

НОВЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ БАССЕЙНОВ

Оригинальная статья

УДК 553.982

<https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2025.12>

Исследование геолого-геохимических свойств отложений хадумской свиты для выделения перспективных участков освоения трудноизвлекаемых запасов углеводородов

А.Г. Кротова¹ ✉, И.В. Шпуров²

1 – Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1

2 – Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых, Россия, 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 54, стр. 1

Аннотация. *Актуальность.* Современная нефтяная промышленность уделяет все большее внимание увеличению нефтеотдачи трудноизвлекаемых запасов. Результаты немногочисленных промысловых испытаний без применения геолого-технических мероприятий по интенсификации притоков ограничивают возможности обоснования критериев для выделения перспективных участков освоения и опытно-промышленных работ. Изучение особенностей пород хадумской свиты (Р_{3hd}) Восточно-Предкавказской нефтегазоносной области проводилось по данным образцов керна со сверхнизкими фильтрационно-емкостными свойствами. В качестве индикаторов нефтеносности предлагается обосновать и использовать определенные геохимические свойства пород и органического вещества и пиролитические параметры. *Цель работы.* Изучение изменчивости геохимических свойств хадумских отложений, выявление между ними зависимостей для последующего выделения наиболее перспективных зон нефтегазоносности по группе геолого-геохимических критериев. *Материалы и методы.* Приведены геохимические характеристики и сопоставление основных пиролитических параметров пород хадумской свиты. Использованы данные пиролиза (методом Rock-Eval) образцов керна хадумской свиты, промысловые данные поисково-разведочных скважин. *Результаты.* Установлено преобладание двух типов керогена и выделены два типа пород с различным углеводородным потенциалом. Составлены схемы распределения основных геохимических характеристик хадумской свиты и распространения установленных типов пород с различным углеводородным потенциалом в пределах Восточного Предкавказья. *Выводы.* Предложен новый подход к выделению наиболее перспективных нефтегазоносных участков в пределах распространения хадумской свиты на основе геохимических критериев, основывающийся на выделении двух типов пород-коллекторов с различающимся по параметрам S₁, S₂, T_{max}, HI, OSI углеводородным потенциалом.

Ключевые слова: хадумская свита, трудноизвлекаемые запасы, геолого-геохимические свойства, геохимические индикаторы нефтеносности, Восточное Предкавказье

✉ Кротова Алина Григорьевна, agkrotova@gmail.com

© Кротова А.Г., Шпуров И.В., 2025



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Финансирование: источники финансирования отсутствовали.

Для цитирования: Кротова А.Г., Шпуров И.В. Исследование геолого-геохимических свойств отложений хадумской свиты для выделения перспективных участков освоения трудноизвлекаемых запасов углеводородов // Актуальные проблемы нефти и газа. 2025. Т. 16, № 2. С. 167–186. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2025.12>

Введение

В пределах Восточного Предкавказья одной из актуальных задач нефтегазовой отрасли является поиск оптимальных технологий разработки и добычи трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ). Доразведка хадумских отложений данного региона может обеспечить дополнительный прирост запасов углеводородов за счет ТРИЗ, что является важной частью стратегического планирования по поддержанию уровня добычи в стране.

При обобщении современного состояния сырьевой базы и тенденций в развитии ТРИЗ олигоценых отложений Восточного Предкавказья был предложен стратегический подход к доизучению хадумской свиты с целью освоения ее высокого нефтяного потенциала, предусматривающий поэтапную реализацию работ по доразведке с последующей апробацией технологических решений на участках опытно-промышленных испытаний и их масштабированием [1].

В последние десятилетия высокоуглеродистые породы хадумской свиты Восточно-Предкавказской нефтегазоносной области рассматриваются в качестве основных перспективных объектов освоения нетрадиционных источников углеводородов (УВ). Накопленный объем геолого-промысловых данных является недостаточным для уверенного прогнозирования нефтеносности.

В условиях сверхнизкопроницаемых коллекторов выделение нефтенасыщенных толщин по ГИС невозможно ввиду отсутствия апробированной методики. Анализ корреляции общих толщин подтверждает отсутствие прямой взаимосвязи с известными, уже открытыми продуктивными участками Восточного Предкавказья [2]. Особенности строения отложений хадумской свиты требуют нестандартных подходов к оценке на стадии поисково-оценочных и разведочных работ.

Терско-Каспийский нефтегазоносный бассейн не имеет накопленной информативной геологической базы, не является достаточно инвестиционно-привлекательным для недропользователей, для сейсморазведочных работ и поисково-разведочного бурения.

Важным этапом при планировании доразведки и разработки ТРИЗ является определение геологических критериев, оказывающих влияние на промышленную продуктивность.

Известными индикаторами нефтеносности можно назвать высокие современные температуры, пластовые давления, содержание $C_{орг}$ и генерационный потенциал (Generation Potential – GP). Эти показатели могут быть использованы при обосновании проектных решений для геологического изучения и добычи трудноизвлекаемых запасов хадумских продуктивных отложений Восточно-Предкавказской нефтегазоносной области.

Целью работы является изучение изменчивости геохимических свойств хадумских отложений, выявление между ними зависимостей для последующего выделения наиболее перспективных зон нефтегазоносности по группе геолого-геохимических критериев.

Таким образом, выявленные закономерности по результатам геохимических исследований можно рассматривать в качестве критериев для выделения перспективных участков по геолого-геохимическим свойствам. Настоящее исследование посвящено обсуждению основных геохимических индикаторов нефтеносности хадумских отложений (*Р₃hd*).

Материалы и методы

В работе приводятся геохимические характеристики и сопоставление основных пиролитических параметров пород хадумской свиты. Использованы данные пиролиза (методом Rock-Eval) образцов керн хадумской свиты, промысловые данные поисково-разведочных скважин.

Результаты и обсуждение

Геолого-геохимические свойства хадумской свиты

В пределах Восточного Предкавказья, в связи с повышенным интересом к нетрадиционным коллекторам хадумских отложений, обобщение и анализ накопленной геологической базы знаний сопровождается необходимостью поисков новых подходов к доизучению и доразведке. Особое внимание, в рамках вопроса о ТРИЗ нетрадиционных коллекторов, было уделено выявлению закономерностей в распределении и изменчивости геохимических свойств.

Одной из важных целей выявления особенностей геолого-геохимических свойств пород является корректное прогнозирование наиболее перспективных зон нефтегазоаккумуляции в пределах распространения хадумских продуктивных отложений. Необходимой задачей становится установление влияния геолого-геохимических факторов на критерии выделения зон с улучшенными промысловыми характеристиками по качественным и количественным признакам.

В рамках первого этапа исследования по определению таких участков при опытно-промышленных работах (ОПР) было выполнено аналитическое исследование геохимических свойств пород с учетом результатов [3–5], полученных ранее ведущими учеными в данной области (Н.Б. Вассоевич, О.К. Баженова, Н.П. Фадеева, Т.А. Горягина, Н.Ш. Яндарбиев, В.Ю. Керимов, С.С. Дмитриевский и др.).

Особое внимание было уделено изучению методик исследования и определения зон повышенного содержания органического углерода (C_{org}), высокого генерационного потенциала (S_1+S_2) и типа органического вещества (ОВ) [6–7]:

C_{org} или ТОС (Total Organic Carbon) – массовая концентрация органического углерода в породе;

S_1 – суммарное массовое содержание УВ (C_1 - C_{14}) метанового ряда, относящихся к легким битумоидам (преимущественно, маслам) и сорбированным в органическом веществе свободным УВ (жидким и газообразным);

S_2 – суммарное массовое содержание углеводородных компонентов тяжелой нефти (C_{15} - C_{40}), относящихся к тяжелым битумоидам (смолам и асфальтенам) и керогену.

