

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ РЕСУРСОВ В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Оригинальная статья

УДК 553.982

<https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2024-15-4.art8>

Обзор основных тенденций в развитии сырьевой базы трудноизвлекаемых запасов олигоценых отложений хадумской свиты Восточного Предкавказья

А.Г. Кротова¹ ✉, И.В. Шпуров²

1 – Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

2 – Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых, Москва, Россия

Аннотация. *Актуальность.* Восточно-Предкавказскую нефтегазоносную область Терско-Каспийского нефтегазоносного бассейна сегодня нельзя назвать достаточно изученной для уверенного прогнозирования наиболее перспективных зон нефтегазонакопления. Наибольшие неопределенности геологического строения Восточного Предкавказья связаны с нефтегазоматеринскими породами хадумской свиты, запасы которой относятся к трудноизвлекаемым. *Цель работы.* Изучение изменчивости геолого-физических, фильтрационно-емкостных и продуктивных характеристик, связанных со сверхнизкопроницаемыми коллекторами, сложностью определения зон распространения коллектора и прогнозирования залежей углеводородов, с целью разработки новых подходов к доразведке для увеличения потенциала добычи. *Материалы и методы.* В статье представлен обобщенный взгляд на геологическое строение, литолого-стратиграфические особенности и нефтегазоносность отложений хадумской свиты. Были использованы данные региональных исследований по геологоразведочным работам, керну и промысловая информация нефтяных месторождений Восточного Предкавказья. *Результаты.* Проанализированы графики стартовых дебитов и накопленной добычи нефти по скважинам, было установлено отсутствие закономерности в распределении продуктивных характеристик в пределах месторождений. *Выводы.* Полученные результаты позволили предложить стратегический подход к доизучению хадумской свиты для целей доразведки и освоения ее высокого нефтяного потенциала, а также сформулировать необходимые шаги в рамках повестки «ТРИЗ». Для развития технологий разработки хадумских отложений требуется расширение базы данных геолого- и сейсморазведочных работ, и литолого-фациальное изучение кернового материала скважин. В свою очередь, разработка технологий геологического изучения, доразведки и добычи трудноизвлекаемых полезных ископаемых укладывается в общую стратегию Российской Федерации по увеличению ресурсной базы страны, а также является одним из основных научно-технических направлений в отрасли.

Ключевые слова: трудноизвлекаемые запасы, хадумская свита, Восточно-Предкавказская нефтегазоносная область, доразведка, добыча нефти

Финансирование: источники финансирования отсутствовали.

✉ Кротова Алина Григорьевна, e-mail: agkrotova@gmail.com

© Кротова А.Г., Шпуров И.В., 2024



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Кротова А.Г., Шпуров И.В. Обзор основных тенденций в развитии сырьевой базы трудноизвлекаемых запасов олигоценых отложений хадумской свиты Восточного Предкавказья // Актуальные проблемы нефти и газа. 2024. Т. 15, № 4. С. 430–444. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2024-15-4.art8>

Введение

Актуальность проблем разработки месторождений трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ) возрастает с каждым годом. Горно-геологические условия залежей, вводимых в разработку месторождений становятся сложнее, ухудшается структура запасов, усложняются технологии эксплуатации и добычи, повышаются риски капиталовложений.

Под ТРИЗ следует понимать такие запасы нефтегазовых месторождений, разработка которых возможна только с применением дорогостоящих технологий, нерентабельных при сложившейся системе налогов и льгот, а не только находящиеся в неблагоприятных горно-геологических условиях. Наиболее распространенный тип ТРИЗ – нефтематеринские карбонатно-глинистые отложения с предельно низкой проницаемостью, зонально распространенной трещиноватостью и отсутствием коллектора в привычном понимании [1].

На территории Восточного Предкавказья наиболее сложные и нетрадиционные объекты разработки расположены в палеогеновых отложениях (Р), с которыми связывают выявление залежей нефти на юго-востоке Ставропольского края [1].

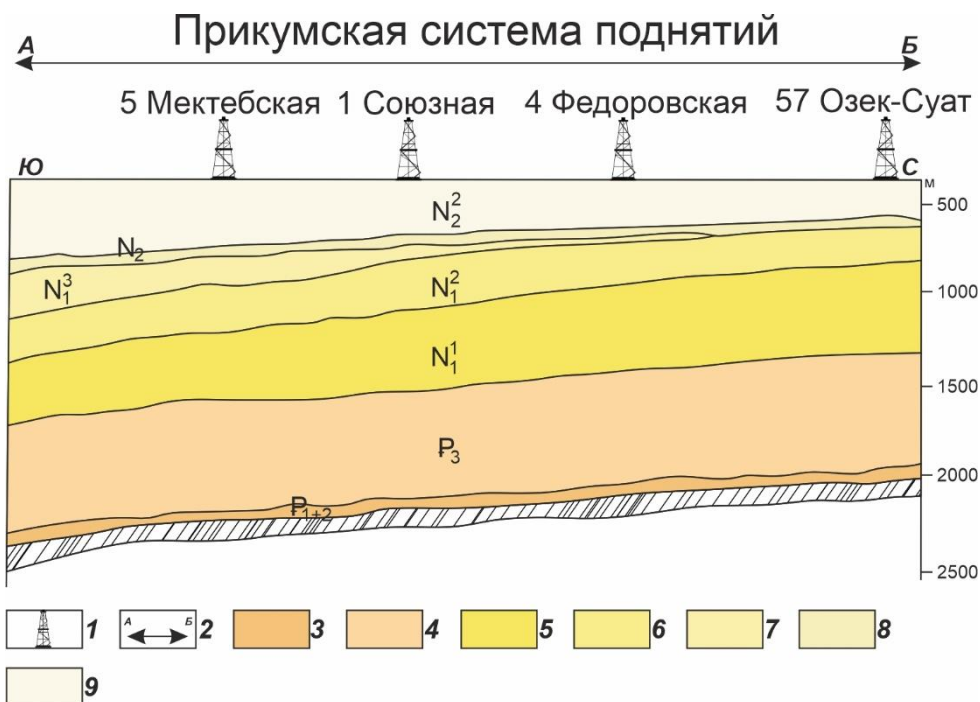
На протяжении многих лет изучением геологического строения олигоценых отложений занимались и занимаются многие научно-исследовательские институты и известные российские ученые –

