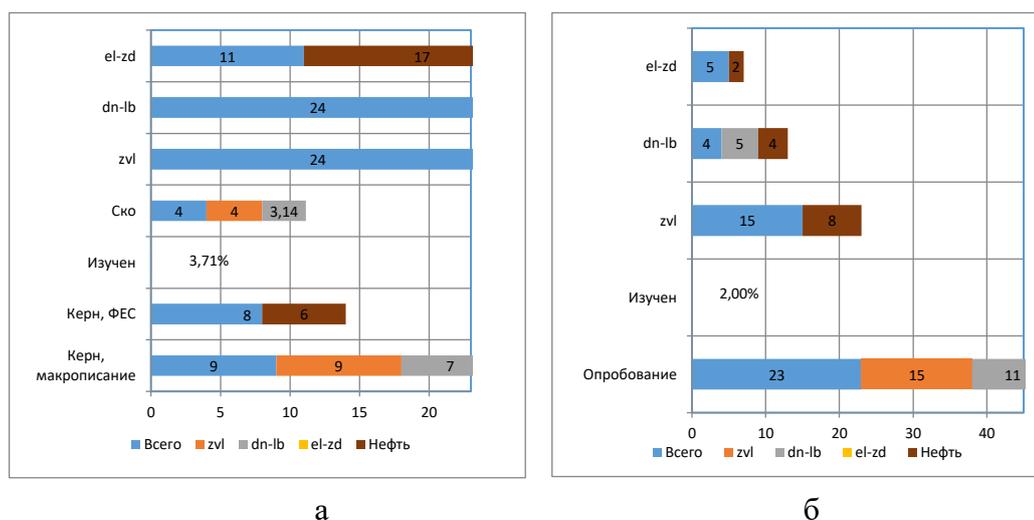


Рис. 3. Геологическая изученность фаменских отложений в сравнении по горизонтам (а – керн, б – опробование и первичное вскрытие)

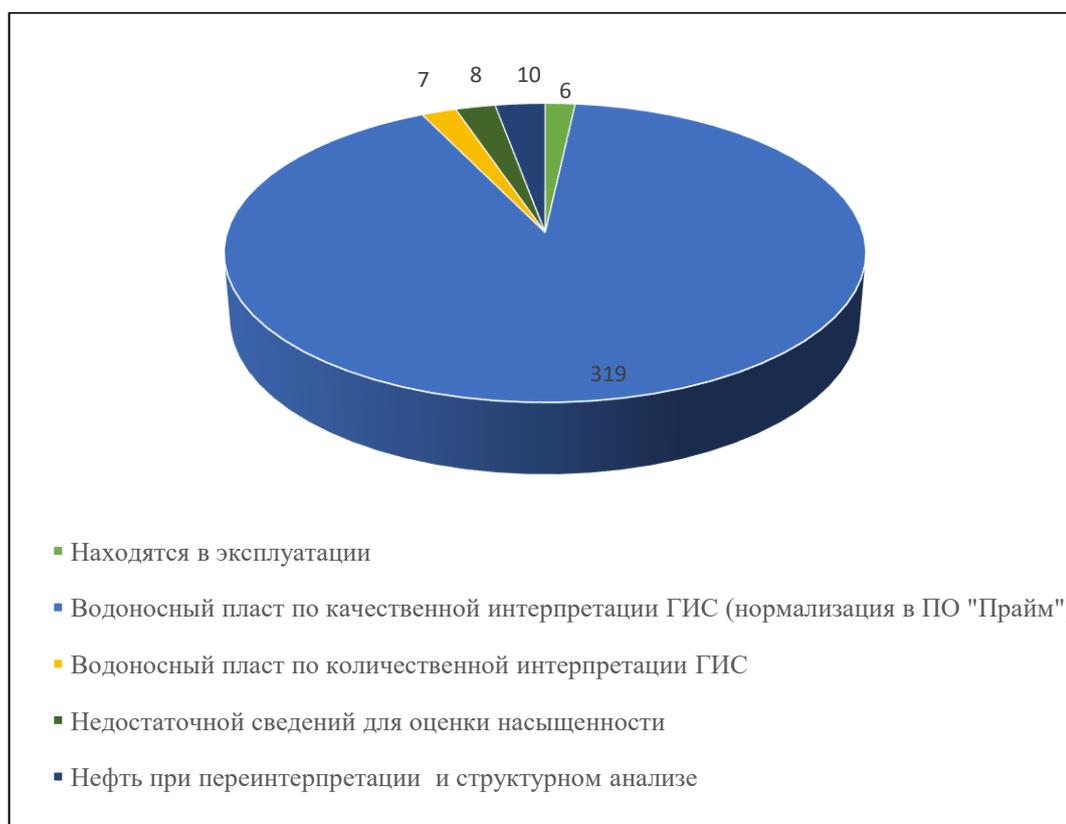
На рис. 3 изученность данково-лебебянского горизонта представлена графически в сравнении с заволжским надгоризонтом и елецко-задонским горизонтом, также характеризующихся пониженной изученностью. В эксплуатации на данково-лебебянский горизонт находятся 6 из 350 скважин, имеющих пласт пересечение. В небольшом количестве скважин в 5,7 % проводились следования ИГН и С/О каротаж. Переинтерпретация ранее проведенного каротажа проводилась с уточнением граничных значений выделения коллекторов и нефтенасыщенности, дополнительно анализировались исследования в колонне. По результатам этих работ выявлено 10 перспективных на нефть скважин. Результаты переинтерпретации РИГИС представлены в табл. 2 и графически на рис. 4. В одной из предложенных скважин