Сумма параметров S_1+S_2 является показателем генерационного потенциала нефтематеринских пород – GP, отражающего, насколько нефтематеринские породы богаты керогеном, а его величина определяет объем битумоидов и легких УВ, в связи с чем первоначальной целью анализа геохимических параметров являлось определение наиболее перспективных зон, в которых наблюдается повышенный генерационный потенциал – содержание керогена, способного преобразовываться в нефть [2].

В настоящем исследовании использовались результаты пиролиза (201 обр. по 47 скв., пробуренным на территории Восточного Предкавказья).

По результатам пиролитических исследований содержание органического углерода ($C_{орг}$, %) в пределах отложений хадумской свиты (P_3hd) составляет от 0,21% до 7,21%; при этом модальное и медианное значения – 2,6% и 2,3% соответственно (рис. 1).

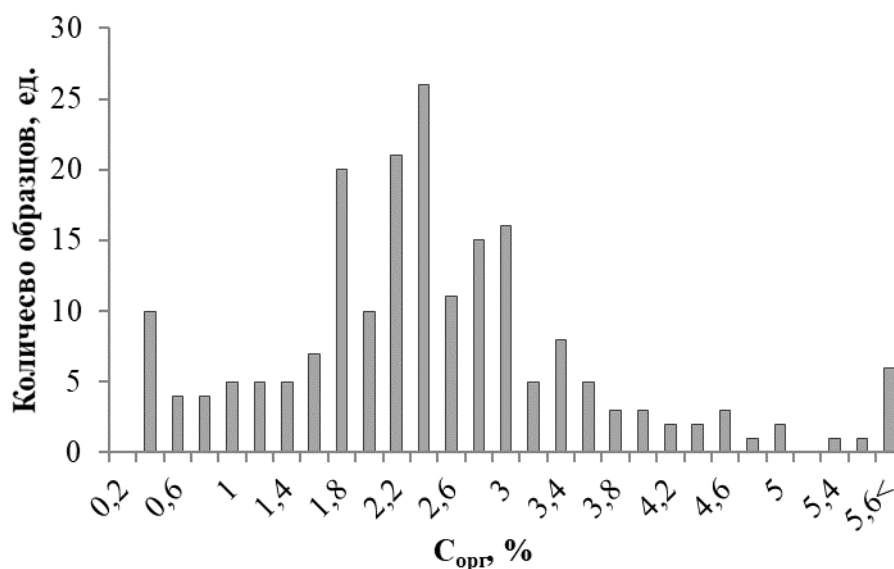


Рис. 1. Гистограмма распределения органического углерода в отложениях хадумской свиты (P_3hd) по 201 образцу

Fig. 1. Histogram of organic carbon distribution in the sediments of the Khadum Formation (P_3hd) based on 201 samples

Одной из отличительных особенностей геохимических свойств пород является высокий генерационный потенциал $GP = (S_1+S_2)$, который изменяется в пределах от 0,03 до 45,13 мг УВ/г породы, при модальном и медианном значениях 8,8 и 7,1 мг УВ/г породы соответственно.

Таким образом, к особенностям отложений хадумской свиты (P_3hd)

относятся повышенное содержание органического вещества, что относит ее к высокоуглеродистой формации, и высокий генерационный потенциал, в связи с чем, по классификации К.Е. Peters и М.Р. Cassa (1994 г.) нефтегазоматеринских пород по углеводородно-генерационному потенциалу, ее можно отнести к «очень хорошим» и «отличным» (табл. 1) [8].

Табл. 1. Классификация нефтегазоматеринских пород по углеводородно-генерационному потенциалу (по К.Е. Peters и М.Р. Cassa)

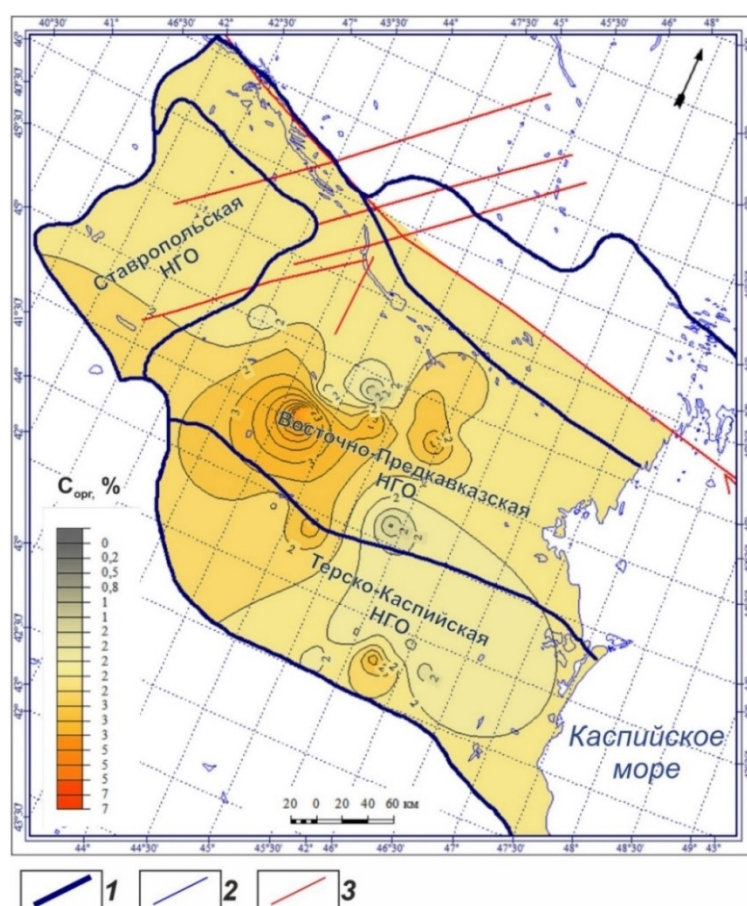
Table 1. Classification of petroleum source rocks based on hydrocarbon generation potential (by К.Е. Peters and М.Р. Cassa)

Генерационный потенциал нефтематеринской породы	Пиролитические показатели				
	S_1	S_2	C_{org}	Битумоиды	УВ
	Мг УВ/г породы	Мг УВ/г породы	вес, %	вес, %	вес, %
Бедные	0,0–0,5	0,0–2,5	0,0–0,5	0,00–0,05	0,00–0,03
Удовлетворительные	0,5–1,0	2,5–5,0	0,5–1,0	0,05–0,1	0,03–0,06
Хорошие	1,0–2,0	5,0–10,0	1,0–2,0	0,1–0,2	0,06–0,12
Очень хорошие	2,0–4,0	10,0–20,0	2,0–4,0	0,2–0,4	0,12–0,24
Отличные	>4	>20	>4	>0,4	>0,24

Источник: [8] / Source: [8]

Схемы распределений значений C_{org} и GP по площади Восточного Предкавказья были построены на основе установленных границ нефтегазогеоло-

гического районирования сухопутной части Терско-Каспийского нефтегазодного бассейна [9] и представлены на рис. 2, 3.