Н.Б. Вассоевич, Ю.И. Корчагина, О.К. Баженова, Н.П. Фадеева и др. Изучено и проанализировано большое количество геологической, геофизической, литологической, геохимической информации. Однако хадумская свита (Р_{3hd}) является наименее изученной с точки зрения ТРИЗ. Ряд вопросов, касающихся неопределенностей ее геологического строения, прогнозирования нефтенасыщенных зон, доразведки и разработки до сих пор не имеет точных ответов. А упомянутые в статье труды [2–4] лишь подчеркивают необходимость дальнейших исследований региона, в частности, хадумской свиты [5–7], интерес к которой возрастает, как к потенциальному источнику «сланцевой» нефти.

Геологическое строение палеогеновых отложений

Палеогеновые (Р) отложения Восточного Предкавказья сложены слабо дислоцированными и практически неметаморфизованными породами палеоценового, эоценового и олигоценового отделов (рис. 1).

Палеоценовый отдел (Р₁) в нижней части (датский ярус) представлен плотными светло-серыми микрозернистыми известняками толщиной 2–5 м. Выше залегают темно-серые известковистые аргиллиты с прослоями мергелей. Граница с перекрывающими отложениями эоцена условна. Толщина – 40 м.



- 1 – скважины; 2 – профиль геологического разреза по линии А-Б;
- 3 – палеоцен-эоценовые отложения (P_{1+2}); 4 – олигоценные отложения (P_3);
- 5 – нижнемиоценовые отложения (N_1^1); 6 – среднемиоценовые отложения (N_1^2);
- 7 – верхнемиоценовые отложения (N_1^3); 8 – нижнеплиоценовые отложения (N_2);
- 9 – верхнеплиоценовые отложения (N_2^2)

Рис. 1. Геологический разрез кайнозойских (Kz) отложений Восточного Предкавказья через Прикумскую систему поднятий

Fig. 1. Geological section of the Cenozoic (Kz) sediments of the Eastern Pre-Caucasus through the Prikum system of uplifts

Источник/Source: [5–7]

Эоценовый отдел (P_2) представлен черкесской, кумско-керестинской и белоглинской свитами, которые сложены карбонатными аргиллитами, известняками и мергелями. Толщина от 73 до 202 м.

Олигоценный отдел (P_3) представлен майкопской серией (хадумская и баталпашинская свиты). Толщина от 260 до 520 м.

Нефтегазоносность

Согласно схеме нефтегазогеологического районирования изучаемая

Восточно-Предкавказская нефтегазоносная область расположена в северной части Терско-Каспийского нефтегазоносного бассейна.

В 2021 г. коллективом авторов [5] было выделено два типа разрезов, характеризующих литологическую неоднородность хадумских отложений (P_3hd): песчано-алевритисто-глинистый тип разреза, распространенный на Западном и Центральном Предкавказье и карбонатно-глинистый тип разреза, характерный для Восточного Предкавказья и Терско-Каспийского прогиба.

Нефтегазоносность отложений эоцена (P₂) и олигоцена (P₃) Восточного Предкавказья подтверждена открытием ряда месторождений, большим количеством нефтепроявлений при испытаниях скважин [1] и связана со сложными «нестандартными» глинистыми и глинисто-карбонатными листоватыми, плитчатыми и трещинными коллекторами с неэффективной матрицей. Залежи углеводородов хадумской свиты выявлены в пределах Восточно-Ставропольской впадины, Прикумской

системы поднятий и западного борта Терско-Каспийского прогиба [6].

Значительное количество залежей приурочено к Прикумской системе поднятий (рис. 2), где породы-коллекторы представлены разуплотненными листоватыми тонкоплитчатыми глинами и тонкими прослоями известняков, доломитов, мергелей, переслаивающимися с пластами плотных глин и мергелей, которые служат гидродинамическими экранами (рис. 3) [6].

