

УДК 550.849, 553.086, 553.983

К.А. Радченко¹, Н.И. Коробова², М.А. Большакова³, А.В. Ступакова⁴,
А.П. Завьялова⁵, В.В. Чупахина⁶

ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЕСТЕСТВЕННЫХ ВЫХОДОВ ДОМАНИКОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В РАЙОНАХ ПРЕДУРАЛЬСКОГО КРАЕВОГО ПРОГИБА ВОЛГО-УРАЛЬСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО БАССЕЙНА

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», геологический факультет,
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1

Moscow State University, Faculty of Geology, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1

Для восполнения запасов нефти необходимо выявлять новые нетрадиционные объекты поиска, разведки и добычи углеводородного сырья. В число таких объектов входят богатые органическим веществом (ОВ) породы доманиковых отложений, которые широко распространены в Волго-Уральском нефтегазоносном бассейне. Доманиковая высокоуглеродистая формация — тонкослоистая карбонатно-кремнистая формация с повышенным содержанием органического вещества, способная как производить углеводороды собственными нефтегазоматеринскими толщами, так и концентрировать их в отдельных пластах и зонах, выполняющих роль резервуара. Один из способов получения сведений о природе углеводородных скоплений в доманиковых отложениях и возможностях извлечения из них углеводородов — изучение вещественного состава пород. Литологическая и геохимическая характеристика пород — неотъемлемая составляющая изучения таких типов пород.

Ключевые слова: доманиковые отложения, Волго-Уральский нефтегазоносный бассейн, доманиковая нефтематеринская толща, сланцевая нефть, изучение обнажений, литология, пиролиз.

Replenishment of oil reserves requires searching, exploration and production of new unconventional objects. Among these objects is Domanik formation, which is widespread in the Volga-Ural basin. The Domanic high-carbon formation is presented by thin-layered carbonate-siliceous rocks with a high content of organic matter, capable of both producing hydrocarbons with its own oil and gas potential, and concentrating them in reservoirs [Stupakova et al., 2017]. Study of lithological composition of rocks help to obtain information about the nature of hydrocarbon accumulations and understand possibilities of extracting hydrocarbon of them. The lithological and geochemical characteristics of rocks are an integral part of the study such types of deposits.

Key words: Domanik, Volga-Ural oil and gas basin, Domanik oil source, shale oil, study of outcrops, lithology, pyrolysis.

Введение. Степень изученности геофизическими методами исследуемого района достаточно высокая. Однако уровень достоверности структурных построений и степень подготовленности к бурению нефтегазоперспективных объектов все еще не однозначны, а потенциал Волго-Уральского бассейна далеко не исчерпан, в первую очередь это связано с наличием нефтегазоносности в средне-

франских—турнейских отложениях, обогащенных органическим веществом (ОВ).

Сланцевые толщи Волго-Уральской нефтегазоносной провинции — один из примеров доманиковых отложений в России. Эти отложения представлены кремнисто-глинисто-карбонатными породами, обогащенными ОВ. Органическое вещество в этих породах относится к категории сла-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, аспирантка; *e-mail*: k.radchenko@oilmsu.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, ассистент; *e-mail*: nataliya.korobova54@mail.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, науч. с.; *e-mail*: masha_gav@mail.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, заведующий кафедрой, профессор; *e-mail*: stoupakova@gmail.com

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, аспирантка; *e-mail*: a.zavyalova@oilmsu.ru

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, аспирантка; *e-mail*: v.chupakhina@oilmsu.ru

бо- и умеренно концентрированного и составляет 2,5–10%, иногда достигает 20–40% [Кирюхина и др., 2015].

Теоретический анализ. В результате структурно-формационного анализа установлено, что на территории выделяется два типа доманикитов: доманикиты — отложения семилукского (доманикового) горизонта, занимающие территорию обширной некоменсированной впадины семилукского бассейна; доманикоиды — отложения речичко(мендымский)-заволжского возраста, развитые в осевых зонах Камско-Кинельской системы (ККС) некомпенсированных прогибов. Содержание ОВ в доманикитах колеблется от 5 до 20%, в доманикоидах — до 5%. Оба типа пород характеризуются одинаковым литологическим составом и находятся в зоне протокатагенеза, т.е. весь комплекс пород достиг условий главной зоны нефтеобразования [Зайдельсон и др., 1990].