Условные обозначения:

Границы:
1 – нефтегазо-геологического районирования

2 – береговая линия

3 – разрывные нарушения

Рис. 2. Схема распределения C_{org} в отложениях хадумской свиты (P_3hd) в пределах Восточного Предкавказья

Fig. 2. Distribution pattern of total organic carbon in the Khadum Formation (P_3hd) sediments across the Eastern Pre-Caucasus

Источник: на основе [9] / Source: based on [9]

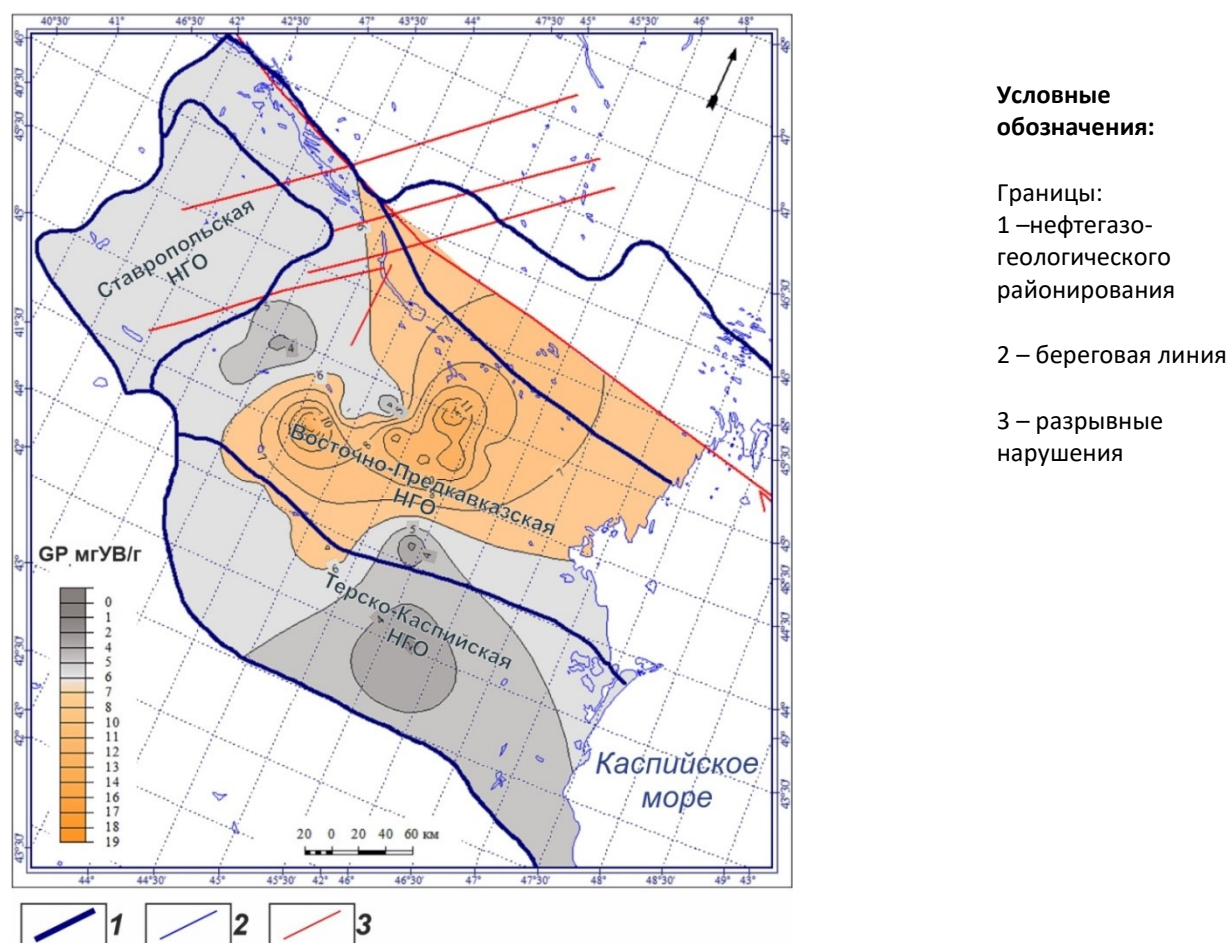


Рис. 3. Схема распределения генерационного потенциала (GP) в отложениях хадумской свиты (P_{3hd}) в пределах Восточного Предкавказья

Fig. 3. Distribution pattern of generation potential (GP) in the Khadum Formation (P_{3hd}) sediments across the Eastern Pre-Caucasus

Источник: на основе [9] / Source: based on [9]

Для установления преобладающих типов органического вещества в отложениях хадумской свиты (P_{3hd}) значения $C_{орг}$ и генерационного потенциала по всем точкам были сопоставлены с водородным индексом $HI = S_2 \times 100 / C_{орг}$. HI указывает на тип керогена по составу и преимущественный состав УВ, который будет сгенерирован нефтегазоматеринской породой. Для наглядности все значения GP для образцов были разделены по величине углеводородно-генерационного потенциала в соответствии с классификацией [8] (см. табл. 1).

Таким образом, был сделан вывод о том, что в хадумских отложениях преобладают два типа органического вещества: гумусового типа прибрежно-морских обстановок (кероген II-III/III типа) и сапропелевого типа морских обстановок (кероген II типа) (рис. 4, табл. 2) [10].

Кероген II типа – это органическое вещество, сформировавшееся из биомассы водорослевой органики морских обстановок, которые являются областью накопления глинистых, кремнистых и карбонатных пород.

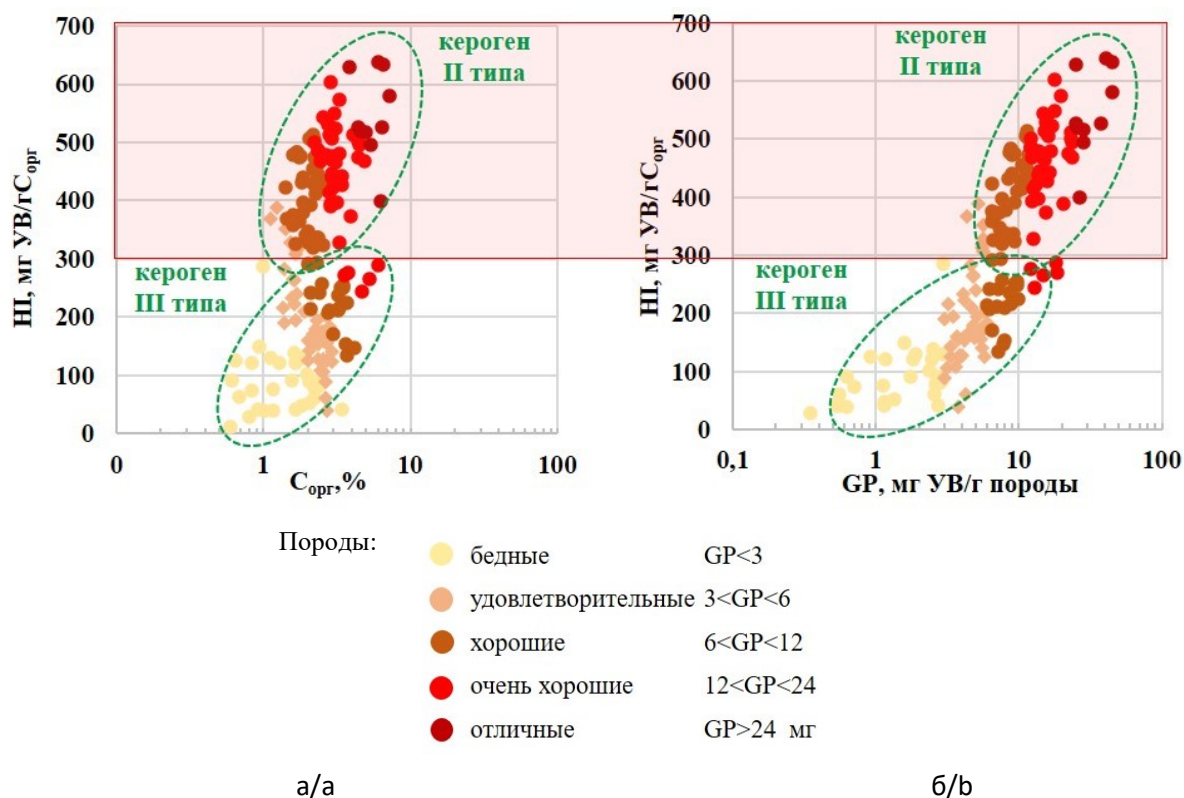


Рис. 4. Графики зависимости значений водородного индекса (HI):
а – от GP; б – от содержания C_{org} для хадумской свиты (P_{3hd})

Fig. 4. Plots of Hydrogen Index (HI) values dependence:
а – on GP; б – on C_{org} content for the Khadum Formation (P_{3hd})

Табл. 2. Водородный индекс для разных типов керогена и тип генерируемых углеводородов

Table 2. Classification of kerogen types by Hydrogen Index values and their hydrocarbon generation potential

Тип керогена	HI, мг УВ/г C_{org}	Преимущественный состав УВ
I	>600	Нефть
II	300–600	Нефть
II/III	200–300	Нефть и газ
III	50–200	Газ
IV	<50	Практически не генерирует углеводородов

Источник: [10] / Source: [10]

Кероген II-III/III типов – это органическое вещество, накапливающееся в континентальных, прибрежных и прибрежно-морских, аллювиальных обстановках осадконакопления, формирующееся из биомассы, преимущественно, высшей растительности.