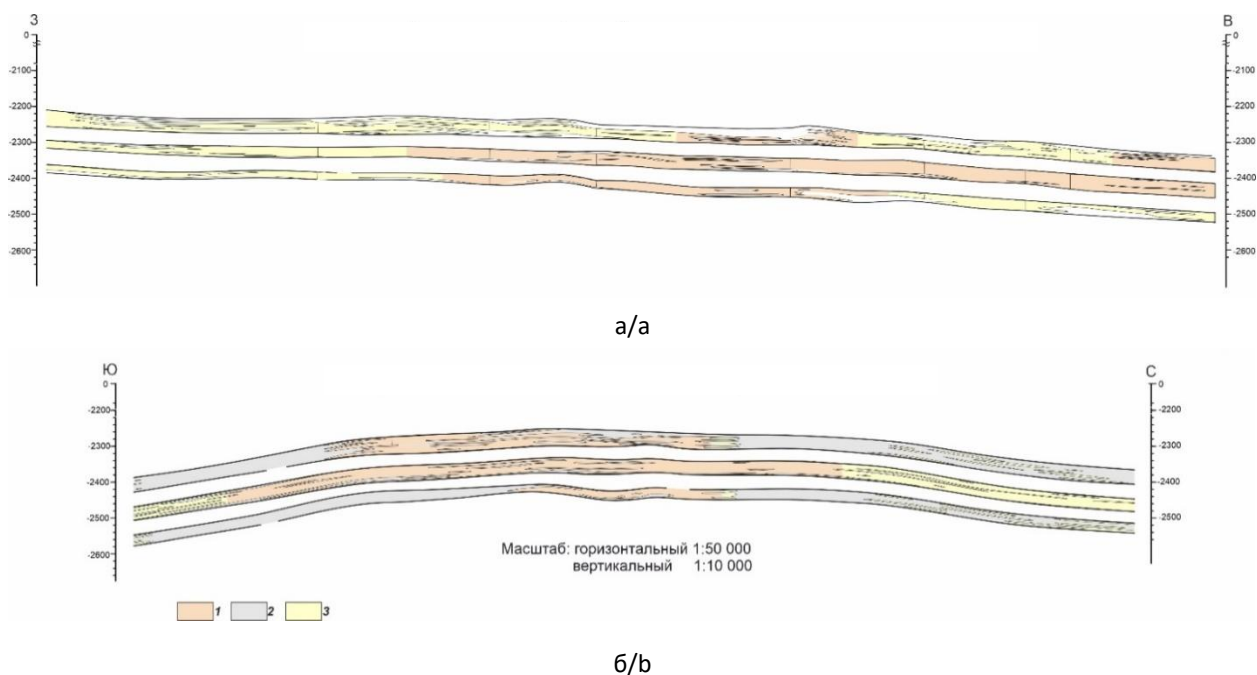


- Границы (1, 2, 3): 1 – Терско-Каспийского нефтегазоносного бассейна,
 2 – Восточно-Предкавказской нефтегазоносной области,
 3 – основных тектонических структур;
 4 – газовые месторождения; 5 – нефтяные месторождения;
 6 – профиль геологического разреза по линии А-Б

Рис. 2. Схема распространения нефтяных месторождений в области Прикумской системы поднятий

Fig. 2. The scheme of oil fields distribution in the area of the Prikum system of uplifts

Источник/Source: [6]



1 – коллектор, 2 – неколлектор; 3 – коллектор с неустановленной продуктивностью

Рис. 3. Типовой литолого-стратиграфический разрез эоцен-олигоценых отложений Восточного Предкавказья: а – в направлении с запада на восток; б – в направлении с юга на север

Fig. 3. The typical lithological and stratigraphic section of the Eocene–Oligocene sediments of the Eastern Pre-Caucasus region: а – in the direction from west to east; b – in the direction from south to north

Источник: по материалам СевКавНИПнефть (1985)

Source: derived from research by SevKavNIPneft (1985)

По данным лабораторных и гидродинамических исследований в интервалах наибольшего разуплотнения пород открытая пористость может достигать 22,6%, основной диапазон изменения трещинной пористости составляет 0,1–4,1%, в среднем 1,7%. По данным геофизических и гидродинамических исследований скважин проницаемость изменяется в среднем от 4×10^{-3} до 8×10^{-3} мкм², в среднем составляет $5,0 \times 10^{-3}$ мкм² [6].

Вероятно, наиболее продуктивные и перспективные участки связаны с зонами разуплотнения и повышенной трещиноватости. Однако на сегодняшний день однозначной методики выделения и прогнозирования коллекторов в отложениях

хадумской свиты не разработано, а существующие остаются недостаточно апробированными.

Предполагается, что факторами, определяющими разуплотненность пород, являются тектонические напряжения и расклинивающее воздействие углеводородов в процессе генерации. Характерно, что именно к этой зоне приурочена и максимальная битуминозность пород [2]. Отметим, что в сверхнизкопроницаемом типе коллекторов следует рассматривать не привычный процесс поршневого вытеснения углеводородов в процессе разработки, а движение флюида в пустотном пространстве под воздействием упругих сил сжимаемости.

Неопределенности геологического строения хадумских отложений

Несмотря на большой объем геолого-промысловых исследований, важно отметить, что имеются сложности при подсчете запасов ТРИЗ, выборе системы и технологий разработки месторождений со сверхнизкопроницаемыми коллекторами, создании методик оценки величины извлекаемых запасов, а также оптимальных методов заканчивания и вскрытия скважин.