была подтверждена нефть по результатам исследования в колонне. Все сказанное указывает на необычайную сложность выделения перспективных объектов в данково-лебедянском горизонте, что требует привлечения всех инструментов геолого-геофизического прогнозирования нефтеносности.

Таблица 2

Сводка по РИГИС

Критерий	Значение
Всего скважин принятых к рассмотрению	350
Получена вода при испытаниях, нет проявлений нефти в керне, ИГН, получена вода при освоении	-
Находятся в эксплуатации	6
Водоносный пласт по качественной интерпретации ГИС	319
Водоносный пласт по количественной интерпретации ГИС	7
Недостаточно сведений для оценки насыщенности	8
Нефть при переинтерпретации и структурном анализе	10

**Рис. 4. РИГИС по данково-лебедянскому горизонту**

Уточнялись и анализировались карты изопахит и структурные карты данково-лебедянских отложений с учетом всех выявленных пласт пересечений. Рассматриваемая залежь имеет значительную протяжённость с севера на юг (обозначена голубым цветом на рис. 5). Включает серию более мелких поднятий в пределах изолиний от – 990 до -1015 м (Рис. 6). Приподнятые участки залежи отличаются пониженной толщиной, что хорошо иллюстрируется при корреляции отметок залегания и толщин. Так поднятые участки отличаются меньшей отметкой по абсолютной величине, им же соответствует меньшая толщина горизонта (Рис. 8). Изменение толщины пласта на изучаемом участке показано на рис. 7.