Можно отметить, что для пород, относящихся к «хорошим», «очень хорошим» и «отличным» с органическим веществом II типа характерна генерация нефти. Генерация нефти и газа характерна для пород, относящихся, преимущественно, к «бедным» и «удовлетворительным».

При анализе результатов геохимических исследований керна было отмечено, что образцам с одинаковыми значениями содержания органического углерода (C_{org}) соответствуют вариативные значения полного генерационного потенциала (рис. 5). Так как величина GP определяет нефтегазогенерационный потенциал пород и количественный

выход битумоидов и легких углеводородов, данный параметр позволил дифференцировать образцы на два типа пород с различным углеводородным потенциалом с целью дальнейшего установления их качественных и количественных признаков по геолого-геохимическим зависимостям и распределениям (рис. 6).

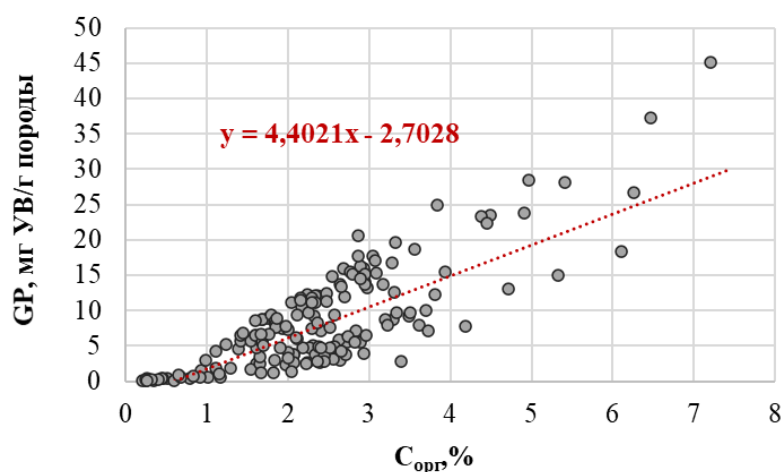


Рис. 5. График зависимости значений GP от содержания C_{org} для хадумской свиты (P_3hd)

Fig. 5. Dependency plot of GP values on C_{org} content in the Khadum Formation (P_3hd)

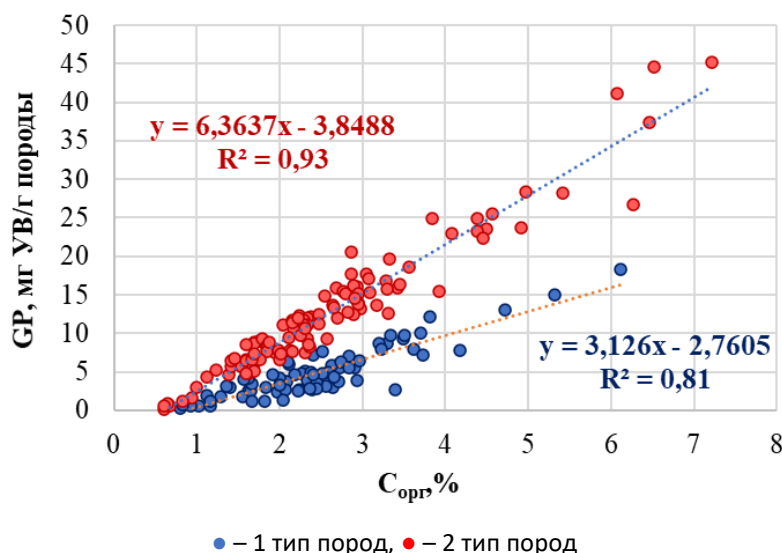


Рис. 6. График зависимости значений GP от содержания C_{org} для хадумской свиты (P_3hd) с дифференциацией образцов на два типа пород с различным углеводородным потенциалом

Fig. 6. Dependency plot of GP values on C_{org} content in the Khadum Formation (P_3hd) with differentiation of samples into the two rock types with different hydrocarbon potential

Стоит отметить, что из исследований были исключены образцы со значениями $C_{орг} < 0,5\%$, составляющие менее 5% от общей выборки, ввиду их низкой информативности и сложности в корректном разделении (см. рис 5, 6). При этом, исключенные образцы относятся к породам с «бедным» нефтегазогенерационным потенциалом по классификации К.Е. Peters и М.Р. Cassa (см. табл. 1), соответствующим значениям начальной стадии созревания керогена.

В ходе дальнейшей корреляции геолого-геохимических показателей и статистического анализа настоящего исследования будут установлены количественные и качественные признаки, характерные для каждого выделенного типа пород.

Для определения текущей зрелости и способности к генерации УВ для выделенных

типов был выполнен анализ степени градации катагенеза, на основании данных которого породы можно разделить по составу флюидов и продуктов генерации. Для выполнения такой типизации необходимым пиролитическим параметром является максимальная температура выхода жидких УВ – T_{max} .

На гистограмме распределения T_{max} четко выделяются две области с собственными модальными значениями, которые свидетельствуют о наличии в породах продуктов катагенеза, отличающихся по своим свойствам (рис. 7). Важно отметить, что выделенные моды соотносятся с дифференциацией пород на типы с различным углеводородным потенциалом и, тем самым, косвенно подтверждают корректность типизации.

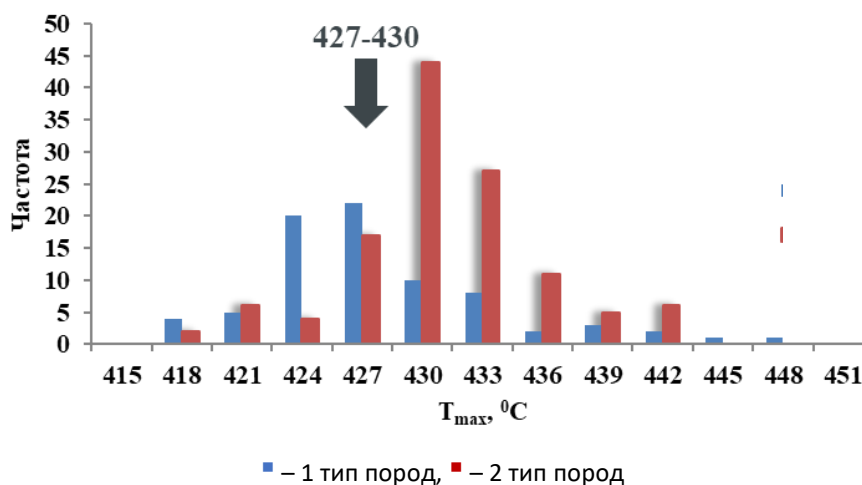


Рис. 7. Гистограмма распределения значений T_{max} образцов хадумской свиты (P_3hd) для типов пород с различным углеводородным потенциалом

Fig. 7. Histogram of T_{max} values distribution for the Khadum Formation (P_3hd) samples for rock types with different hydrocarbon potential