Анализ основных результатов предшествующих исследований [4–6] позволил установить следующие геологические закономерности в строении залежей углеводородов в глинистых коллекторах хадумской свиты:

- залежи являются неструктурными, располагаются в присводовых и крыльевых частях современных структур;

- ловушки чаще всего литологически и/или тектонически экранированные, встречаются капиллярно-экранированные, которые образуются в результате появления экрана, созданного неодинаковостью капиллярных сил;

- коллектор развит неравномерно, что подтверждается неравномерностью распределения дебитов эксплуатационных скважин;

- флюидоупором выступают породы, близкие по литологическому составу к коллектору, но со сверхнизкими фильтрационно-емкостными свойствами.

Зона Восточного Предкавказья характеризуется преимущественно нефтяными месторождениями, а Западного – газовыми. На фазовый состав углеводородов, как известно, определяющее влияние оказывают такие факторы, как температура, давление, палеогеографические и тектонические условия. Подвижность и физико-химические свойства флюидов

определяются вязкостью, плотностью и газосодержанием.

С учетом всех параметров выстраивается подход к доразведке и разработке трудноизвлекаемых запасов, в связи с чем первоочередной задачей является устранение имеющихся неопределенностей геологического строения и фильтрационно-емкостных характеристик залежей месторождений.

Стратегию изучения хадумских отложений предлагается разделить на два этапа. Первый этап предполагает определение наиболее перспективных для разработки участков и площадей в пределах Восточно-Предкавказской нефтегазоносной области:

- уточнение стратиграфических границ хадумских отложений;

- изучение зон повышенного содержания органического углерода ($C_{орг}$), высокого генерационного потенциала (S_1+S_2), изучение типа органического вещества и термической зрелости методиками геохимического моделирования;

- выявление зон повышенной хрупкости пород на основе литолого-фациального анализа керна с использованием сейсморазведочных и геофизических данных [1];

- определение зон максимальных напряжений, очагов трещиноватости и зон разуплотнения (сейсмические работы по технологии сейсмической локации бокового обзора (СЛБО-3D) и геомеханические 1D–3D исследования) [1].

Исходя из результатов, полученных в ходе комплекса исследований первого этапа, в рамках второго этапа стратегии станет возможно конкретизировать геологические и фильтрационные характеристики в пределах конкретных выделенных участков:

– определить литолого-фациальную изменчивость состава пород по керну и результатам геофизического исследования скважин (ГИС) методиками литолого-фациального анализа;

– определить изменчивость фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС), нефтенасыщенных толщин и трещиноватости пород по керну и ГИС;

– уточнить модель пустотного пространства нефтенасыщенных пород;

– построить зональную геолого-геохимическую модель резервуара;

– построить локальные геологические модели месторождений с учетом геомеханических векторов напряжений;

– уточнить изменчивость по площади параметров пластовых флюидов (PVT исследования).

Важно отметить, что снятие только геологических неопределенностей в полной мере не решает все задачи, связанные с освоением ТРИЗ.

Помимо геологических, определены и технологические неопределенности ввиду отсутствия унифицированного типа заканчивания скважин, метода вскрытия и технологии проведения гидроразрыва пласта (ГРП).

Доразведка и разработка

Большинство разрабатываемых месторождений Восточного Предкавказья находится на завершающих стадиях разработки, а открытие новых месторождений проблематично. Это связано как с недостаточной разведанностью и изученностью региона, так и с исчерпаемостью запасов залежей традиционных углеводородов, находящихся в благоприятных горно-геологических условиях [1].

Одной из наиболее актуальных задач в пределах Восточного Ставрополя является поиск перспективных зон для доизучения палеогенового комплекса отложений, способного обеспечить дополнительный прирост запасов нефти и газа. Также необходима выработка оптимальной методики [1] для оценки ресурсного потенциала, геологического изучения, доразведки и разработки хадумской свиты и подобных ей коллекторов. Например, схожими по литолого-стратиграфическим и фильтрационно-емкостным свойствам являются кумско-керестинские (*Р₂km-kr*) керогенсодержащие отложения [1]. А в 2022 году на Экспертно-техническом совете Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых (Гутман И.С., Бондина А.М., Козлова Е.В., Потемкин Г.Н. Протокол № 7 от 25.05.2022 г. «Рассмотрение работы в области геологического изучения недр и разработки месторождений полезных ископаемых в части анализа и оценки методических подходов обоснования характера продуктивности палеогеновых отложений на объектах Ставропольского края на основе анализа геолого-геофизической, геохимической и гидродинамической информации») было обосновано отнесение кумско-керестинской свиты к нефтематеринским продуктивным отложениям.

Хадумские отложения являются нефтематеринскими и представлены карбонатно-глинистыми породами, на сегодняшний день все еще не выработан сценарный подход к геологическому изучению, разведке и добыче ТРИЗ ввиду осложняющих геологических и технологических неопределенностей [1].

Перспективы разработки трудно-извлекаемых запасов эоцен-олигоценых отложений Восточного Предкавказья сопряжены с двумя подходами. Первый подход подразумевает актуальное на текущий момент направление отрасли – «sweet point» (сладкие участки) – развитие технологий для детализации геологического строения с целью локализации областей с лучшими коллекторскими свойствами [1].

В условиях повышенного внимания в отрасли к нетрадиционным запасам, фильтрационно-емкостные и продуктивные свойства которых обусловлены преимущественно трещиноватостью, наибольший интерес и интенсивное развитие приобретают методы сейсморазведки, позволяющие прогнозировать очаги трещиноватости и зоны разуплотнения с повышенными фильтрационными характеристиками [8].