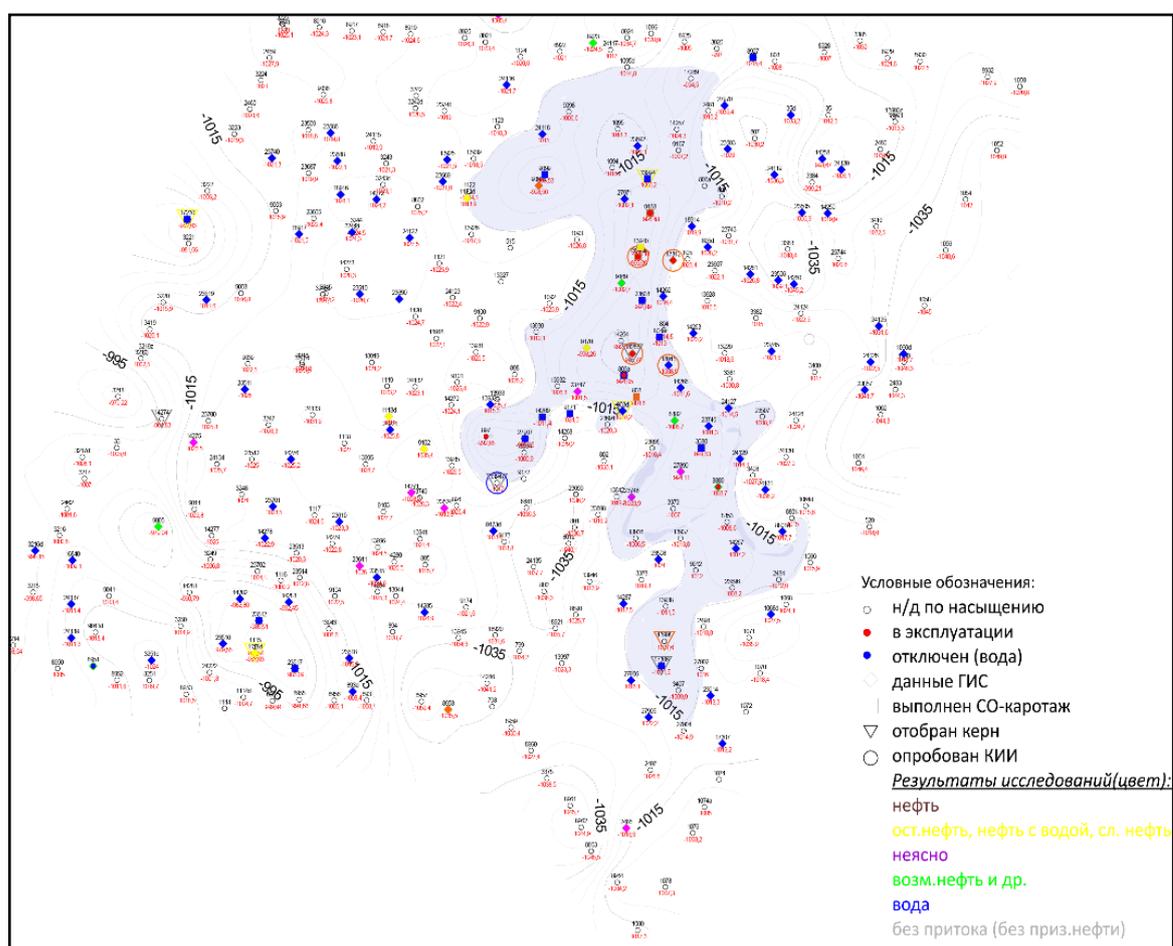


Рис. 5. Карта изученности данково-лебедянского горизонта

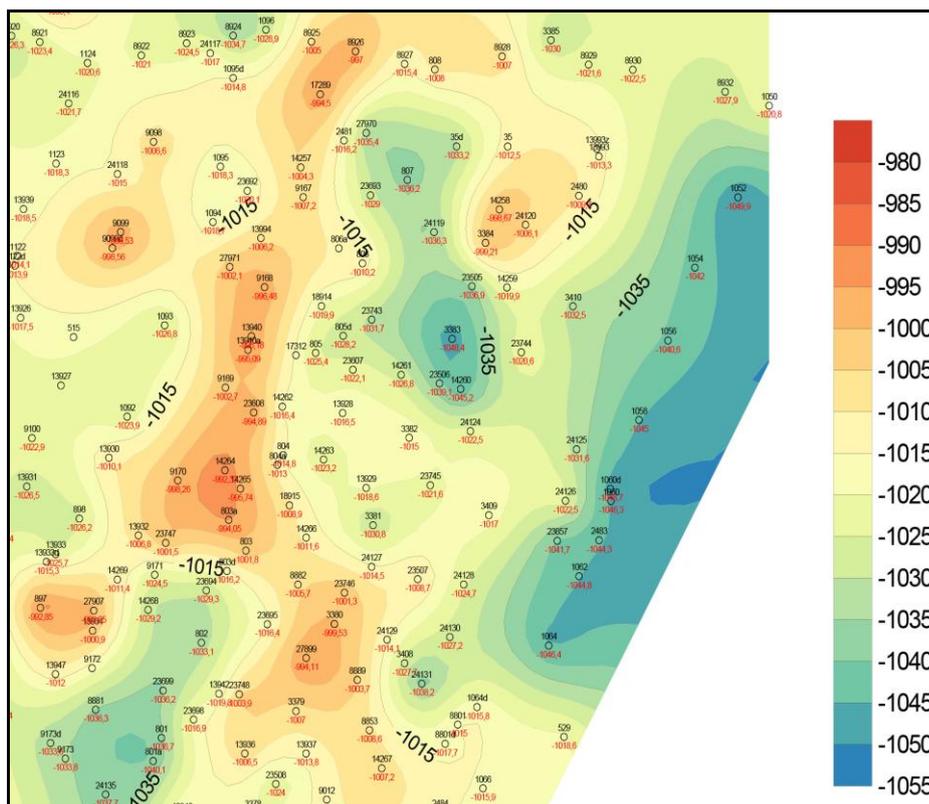


Рис. 6. Структурная карта по кровле данково-лебедянского горизонта

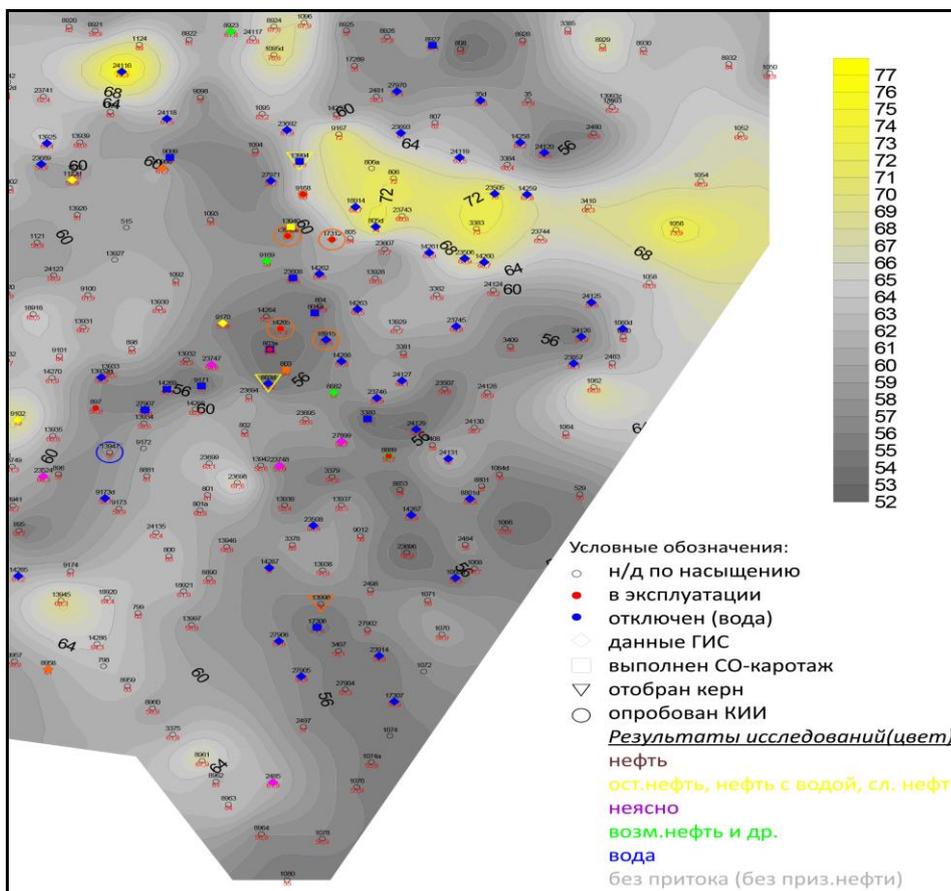


Рис. 7. Карта толщины данково-лебедянского горизонта

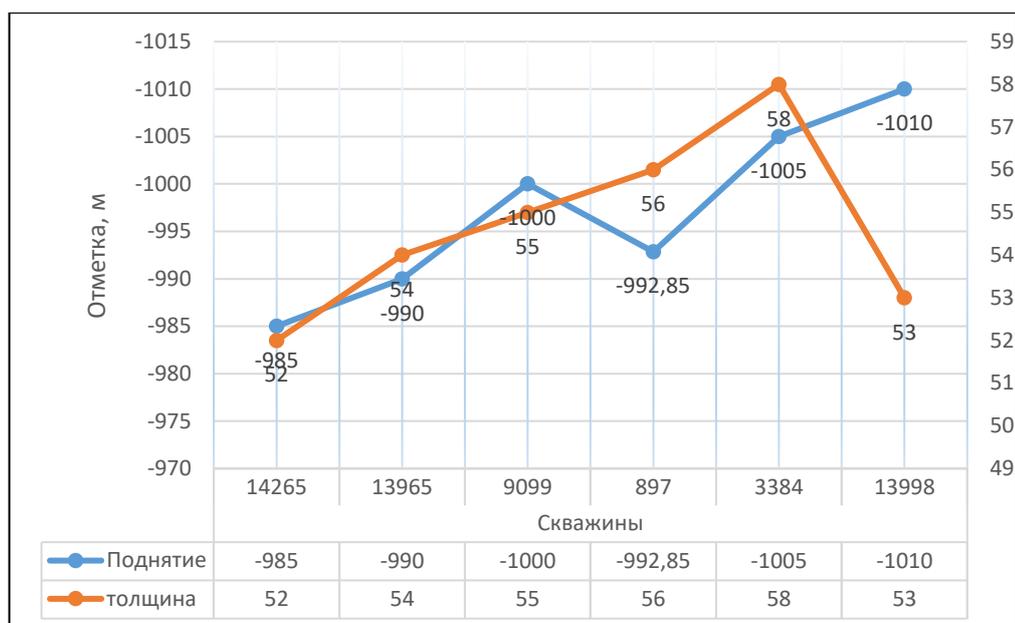


Рис. 8. Корреляция отметки залегания и толщины

Заметим, что большинство скважин с доказанной нефтеносностью расположены на крыле поднятия, что