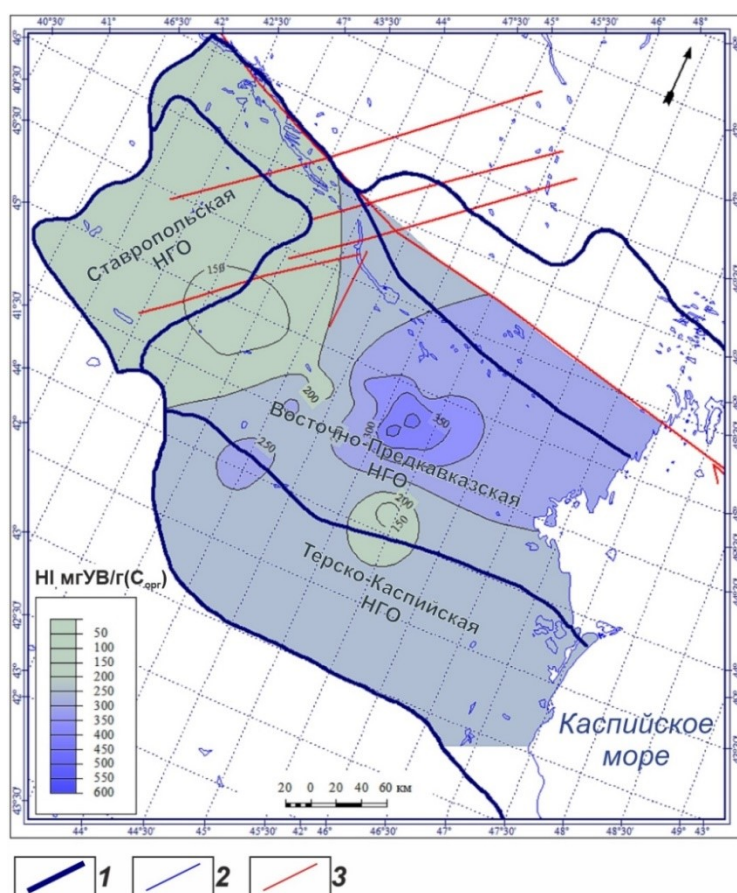
По данным ранее проведенных исследований начало главной зоны нефтеобразования (по Н.Б. Вассовичу градации катагенеза $МК_1$ - $МК_3$) в олигоценых отложениях (P_3) на территории Восточного Предкавказья установлено

при значениях $T_{max} = 422\text{ }^{\circ}\text{C}$ [5]. Граничное значение T_{max} между типами пород с различным углеводородным потенциалом в отложениях хадумской свиты (P_3hd) установлено в интервале 427–430 $^{\circ}\text{C}$.

Одним из ключевых критериев для оценки типа керогена и потенциала генерации УВ является водородный индекс (Hydrogen Index – HI). Он позволяет дифференцировать различные типы органического вещества и оценивать степень его зрелости, что имеет первостепенное значение при проведении геохимических исследований. Данный индекс представляет собой важнейший геохимический параметр,

характеризующий качество органического вещества и его нефтегазогенерационный потенциал, который определяется как отношение количества углеводородов, полученных при пиролизе (пик S_2) к содержанию органического углерода (C_{org}) в исследуемом образце породы.

Схема распределения водородного индекса по площади Восточного Предкавказья представлена на рис. 8.



Условные обозначения:

Границы:

1 – нефтегазо-геологического районирования

2 – береговая линия

3 – разрывные нарушения

Рис. 8. Схема распределения HI в отложениях хадумской свиты (P_{3hd}) в пределах Восточного Предкавказья

Fig. 8. Distribution pattern of HI in the Khadum Formation (P_{3hd}) sediments across the Eastern Pre-Caucasus

Источник: на основе [9] / Source: based on [9]

В результате дифференциации HI в соответствии с установленными типами, аналогично, отмечается характерное разделение на две области, между которыми отчетливо фиксируется граничное значение 300 мг УВ/г C_{org} (рис. 9).

Значения водородного индекса для хадумских отложений варьируют в широком диапазоне: от 12 до 629 мг УВ/г C_{org} . Медианное значение HI для первого типа составляет 155 мг УВ/г C_{org} , для второго – 419 мг УВ/г C_{org} .

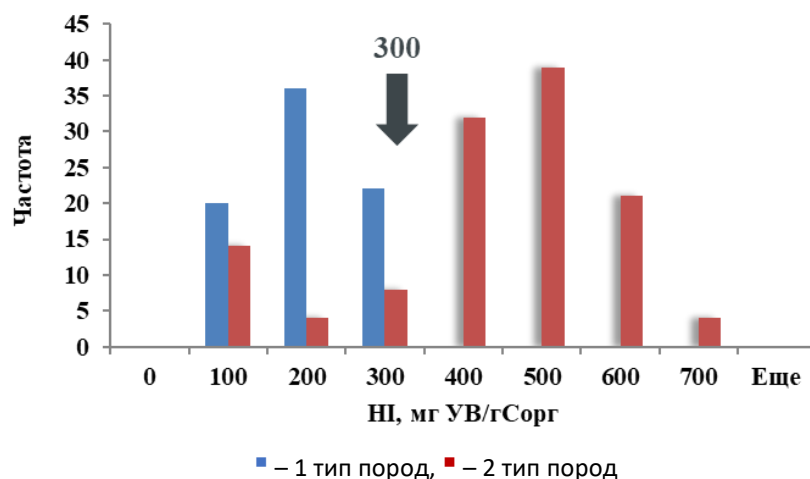


Рис. 9. Гистограмма распределения значений HI образцов хадумской свиты (P_3hd) для типов пород с различным углеводородным потенциалом

Fig. 9. Histogram of HI values distribution for the Khadum Formation (P_3hd) samples for rock types with different hydrocarbon potential

На модифицированной диаграмме Ван-Кревелена в комплексе параметров HI- T_{max} отмечена аналогичная дифференциация типов керогена по составу и происхождению (II-III и III), а также уже характерное

разделение всего объема точек на два выделенных в данном исследовании геохимических типа пород-коллекторов с различным углеводородным потенциалом (рис. 10).

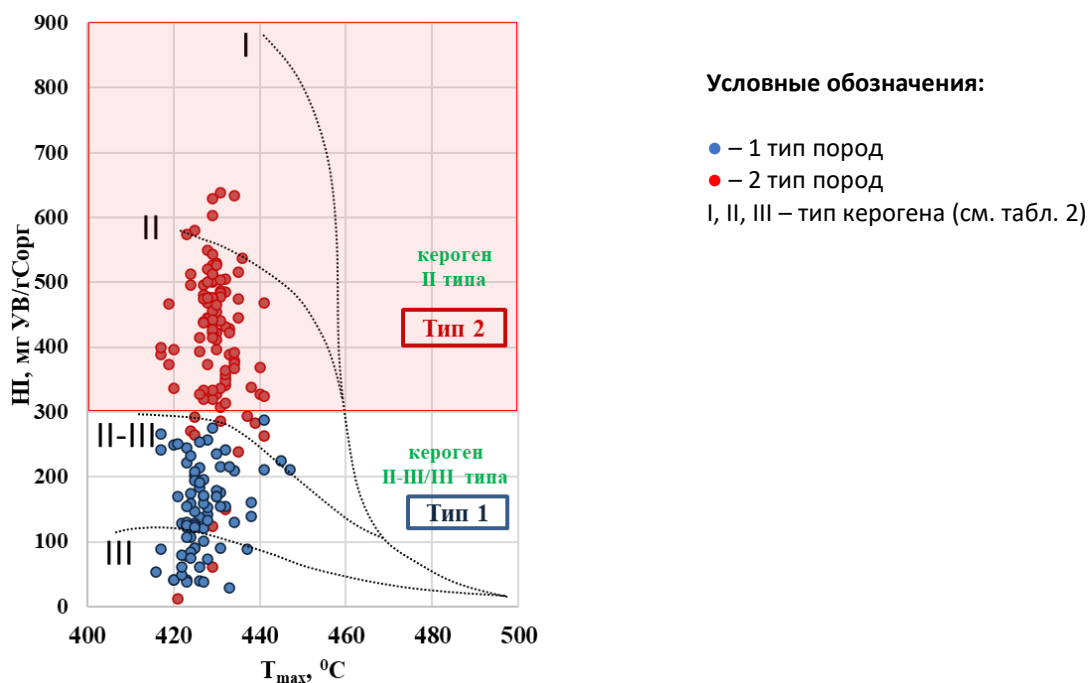


Рис. 10. Пиролизическая характеристика типов органического вещества для выделенных типов пород хадумской свиты (P_3hd) с различным углеводородным потенциалом на модифицированной диаграмме Ван-Кревелена