Сейсморазведочные технологии прогнозирования трещиноватости отличаются по типам волн и методикам обработки сейсмограмм, а также по способам получения информации, так как в некоторых случаях требуются специальные полевые работы. Наиболее перспективные сейсморазведочные технологии по прогнозу трещиноватости основаны на специальных методах обработки рассеянных, дифрагированных (СЛБО-3D, FractureCSP) и дуплексных волн (глубинная миграция).

Отдельно стоит выделить работы Хромовой И.Ю. [8–10], посвященные именно дуплексным волнам, обработанным с помощью глубинной миграции, которые по ряду месторождений Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции дали успешные результаты по прогнозированию наиболее продуктивных зон в пределах баженовской свиты.

Таким образом, подход нацелен на поиск наиболее перспективных участков пласта с повышенной естественной трещиноватостью.

Второй подход предполагает не поиски места, а интенсивное опробование наиболее известных технологий заканчивания и вскрытия скважин в низкопроницаемых отложениях. Методов горизонтального бурения и многостадийного гидроразрыва пласта для создания техногенной трещиноватости и увеличения зоны дренирования [1] в отрасли известно множество. Основная проблема заключается в отсутствии универсальной, апробированной и доказавшей эффективность технологии добычи нефти хадумских ТРИЗ.

В качестве предложений для отработки на участках опытно-промышленных работ можно рассмотреть подходы, основывающиеся на совокупном мировом опыте по разработке низкопроницаемых коллекторов:

- бурение горизонтальных скважин (ГС) с изменением длины горизонтального участка от 1000 до 1500 м;
- проведение многостадийного гидроразрыва пласта (МГРП) с увеличением количества стадий до 10;
- кластерный подход к МГРП для создания многотрещиноватости благодаря сочленению естественной и техногенной – например, технология Plug-&Perf;
- апробирование разных жидкостей ГРП – например, стандартной жидкости на основе гуарового геля; ксантана и гибридных жидкостей;
- апробирование скоростей и объемов закачки для уточнения оптимального расстояния между трещинами, параметров трещин и доли работающих трещин.

Каждый из вариантов является самодостаточным в реализации, однако, установление оптимального подхода к доразведке и технологии воздействия видится в комплексном подходе к проблеме разработки ТРИЗ и объединении двух разнонаправленных методик. Во-первых, очевидна необходимость в доизучении исследуемого региона сейсморазведочными, геологоразведочными и промысловыми работами, так как на текущий момент он все еще является недостаточно изученным. Во-вторых, поиск методов технической стимуляции сверхнизкопроницаемых коллекторов – это основа разработки таких объектов в будущем.

Немаловажно отметить, что объединение двух подходов может оказать существенное положительное влияние на равномерность освоения

хадумских отложений в пределах всего региона, а не только на отдельных наиболее продуктивных участках.

Отражение геологических и технологических неопределенностей можно увидеть в результатах испытаний 89 скважин, опробованных на хадумской свите в пределах Восточно-Предкавказской НГО, в 32 из которых приток не был получен.

Аналогично, из анализа стартовых дебитов 25 скважин, пребывавших в эксплуатации, можно отметить, что наибольшее число скважин характеризуется дебитами до 5 и до 10 т/сут и только одна скважина имела входной дебит 37 т/сут. Распределение скважин по накопленной добыче нефти имеет аналогичный характер, наибольшее число скважин находится в интервале до 5 тыс. т (рис. 4).

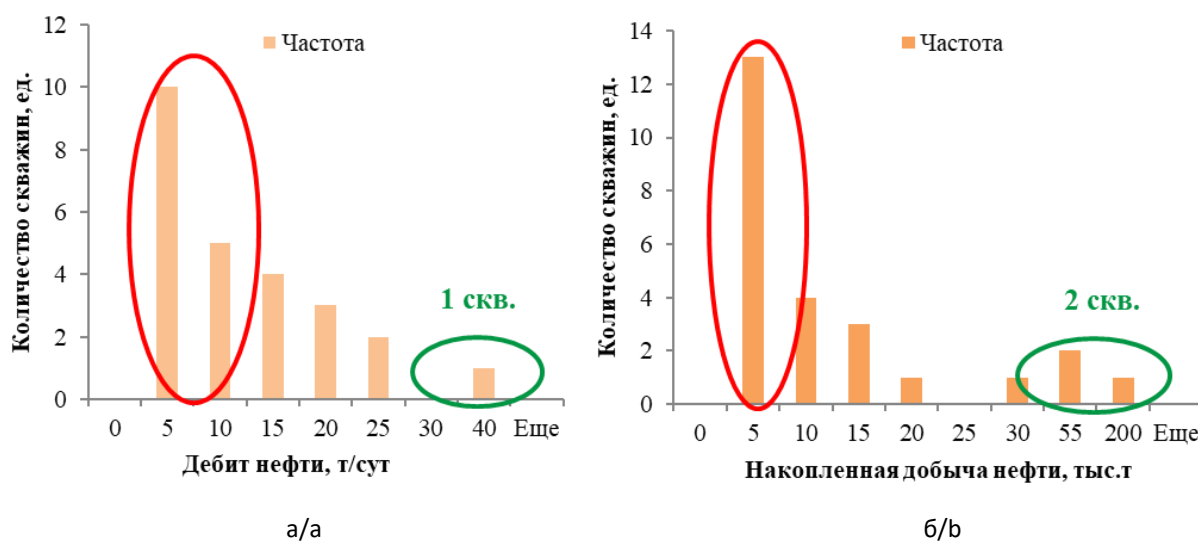


Рис. 4. Гистограммы распределения стартовых дебитов (а) и накопленной добычи нефти (б) по эксплуатационным скважинам хадумской свиты месторождений Восточного Предкавказья