отличается от привычного представления, поскольку, как правило, нефть в первую очередь обнаруживают в сводовой части (Рис. 9). Вероятно, залежь относится к висячему типу, что бывает связано с активностью и напором гидродинамической системы или наличием литологического экрана при миграции и аккумуляции углеводородов. А корреляция между толщиной и отметкой залегания горизонта указывает на конседиментационный характер самого поднятия, когда формирование структуры происходит одновременно с накоплением осадка (Рис. 8).

Наиболее изученные участки залежи относятся к локальному поднятию, его склонам и подножию (Рис. 9). В ряде скважин №142**, №139**, №90**, №8**, №3***, №13*** нефтеносность, установленная по керну, каротажному материалу (ГК, НГК, ИНГК, ИГН, С/О), КИИ, подтвердилась исследованиями в колонне, в результате чего пласты были освоены.

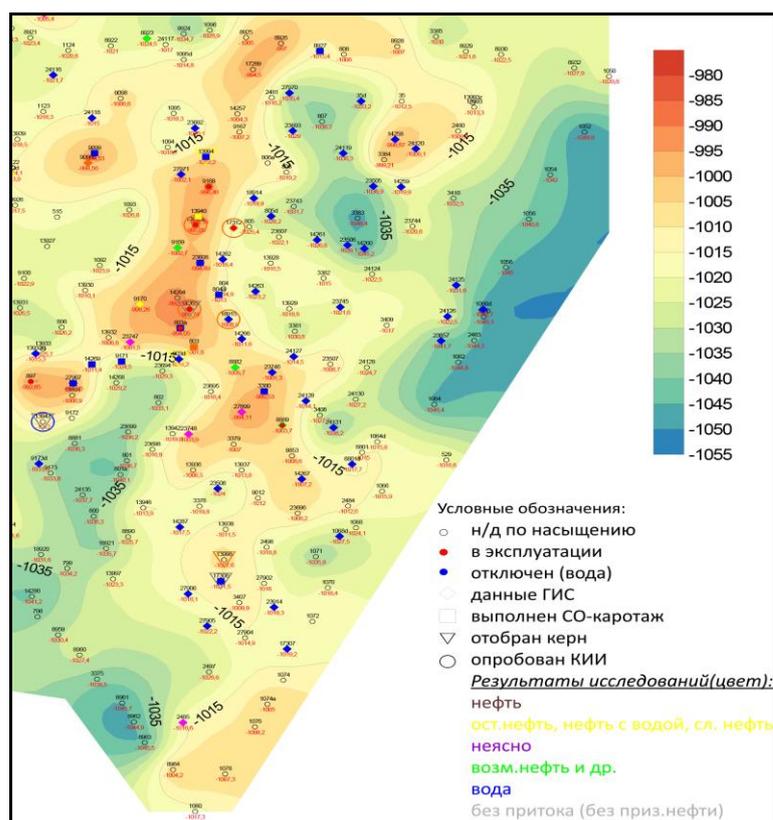


Рис. 9. Геологическая изученность, совмещенная с картой кровли данково-лебедянского горизонта