Fig. 10. Pyrolytic characteristics of organic matter types for identified rock types of the Khadum Formation (P_3hd) with different hydrocarbon potential on a modified Van Krevelen diagram

Поскольку H_I напрямую зависит от объема продуктов пиролиза, отражающих высокий остаточный потенциал (S_2), соответствующий нефтегазоматеринским породам, важно оценить и охарактеризовать выделенные типы пород по пиролитическим параметрам, отражающим величину уже реализованного в породе потенциала (S_1), соответствующего нефтегазонасыщенным участкам и интервалам разреза.

Так как исследование посвящено изучению нефтегазоматеринских пород хадумских отложений и выделению в них наиболее перспективных зон, соответственно, коллекторам нетрадиционного типа, дополнительно был проанализирован индекс нефтенасыщенности (Oil Saturation Index – OSI), характеризующий степень насыщенности пород УВ.

В связи с тем, что OSI рассчитывается как объем легких УВ в органическом веществе по формуле: $OSI = S_1 \times 100 / C_{орг}$, этот параметр может быть применен

для уточнения нефтенасыщенных интервалов в коллекторах любого типа, что соответствовало задаче оценки перспективности пород хадумской свиты (P_3hd) Восточного Предкавказья.

На гистограмме распределения OSI и S_1 в соответствии с выделенными типами пород, четко выделяются области распределений с собственными средними значениями, которые свидетельствуют о существенных различиях в нефтенасыщенности для пород с различным углеводородным потенциалом.

Для пород первого типа среднее значение OSI составляет 33,8 мг УВ/г $C_{орг}$, S_1 – 0,86 мг УВ/г породы, для пород второго типа средние значения составляют 39,4 мг УВ/г $C_{орг}$ и 1,07 мг УВ/г породы, соответственно (рис. 11, 12).

Таким образом, можно сделать вывод, что генерация нефти и содержание легких и нефтеподобных соединений УВ наиболее характерны для пород именно второго типа.

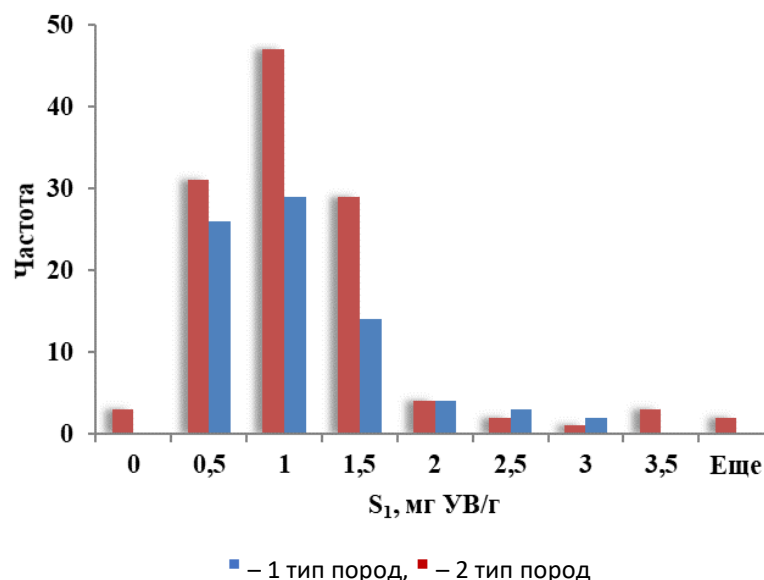


Рис. 11. Гистограмма распределения значений S_1 образцов хадумской свиты (P_3hd) для типов пород с различным углеводородным потенциалом

Fig. 11. Distribution histogram of S_1 parameters for the Khadum Formation (P_3hd) samples for rock types with different hydrocarbon potential

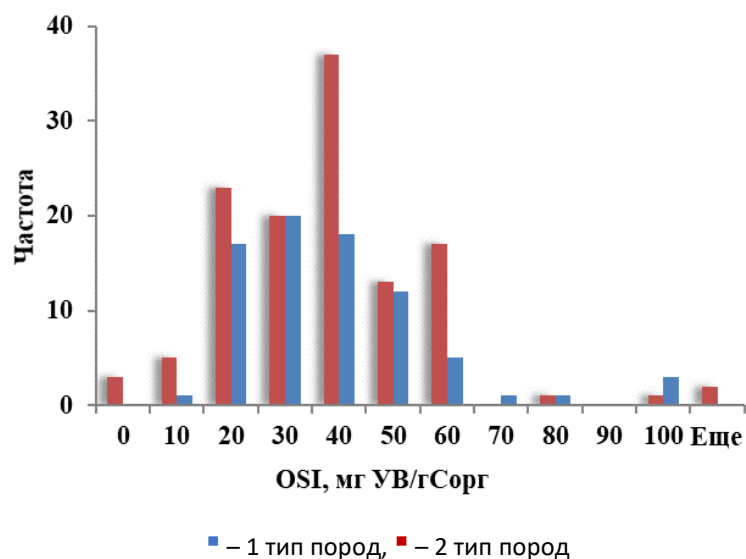


Рис. 12. Гистограмма распределения значений OSI образцов хадумской свиты (P_3hd) для двух типов пород с различным углеводородным потенциалом

Fig. 12. Distribution plot of OSI parameters for the Khadum Formation (P_3hd) samples for the two rock types with different hydrocarbon potential

Одними из основных пиролитических параметров, определяющих углеводородный потенциал, по которым породы хадумской свиты (P_3hd) можно разделить на два типа с различной потенциальной продуктивностью, являются: $C_{орг}$, GP, S_1 , S_2 и OSI.

Установленные различия указывают на потенциально более продуктивные зоны нефтенакпления в пределах распространения второго типа – с повышенным углеводородным потенциалом (табл. 3).

Табл.3. Отличительные признаки выделенных двух типов пород с различным углеводородным потенциалом

Table 3. Distinctive features of the two types of rocks identified with different hydrocarbon potential

Параметры	$C_{орг}$, %	GP, мг УВ/г породы	T_{max} , °C	Тип керогена	HI, мг УВ/г $C_{орг}$	S_1 , мг УВ/г породы	OSI, мг УВ/г $C_{орг}$
1 тип пород	2,4	4,9	423	II-III/III	155	0,86	33,8
2 тип пород	2,6	12,8	430	II	419	1,07	39,4

Региональное распространение выделенных типов пород с различным углеводородным потенциалом

Установленные геолого-геохимические различия стали основой для построения региональной схемы распространения выделенных типов пород хадумской свиты (P_3hd) Восточного Предкавказья с различным углеводородным потенциалом.

Для уточнения пространственного распространения выделенных типов пород были привлечены структурно-фациальные и палеогеографические схемы ранних исследований региона [11, 12], а также результаты статистического анализа по преобладанию установленных геохимических типов хадумских отложений на месторождениях Восточного Предкавказья, пиролитические данные по которым были положены в основу настоящего исследования.