Fig. 4. Distribution histograms of start rates (a) and cumulative oil production (b) by production wells of the Khadum Formation of the fields of the Eastern Pre-Caucasus

По нашему мнению, такие результаты работы скважин связаны не только с неоднородным распределением ФЕС в пределах свиты, но

и с отсутствием апробированных технологий вскрытия и опробования скважин, для большинства из которых характерно:

– отсутствие закономерности в распределении продуктивных характеристик в пределах месторождений и быстрое снижение дебитов – в течение полугода–двух лет;

– непродолжительный эффект от геолого-технических мероприятий (обработка призабойной зоны пласта, большие объемные соляно-кислотные обработки) – 1-2 месяца, увеличение дебита происходит не более чем в 1,5 раза.

«Проекты ТРИЗ»

На Государственном балансе в пределах Восточно-Предкавказской нефтегазонасыщенной области запасы хадумской свиты числятся всего на 12 месторождениях, общие геологические запасы нефти которых по всем категориям составляют 183 млн т, извлекаемые – 26 млн т, накопленная добыча составила 731 тыс. т. При этом, только на 6 месторождениях велась разработка хадумских объектов, в связи с чем можно сделать вывод о недостаточности геолого-промысловых данных по этим отложениям для успешной промышленной разработки.

Отдельное внимание следует уделить новым видам лицензирования – «НТ» («Новый Тип»), которые предусматривают разработку технологий геологического изучения, разведки и добычи трудноизвлекаемых полезных ископаемых.

Возможность выделять полигоны ТРИЗ и выполнять технические проекты в рамках особого вида лицензирования оказали значительное влияние на полярность интересов всей нефтегазовой отрасли. В последние годы возвращается интерес к доизучению зрелого южного региона Восточного Предкавказья и, в частности, к хадумской свите.

Решение отраслевых вызовов и задач, связанных с геолого-технологическими неопределенностями, становится реальнее

благодаря льготам, предоставляемым в рамках таких проектов. Важной их частью являются адресные программы опробования различных технологий бурения и заканчивания скважин, вскрытия пластов по выделенным участкам опытно-промышленных работ. Задачи программы заключаются в поиске наиболее эффективных решений с их динамичным изменением и адаптацией для конкретных горно-геологических условий на месторождениях.

Проекты предусматривают как использование результатов опробования стандартных технологий бурения и исследований, так и возможность проверить нестандартные комбинации комплексных подходов:

– бурение пилотных стволов с отбором керна и проведением расширенного комплекса ГИС;

– непрерывные гидродинамические исследования с помощью мобильных блочных установок, промыслово-геофизические исследования;

– петрофизические и геомеханические исследования керна;

– использование микросейсмичности и имиджей высокого разрешения в процессе бурения ГС;

– сейсмический мониторинг при ГРП, развивающиеся технологии МГРП, новые составы и пропанты жидкости разрыва.

Подходы не новые, но успешный опыт их применения известен лишь в пределах Волго-Уральской и Западно-Сибирской нефтегазонасыщенных провинций, где изученность доманиковых и баженовских низкопроницаемых коллекторов несопоставимо превосходит изученность хадумских отложений. Первоочередные задачи работ в пределах Восточного Предкавказья – это снятие неопределенностей, поиск апробированных методов добычи.

Достоверные результаты геолого-разведочных работ, изучение керна и насыщающих флюидов являются основой для проектирования геолого-технических мероприятий и выбора технологий эксплуатации и должны обеспечивать высокий технико-экономический потенциал проектов по разработке ТРИЗ, которые способны значительно увеличить прирост рентабельных запасов.

Выводы

В условиях выработки запасов традиционных коллекторов Восточного Предкавказья Терско-Каспийского НГБ, повышается интерес к нетрадиционным коллекторам с высоким нефтяным потенциалом.

Отмечено, что наиболее сложные объекты для разработки в регионе связаны с залежами палеогеновых отложений – хадумской и, как аналога, кумско-керестинской свит, которые являются наименее изученными ТРИЗ по сравнению с отложениями баженовской и доманиковой свит.

На сегодняшний день появляется возможность выделения полигонов ТРИЗ и получения отдельных видов лицензий «НТ» для опытно-промышленных работ с целевым назначением – «разработка технологий геологического изучения, разведки и добычи трудноизвлекаемых полезных ископаемых», что увеличивает потенциальный интерес к региону у недропользователей.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список источников

1. Кротова А.Г., Шнуров И.В. Тенденции в развитии сырьевой базы трудноизвлекаемых запасов на примере олигоценых отложений Восточного Предкавказья // Ломоносовские чтения.