Для дальнейшего рассмотрения было предложено несколько перспективных скважин (Рис. 9), в которых на наш взгляд могут содержаться промышленные запасы углеводородов (№17***, №8***, №139**, №9***, №8***). Для этих скважин в интервалах залегания данково-лебедянских отложений предлагается геолого-геофизическое доизучение методами ИГН и С/О каротажа. Не всегда выявленная по керну или ГИС нефтеносность подтверждается КИИ или исследованиями в колонне, что может быть связано как с техническими, так и геологическими причинами. Проблемой разработки карбонатного резервуара является также близкое расположение с водоносными участками и пластами, что и является причиной, по которой большая часть скважин быстро обводняются. Для освоения и разработки данково-лебедянских отложений рекомендуется применение бурение горизонтальных скважин БГС, проведение соляно-кислотных обработок СКО, гидравлического разрыва пласта ГРП.

Список литературы

1. Зарипова Л.Р., Галеева Т.С., Исаева В.В., Филин Р.И. Технологическая схема разработки данково-лебедянских залежей Ромашкинского месторождения. Научно-технический отчет «Технологическая схема разработки данково-лебедянских залежей Ромашкинского месторождения. - Бугульма: ТатНИПИнефть. -2008.- 313 с.
2. Лозин Е.В. Детализация геологии карбонатов фаменского яруса в платформенном Башкортостане в связи с доразведкой их нефтеносности //Нефть Газ. - 2022. - №3. - С. 11-15.3.
3. Стандарт организации. Интерпретация ГИС, алгоритмы определения параметров продуктивных пластов нефтяных месторождений Республики Татарстан (2013). СТ-ТН-105, 36 с.
4. Бурханов Р.Н., Лутфуллин А.А., Максютин А.В. Алгоритм ретроспективного анализа по выявлению и локализации остаточных запасов разрабатываемого многопластового нефтяного месторождения // Георесурсы. – 2022. – Т.24, №3. – С. 125-138.
5. Муслимов Р.Х. (2007). Новый взгляд на перспективы развития супергигантского Ромашкинского нефтяного месторождения. Геология нефти и газа, № 1, с. 3-12.
6. Бурханов Р.Н., Лутфуллин А.А., Валиуллин И.В. Актуальные проблемы геологического изучения и вовлечения в разработку остаточных запасов нефтяного месторождения на поздней стадии // Бурение и нефть. - 2022. - №6. - С. 32-36.
7. Sayfitdinova Valentina Aleksandrovna, Dudareva Inessa Konstantinovna, Skorikova Evgenia Olegovna, Variakh Vadim Aleksandrovich, Permyakov Vladimir Georgievich (2020). Multilateral Well Placement in Carbonates of Volga-Ural Region in Russia. SPE Russian Petroleum Technology Conference. SPE-202043-MS
8. Губайдуллин, А.А. Типизация продуктивных разрезов карбонатных отложений девона и карбона на эксплуатационных землях Татарии в связи с петрофизическим районированием / А.А. Губайдуллин; ТатНИПИнефть. – Бугульма, 1985.
9. РД 153-390-778-12. Методическое руководство по технологиям разработки малоразведанных залежей, отдельных линз и залежей на поздней стадии скважинами с горизонтальным окончанием, наклонно-направленным и вертикальным окончанием и боковыми стволами с горизонтальным, наклонно-направленным и вертикальным окончанием. – Бугульма. – 2012. – 76 с.
10. Кадырова Л.Б. Критерии нефтеносности и оптимизация поисково-разведочных работ в локально-нефтеносных горизонтах на примере верхнедевонских карбонатных отложений южно-татарского свода: дис. канд. технических наук: 25.00.12 / Кадырова Лилия Булатовна. – Казань., - 2007. – 140 с.