Нами предложена концептуальная схема распределения выделенных типов пород с различным углеводородным

потенциалом хадумской свиты (P_{3hd}) в пределах Восточного Предкавказья (рис. 13).

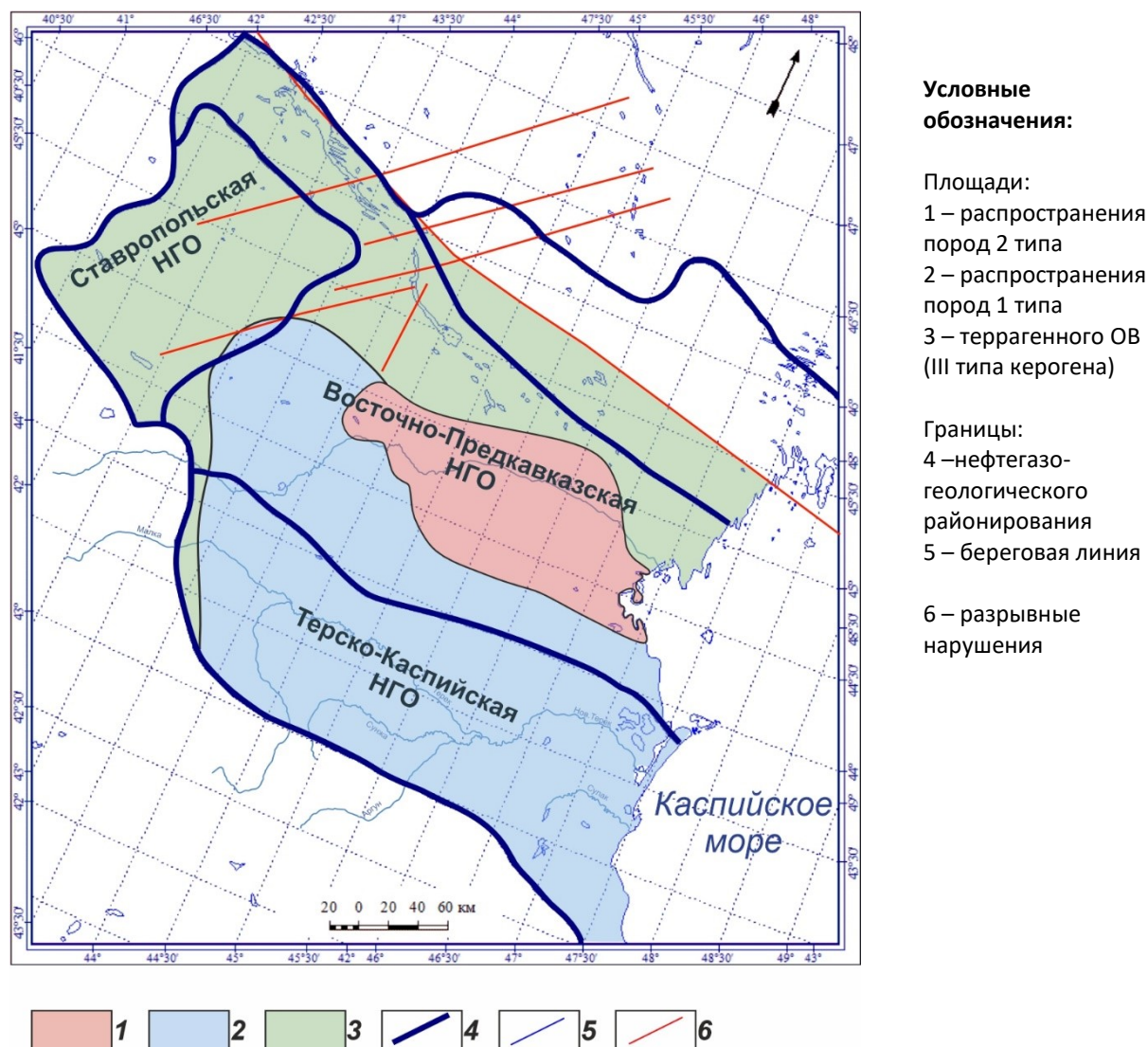


Рис. 13. Схема распределения выделенных типов пород с различным углеводородным потенциалом хадумской свиты (P_{3hd}) в пределах площади Восточного Предкавказья

Fig. 13. Distribution pattern of identified rock types with different hydrocarbon potential within the Khadum Formation (P_{3hd}) across the area of the Eastern Pre-Caucasus

Источник: на основе [9, 12] / Source: based on [9, 12]

Локализация второго типа пород с повышенным углеводородным потенциалом приурочена к центральной части Восточно-Предкавказской нефтегазоносной области (район Прикумской системы поднятий) и согласуется с зонами повышенных значений

на региональных схемах распределения основных пиролитических параметров ($S_{орг}$, GP, HI), определяющих благоприятные условия для выделения наиболее перспективных участков по геолого-геохимическим критериям.

Область распространения второго типа пород с повышенным углеводородным потенциалом имеет диагональное простираие с северо-запада на юго-восток и смещена в сторону Каспийского моря (см. рис. 13). Выделение зоны второго типа не противоречит установленной нефтегазоносности региона, подтвержденной открытием ряда крупных нефтяных месторождений в этой области (Прасковейское, Чепакское, Южно-Острогорское, Южный Озек-Суат, Ачикулакское и др.).

Распространение первого типа пород охватывает южную периферийную часть Восточно-Предкавказской нефтегазоносной области и практически полностью Терско-Каспийскую область. По результатам пиролитических исследований на расположенных в этой части нефтегазоносного бассейна месторождениях (Журавское, Воробьевское, Курское, Моздокское) и отдельных поисково-разведочных скважинах преобладает первый тип пород.

Северная и западная части Восточного Предкавказья, в том числе Ставропольская нефтегазоносная область, приурочены к зоне влияния гумусовой компоненты континентального ОВ [12]. По мнению коллектива авторов эта часть относится к большой переходной фациальной зоне с транзитным стоком, которая отделяет Восточное Предкавказье от Западного [11, 12].

Таким образом, в пределах Восточного Предкавказья по геолого-геохимическим критериям можно выделить три принципиально отличающихся зоны развития нетрадиционных пород-коллекторов с различным углеводородным потенциалом.

Заключение

Недостаточная изученность и немногочисленные данные геохимических и промышленных исследований хоть и не позволяют достоверно утверждать о местоположении промышленных скоплений УВ, однако, на их основе появляется возможность определения и выделения наиболее перспективных зон для апробации различных технологий.

Ввиду сложных горно-геологических условий для освоения ТРИЗ отложений хадумской свиты (P_3hd) и особенностей, относящих породы-коллекторы этих отложений к нетрадиционному типу, таких как высокое содержание $C_{орг}$ и сверхнизкие ФЕС, нами предложен дополняющий существующие подходы к геолого-разведочным работам метод выделения перспективных участков для освоения и ОПР. Использование геохимических свойств пород в качестве индикаторов нефтеносности согласуется с этапностью геологического изучения и доразведки хадумских отложений в рамках освоения ТРИЗ Восточного Предкавказья.

Анализ геохимических характеристик высокоуглеродистой формации хадумской свиты (P_3hd) доказывает, что в ней преобладают два типа керогена (II, II-III типов), и в соответствии с классификацией нефтегазоматеринских пород по генерационному потенциалу ее можно отнести к «очень хорошим» и «отличным».

Проведенный анализ геолого-геохимических свойств хадумской свиты (P_3hd) позволил нам выделить два геохимических типа пород с различным углеводородным потенциалом и составить схему их регионального распространения в пределах Восточного Предкавказья. Факторами, определяющими различия, являются параметры: S_1 , S_2 , T_{max} , HI, OSI.

Наиболее перспективные зоны нефтенакпления потенциально приурочены к площади распространения второго типа пород – с повышенным углеводородным потенциалом.