Авторами предложен стратегический подход к доизучению хадумской свиты, в рамках которого выделено два этапа. Первый этап направлен на определение наиболее перспективных участков, второй нацелен на уточнение геологических характеристик конкретных выделенных участков. Стратегия должна обеспечить возможность снятия геологических и технологических неопределенностей, не позволяющих на данный момент вести разработку объектов хадумской свиты, как традиционных.

В условиях недостаточной изученности нефтематеринских пород хадумской свиты, для целей доразведки и освоения ее высокого нефтяного потенциала сформулированы необходимые пути решения в рамках повестки «ТРИЗ»:

– разрабатывать технологии детализации разнопродуктивных геологических участков и интервалов разреза;

– разрабатывать технологии локализации областей с лучшими коллекторскими свойствами для месторождений, находящихся на различных стадиях разработки;

– апробировать технологии заканчивания и первичного вскрытия с МГРП с определением оптимальных;

– разработать критерии и методику оценки величины извлекаемых запасов и прогнозирования основных показателей разработки для трудноизвлекаемых запасов хадумских отложений.

Секция геологии. Подсекция геологии и геохимии горючих ископаемых: Сб. тезисов докладов научной конференции. М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2024. С. 38–39.

2. *Дудаев С.А.* Геолого-геофизическое обеспечение технологий выделения, оценки и освоения нетрадиционных глинистых коллекторов Предкавказья: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Уфа, 2012. 50 с.

3. *Бабина Е.О., Мордасова А.В., Ступакова А.В.* и др. Условия накопления олигоцен-нижнемиоценовых майкопских клиноформ Центрального и Восточного Предкавказья как ключевой критерий прогноза природных резервуаров // *Георесурсы*. 2022. Т. 24, №2. С. 192–208. <https://doi.org/10.18599/grs.2022.2.18>

4. *Немцов Н.И., Березий А.Е., Гогоненков Г.Н.* и др. Уточнение перспектив нефтегазоносности и приоритетных направлений геолого-разведочных работ в Северо-Кавказском федеральном округе по результатам региональных направлений геолого-разведочных работ 2020–2022 гг. и ранее проведенных исследований // *Геология нефти и газа*. 2023. № 4. С. 176–190. <http://doi.org/10.47148/0016-7894-2023-4-176-190>

5. *Краснова Е.А., Ступакова А.В., Стафеев А.Н.* и др. Геологическое строение и палеогеографическая зональность хадумского горизонта Предкавказского региона // *Георесурсы*. 2021. Т. 23, № 2. С. 99–109. <https://doi.org/10.18599/grs.2021.2.9>

6. *Яндарбиев Н.Ш., Фадеева Н.П., Козлова Е.В., Наумчев Ю.В.* Геология и геохимия хадумской свиты Предкавказья – как потенциального источника «сланцевых» углеводородов // *Георесурсы*. 2017. № 5. С. 208–226. <http://doi.org/10.18599/grs.19.21>

7. *Стафеев А.Н., Ступакова А.В., Краснова Е.А.* и др. Палеогеографические предпосылки нефтегазоносности хадумского горизонта (нижний олигоцен) Предкавказья // *Георесурсы*. 2023. Т. 25, № 2. С. 89–104. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.2.7>

8. *Хромова И.Ю.* Практическое сравнение методик прогноза трещиноватости по сейсмическим данным // *Технологии сейсморазведки*. 2010. № 2. С. 62–69.

9. *Хромова И.Ю.* Миграция дуплексных волн – метод картирования трещиноватых зон тектонического генезиса // *Геология нефти и газа*. 2008. № 3. С. 37–47.

10. *Khromova I., Link B., Marmalevskiy N.* Comparison of seismic-based methods for fracture permeability prediction // *First Break*. 2011. Vol. 29, No. 1. P. 37–44. <https://doi.org/10.3997/1365-2397.2011001>

Информация об авторах

Алина Григорьевна Кротова – аспирант, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; SPIN-код: 2614-6861, <https://orcid.org/0009-0007-2130-9882>; e-mail: agkrotova@gmail.com

Игорь Викторович Шпуров – д.т.н., профессор, генеральный директор, Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых, Москва, Россия; <https://orcid.org/0000-0002-7262-1557>; e-mail shpurov@gkz-rf.ru

Поступила в редакцию 15.10.2024

INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR OIL AND GAS RESOURCES EXPLOITATION IN COMPLICATED GEOLOGICAL AND CRITICAL ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Original article

<https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2024-15-4.art8>

A review of the main trends in the development of the raw material base of hard-to-recover reserves of Oligocene deposits of the Khadum Formation of the Eastern Pre-Caucasus region