References

1. Zaripova L.R., Galeeva T.S., Isaeva V.V., Filin R.I. Technological scheme for the development of the Dankovo-Lebedyansk deposits of the Romashkinskoye field. Scientific and technical report "Technological scheme for the development of the Dankovo-Lebedyansk deposits of the Romashkinskoye field. - Bugulma: TatNIPIneft. -2008.- 313 p. (in Russian)
2. Lozin E.V. Detailing the geology of Famensk carbonates in platform Bashkortostan in connection with the additional exploration of their oil content //Oil and Gas. - 2022. - No.3. - 11-15 p. (in Russian)
3. The standard of the organization. Interpretation of GIS, algorithms for determining parameters of productive formations of oil fields of the Republic of Tatarstan (2013). ST-TN-105, 36 p. (in Russian)

4. Burkhanov R.N., Lutfullin A.A., Maksyutin A.V. Algorithm of retrospective analysis for identification and localization of residual reserves of the developed multi-layer oil field // Geo resources. - 2022. – Vol. 24, No. 3. – pp. 125-138. (in Russian)
5. Muslimov R.H. (2007). A new look at the prospects for the development of the supergiant Romashkinskoye oil field. Geology of Oil and Gas, No. 1, pp. 3-12. (in Russian)
6. Burkhanov R.N., Lutfullin A.A., Valiullin I.V. Actual problems of geological study and involvement in the development of residual reserves of an oil field at a late stage // Drilling and oil. - 2022. - No.6. - pp. 32-36. (in Russian)
7. Sayfitdinova Valentina Aleksandrovna, Dudareva Inessa Konstantinovna, Skorikova Evgenia Olegovna, Bariakh Vadim Alexandrovich, Permyakov Vladimir Georgievich (2020). Multilateral Well Placement in Carbonates of Volga-Ural Region in Russia. SPE Russian Petroleum Technology Conference. SPE-202043-MS
8. Gubaidullin, A.A. Typification of productive sections of Devonian and carboniferous carbonate deposits on the operational lands of Tatarstan in connection with petrophysical zoning / A.A. Gubaidullin; TatNIPIneft. – Bugulma, 1985. (in Russian)
9. RD 153-390-778-12. Methodological guidance on technologies for the development of poorly explored deposits, individual lenses and deposits at a late stage by wells with horizontal termination, directional and vertical termination and lateral shafts with horizontal, directional and vertical termination. – Bugulma. – 2012. – 76 p. (in Russian)
10. Kadyrova L.B. Criteria of oil content and optimization of prospecting and exploration in locally oil-bearing horizons on the example of Upper Devonian carbonate deposits of the South Tatar arch: dis. candidate of Technical Sciences: 25.00.12 / Kadyrova Lilia Bulatovna. – Kazan., - 2007. – 140 p. (in Russian)

Сведения об авторах

Харочкин Ярослав Игоревич, студент, магистрант, ГБОУ ВО «Альметьевский государственный технологический университет» - «Высшая школа нефти»
Россия, 423450, Альметьевск, ул. Советская 210
E-mail: rino.yuroslav@mail.ru

Иванов Павел Алексеевич, студент, магистрант, ГБОУ ВО «Альметьевский государственный технологический университет» - «Высшая школа нефти»
Россия, 423450, Альметьевск, ул. Советская, 210
E-mail: pavel_ivanov_02@inbox.ru

Бурханов Рамис Нурутдинович, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой геологии, ГБОУ ВО «Альметьевский государственный технологический университет» - «Высшая школа нефти»
Россия, 423450, Альметьевск, ул. Советская, 210
E-mail: burkhanov_rn@mail.ru

Authors

Ya.I. Kharochkin, student, master student, Almetьевsk State University of Technology – Higher Petroleum School
210, Sovetskaya Str., Almetьевsk, 423450, Russian Federation
E-mail: rino.yuroslav@mail.ru

P.A. Ivanov, student, master student, Almetьевsk State University of Technology – Higher Petroleum School

210, Sovetskaya Str., Almeteyevsk, 423450, Russian Federation
E-mail: pavel_ivanov_02@inbox.ru

R.N. Burkhanov, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Department of Geology, Almeteyevsk State University of Technology – Higher Petroleum School
210, Sovetskaya Str., Almeteyevsk, 423450, Russian Federation
E-mail: burkhanov_rn@mail.ru

Статья поступила в редакцию 13.11.2024
Принята к публикации 21.03.2025
Опубликована 30.03.2025