Комплексирование результатов бурения скважин и промысловых данных, получаемых при поисково-оценочных работах, а также детальных геохимических, минералогических и геофизических исследований на этапе геологоразведки позволит с большей уверенностью детализировать наиболее

продуктивные геологические участки, выделять перспективные зоны и обосновывать проектно-технологические решения для ТРИЗ хадумской свиты (P_3hd).

Такой подход, основанный на использовании дополнительных индикаторов промышленной нефтеносности, повышает достоверность в оценке перспектив нефтегазоносности региона и расширяет возможности проектирования участков ОПР для апробации технологий эксплуатации и добычи ТРИЗ.

Вклад авторов

А.Г. Кротова – проведение исследования, формальный анализ, визуализация, создание черновика рукописи, создание рукописи и ее редактирование.

И.В. Шпуров – концептуализация, руководство исследованием, создание рукописи и ее редактирование.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список источников

1. *Кротова А.Г., Шпуров И.В.* Обзор основных тенденций в развитии сырьевой базы трудноизвлекаемых запасов олигоценовых 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>
2. *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. № S. С. 208–226. <http://doi.org/10.18599/grs.19.21>
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. *Баженова О.К., Фадеева Н.П., Сен-Жермес М.Л.* и др. Биомаркеры органического вещества и нефтей майкопской серии Кавказско-Скифского региона // Геохимия. 2002. № 9. С. 993–1008.
5. *Горягина Т.А.* Геолого-геохимические условия нефтегазоносности олигоценовых отложений Центрального и Восточного Предкавказья: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Ставрополь, 2005. 27 с.

6. *Эспиталие Дж., Дроует С., Маркуис Ф.* Оценка нефтеносности с помощью прибора Rock-Eval с компьютером // Геология нефти и газа. 1994. № 1. С. 23–32.
7. *Галушкин Ю.И.* Моделирование осадочных бассейнов и оценка их нефтегазоносности. М.: Научный мир, 2007. 456 с.
8. *Peters K.E., Cassa M.R.* Applied source rock geochemistry // The Petroleum System – From Source to Trap / Ed. by L.B. Magoon, W.G. Dow. Tulsa, OK: American Association of Petroleum Geologists, 1994. P. 93–120. <https://doi.org/10.1306/M60585C5>
9. *Яндарбиев Н.Ш., Крылов О.В., Козлова Е.В. и др.* Изучение особенностей нефтегазообразования в регионах деятельности и интересов ОАО «НК «Роснефть»: Юг России (Западное и Восточное Предкавказье): Атлас и пояснительная записка. М., 2014. 262 с.
10. Source and Migration Processes and Evaluation Techniques / Ed. by R.K. Merrill. Tulsa, OK: American Association of Petroleum Geologists, 1991. 213 p. <https://doi.org/10.1306/TrHbk543>
11. *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>
12. *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>

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 01.04.2025

Принята к публикации 23.05.2025

NEW METHODS AND TECHNOLOGIES OF STUDYING THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF OIL AND GAS BASINS

Original article

<https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2025.12>

Investigation of geological and geochemical characteristics of the Khadum Formation deposits for identification of promising areas for development of hard-to-recover hydrocarbon reserves

Alina G. Krotova¹✉, Igor V. Shpurov²

1 – Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory St., Moscow, 119991, Russia

2 – State Commission on Mineral Reserves, 54 Bolshaya Polyanka St., Bldg. 1, Moscow, 119180, Russia

Abstract. *Background.* The modern oil industry is paying more and more attention to increasing the oil recovery of hard-to-recover reserves. The results of a few field tests without application of geological and technical measures for flow stimulation limit the possibility of substantiating criteria for selecting promising areas for development and pilot operations. The study of the rock features of the Khadum Formation (P_3hd) of the East Pre-Caucasian oil and gas region was carried out using data from core samples with ultralow filtration and capacitance properties. It is proposed to substantiate and use certain geochemical properties of rocks and organic matter and pyrolytic parameters as indicators of oil content. *Objective.* To study the variability of the geochemical properties of the Khadum deposits and identify the dependencies between them for the subsequent identification of the most promising oil and gas zones according to a group of geological and geochemical criteria. *Materials and methods.* The paper presents the geochemical characteristics and comparison of the main pyrolytic parameters for rocks of the Khadum Formation. Pyrolysis data (by the Rock-Eval method) from core and field information from oil fields were used. *Results.* The predominance of two types of kerogen was established and two types of rocks with different hydrocarbon potential were identified. The distribution schemes of the main geochemical characteristics of the Khadum Formation and the distribution of established rock types with different hydrocarbon potential within the Eastern Pre-Caucasus are compiled. *Conclusions.* A new approach to identifying the most promising oil- and gas-bearing areas within the Khadum Formation on the basis of geochemical criteria is proposed, based on the identification of two types of reservoir rocks with different hydrocarbon potential in terms of S_1 , S_2 , T_{max} , HI and OSI parameters.

Keywords: Khadum Formation, hard-to-recover reserves, geological and geochemical properties, geochemical indicators of oil content, Eastern Pre-Caucasus

Funding: the work received no funding.

For citation: Krotova A.G., Shpurov I.V. Investigation of geological and geochemical characteristics of the Khadum Formation deposits for identification of promising areas for development of hard-to-recover hydrocarbon reserves. *Actual Problems of Oil and Gas*. 2025. Vol. 16, No. 2. P. 167–186. (In Russ.). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2025.12>

✉ Alina G. Krotova, agkrotova@gmail.com

© Krotova A.G., Shpurov I.V., 2025



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License. .

Author contributions

Alina G. Krotova – investigation, formal analysis, visualization, writing – original draft, writing – review & editing.

Igor V. Shpurov – conceptualization, supervision, writing – review & editing.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

References

1. Krotova A.G., Shpurov I.V. A review of the main trends in the development of the raw materials 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>
2. 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.). <https://doi.org/10.18599/grs.19.21>
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. Bazhenova O.K., Fadeeva N.P., Saint-Germes M.L. et al. Biomarkers of organic matter in Maykopoo rocks and oils of the Caucasian-Scythian region. *Geochemistry International*. 2002. Vol. 40, No. 9. P. 899–913.
5. Goryagina T.A. Geological and geochemical conditions of oil and gas bearing Oligocene sediments of the Central and Eastern Pre-Caucasus. Cand. Sci. diss. abstr. Stavropol, 2005. 27 p. (In Russ.).
6. Espitalie J., Drouet S., Marquis F. Petroleum evaluation by using the petroleum evaluation workstation (a Rock-Eval connected with computer). *Geologiya nefi i gaza*. 1994. No. 1. P. 23–32. (In Russ.).
7. Galushkin Yu.I. *Modeling of Sedimentary Basins and Assessment of their Oil and Gas Content*. Moscow: Nauchnyi mir, 2007. 456 p. (In Russ.).
8. Peters K.E., Cassa M.R. Applied source rock geochemistry. In: Magoon L.B., Dow W.G., eds. *The Petroleum System – From Source to Trap*. Tulsa, OK: American Association of Petroleum Geologists, 1994. P. 93–120. <https://doi.org/10.1306/M60585C5>
9. Yandarbiev N.Sh., Krylov O.V., Kozlova E.V. et al. *Investigation of Oil and Gas Formation Features in the Regions of Operation and Interests of Rosneft Oil Company: Southern Russia (Western and Eastern Ciscaucasia): Atlas with Explanatory Text*. Moscow, 2014. 262 p. (In Russ.).
10. Merrill R.K., ed. *Source and Migration Processes and Evaluation Techniques*. Tulsa, OK: American Association of Petroleum Geologists, 1991. 213 p. <https://doi.org/10.1306/TrHbk543>
11. 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>

12. 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>

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 1 April 2025

Accepted 23 May 2025