Основное внимание уделено нами кремнисто-карбонатному среднефранско-турнейскому комплексу как источнику углеводородов. В его состав входят отложения от среднефранского яруса верхнего девона до турне нижнего карбона ($D_3fr_2 - C_1t$). Этот комплекс будет описан более подробно с охватом прилегающих областей распространения доманиковой формации. Всего рассмотрено 4 естественных выхода обнажений на дневную поверхность (рис. 1). Первые два находятся в пределах южной части Предуральского краевого прогиба в Республике Башкортостан, вторые два — в центральной части Предуральского краевого прогиба (Пермский край).

Методика исследований. Целью наших исследований было изучение вещества доманиковых отложений, они включали в себя анализ минеральной части пород и ОВ. Минеральная составляющая пород была изучена традиционными методами, используемыми в литологии, а органическая — геохимическим и углепетрографическим методами. Нами применялся комплексный подход, включавший все виды этих исследований.

Литологические методы исследования состояли из макро- и микроописания пород, выделения основных литотипов. *Макроскопические исследования* предполагают первичное определение состава породы, позволяют выделить основные черты строения, такие, как слоистость, наличие включений, трещиноватость и др. *Микроскопические исследования* проводились с целью установления состава отложений и их текстурно-структурных особенностей. Было изготовлено 90 шлифов из образцов, отобранных из естественных выходов пород на дневную поверхность, они характеризуют большую часть стратиграфического разреза района исследования.

Геохимические методы исследования включали в себя определение характеристик ОВ в породах пиролитическим методом (Rock-Eval6). Метод

пиролитического исследования экспрессный, когда одновременно определяются тип и степень зрелости ОВ. Он основан на том, что выделение свободных УВ, их десорбция с поверхности твердого тела, а также деструкция ОВ в результате крекинга протекают при разных значениях температуры эксперимента.

Результаты исследований и их обсуждение. *Литологическая характеристика разрезов доманиковых отложений центральной и южной частей Урала.* Изучаемые разрезы Габдюково и Раузяк расположены в пределах Бельской впадины в южной части Предуральского краевого прогиба, представлены естественными обнажениями в основном по берегам рек, долины которых прорезают крылья протяженных антиклинальных и синклинальных складок, сложенных девонскими, каменноугольными и пермскими отложениями

В разрезе Габдюково выделено 16 слоев мощностью от 0,20 до 29 м. Разрез представлен известняками, переслаиванием разных известняков и керогенсодержащих пород. Более детально описаны слои 11–15 (D_3f), из которых отобраны образцы и изготовлены шлифы.

При детальном изучении шлифов выделено две группы пород: 1 — известняки биокластовые (1.1 — с микритовым цементом, 1.2 — с микритовым и яснокристаллическим цементом, 1.3 — тентакулитовый); 2 — керогенсодержащие породы смешанного состава (2.1 — кероген-кремнистая и 2.2 — кероген-кремнисто-карбонатная).

Разрез Раузяк один из немногих полных разрезов франского и фаменского ярусов верхнего девона. Обнажение расположено на правом берегу р. Раузяк (восточный склон хр. Багарязы), на 5 км выше д. Саргаево и представляет собой стратотип саргаевского горизонта. Особый интерес вызывают саргаевский и доманиковый горизонты, образцы которых были описаны более детально.

При изучении шлифов обнажения Раузяк выделено две группы пород: 1 — известняки биокластовые (1.1 — с микритовым цементом, 1.2 — с керогенсодержащим цементом); 2 — керогенсодержащие породы смешанного состава (2.1 — кероген-карбонатно-кремнистая, 2.2 — кероген-кремнистая с радиоляриями, 2.3 — кероген-кремнистая с тентакулитами).

В результате литологических исследований *среднефранских отложений* разрезов Южного Урала (обнажения Габдюково и Раузяк) установлено, что окраина Восточно-Европейской платформы в это время испытала погружение, которое привело к формированию относительно глубоководных прогибов, соединяющих платформу с Палеоуральским океаном. В пределах этих прогибов в условиях недокомпенсации накапливались кероген-кремнистые и кероген-карбонатно-кремнистые породы и ритмиты с характерным комплексом органических остатков, в том числе тентакулитов и радиолярий.