A.G. Krotova¹✉, I.V. Shpurov²

1 – Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

2 – State Commission on Mineral Reserves, Moscow, Russia

Abstract. *Background.* Currently, the Eastern Pre-Caucasian oil and gas region of the Terek-Caspian oil and gas basin cannot be considered sufficiently studied to confidently predict the most promising oil and gas accumulation zones for production. The greatest uncertainties in the geological structure of the Eastern Pre-Caucasus are associated with oil and gas mother rocks of the Khadum Formation, the reserves of which are classified as difficult to recover. *Objective.* To study the variability of geological and physical, filtration-capacitive and productive characteristics associated with ultralow-permeability reservoirs, the complexity of determining reservoir distribution zones and predicting hydrocarbon deposits, in order to develop new approaches to additional exploration to increase production potential. *Materials and methods.* The paper presents a generalized view of the geological structure, lithological and stratigraphic features and oil and gas content of the Khadum Formation sediments. The data of regional studies on geological exploration, core and field information on the oil fields of the Eastern Pre-Caucasus were used. *Results.* The graphs of starting rates and accumulated oil production by wells were analyzed, and no regularity in the distribution of productive characteristics within the fields was found. *Conclusions.* The obtained results allowed us to propose a strategic approach to the pre-study of the Khadum Formation for the purposes of additional exploration and development of its high oil potential, as well as to formulate the necessary steps within the framework of the hard-to-recover reserves development agenda. To develop technologies for the development of Khadum sediments, it is necessary to expand the geological and seismic exploration database and lithological and facial studies of well core material. In turn, the development of technologies for geological exploration, additional exploration and production of hard-to-recover minerals fits into the general strategy of the Russian Federation to increase the country's resource base, and is one of the main scientific and technical directions in the industry.

Keywords: hard-to-recover reserves, Khadum Formation, Eastern Pre-Caucasian oil and gas region, additional exploration, oil production

Funding: the work received no funding.

✉ Alina G. Krotova, e-mail: agkrotova@gmail.com

© Krotova A.G., Shpurov I.V., 2024



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

For citation: Krotova A.G., Shpurov I.V. A review of the main trends in the development of the raw material base of hard-to-recover reserves of Oligocene deposits of the Khadum Formation of the Eastern Pre-Caucasus region. *Actual Problems of Oil and Gas*. 2024. Vol. 15, No. 4. P. 430–444. (In Russ.). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2024-15-4.art8>

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

References

1. Krotova A.G., Shpurov I.V. Trends in the development of the raw material base of hard-to-recover reserves on the example of Oligocene deposits of the Eastern Pre-Caucasus. *Lomonosov Readings. Geological Section. Subsection of Geology and Geochemistry of Combustible Fossils: Collected Abstracts of the Scientific Conference*. Moscow: Lomonosov Moscow State University, 2024. P. 38–39. (In Russ.).
2. Dudaev S.A. Geological and geophysical support of technologies for the isolation, evaluation and development of unconventional clayey reservoirs of the Pre-Caucasus region. Dr. Sci. diss. abstr. Ufa, 2012. P 50. (In Russ.).
3. Babina E.O., Mordasova A.V., Stoupakova A.V. et al. Sedimentation of the Oligocene-Lower Miocene clinoforms of the Maikop formation in the Eastern and Central Pre-Caucasus region as a key criteria for reservoir exploration. *Georesursy*. 2022. Vol. 24, No. 2. P. 192–208. (In Russ.). <https://doi.org/10.18599/grs.2022.2.18>
4. Nemtsov N.I., Berezii A.E., Gogonenkov G.N. et al. The results of regional exploration and prospecting activities of 2020–2022 and previous studies: update of hydrocarbon potential and exploration and prospecting priority areas in North Caucasus Federal District. *Geologiya nefi i gaza*. 2023. No. 4. P. 176–190. (In Russ.). <https://doi.org/10.47148/0016-7894-2023-4-176-190>
5. Krasnova E.A., Stoupakova A.V., Stafeev A.N. et al. Geological structure and paleogeographic zoning of the Khadum formation in Pre-Caucasus. *Georesursy*. 2021. Vol. 23, No. 2. P. 99–109. (In Russ.). <https://doi.org/10.18599/grs.2021.2.9>
6. Yandarbiev N.Sh., Fadeeva N.P., Kozlova E.V., Naumchev Yu.V. Khadum Formation of Pre-Caucasus region as potential source of oil shales: geology and geochemistry. *Georesursy*. 2017. No. S. P. 208–226. (In Russ.). <http://doi.org/10.18599/grs.19.21>
7. Stafeev A.N., Stoupakova A.V., Krasnova E.A. et al. Paleogeographic approach for the oil and gas potential assessment of the Khadum Formation (Lower Oligocene) in Pre-Caucasus Basin. *Georesursy*. 2023. Vol. 25, No. 2. P. 89–104. (In Russ.). <https://doi.org/10.18599/grs.2023.2.7>
8. Khromova I.Yu. I.Yu. Practical comparison of methods of fracture prediction from seismic data. *Tekhnologii seismorazvedki*. 2010. No. 2. P. 62–69. (In Russ.).
9. Khromova I.Yu. Migration of duplex waves as a method of mapping fractured zones of tectonic genesis. *Geologiya nefi i gaza*. 2008. No. 3. P. 37–47. (In Russ.).
10. Khromova I., Link B., Marmalevskiy N. Comparison of seismic-based methods for fracture permeability prediction. *First Break*. 2011. Vol. 29, No. 1. P. 37–44. <https://doi.org/10.3997/1365-2397.2011001>

Information about the authors

Alina G. Krotova – Postgraduate, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;
<https://orcid.org/0009-0007-2130-9882>; e-mail: agkrotova@gmail.com

Igor V. Shpurov – Dr. Sci. (Eng.), Professor, General Director, State Commission on Mineral Reserves, Moscow, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-7262-1557>; e-mail: shpurov@gkz-rf.ru

Received 15.10.2024