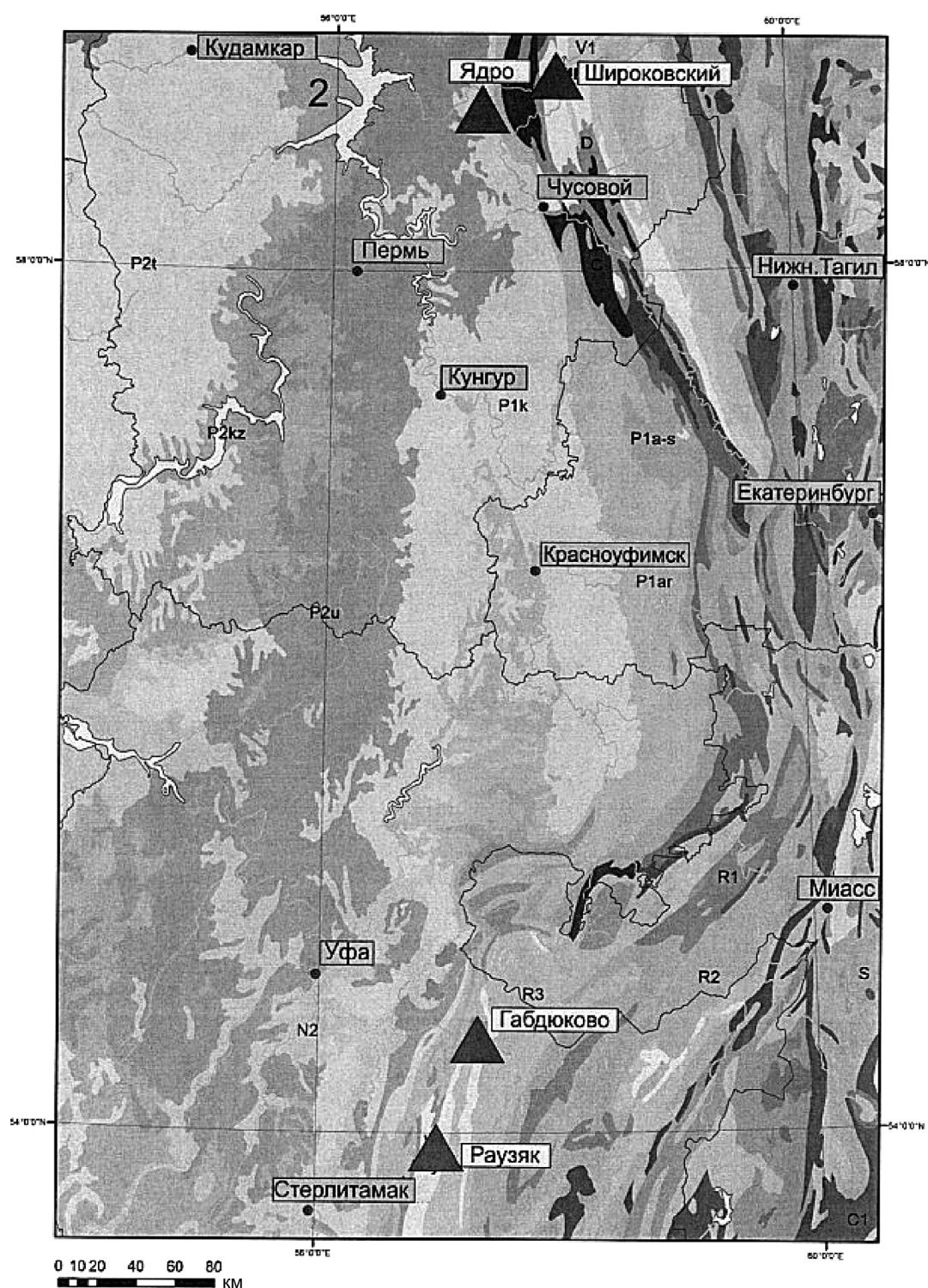


Рис. 1. Геологическая карта Волго-Уральского бассейна с точками исследуемых обнажений, по материалам ВСЕГЕИ (2008)

Наиболее возвышенные участки Башкирского свода оставались приподнятыми относительно прогибов, где в мелководных условиях накапливались органогенно-обломочные осадки. Отсюда в прогибы сносился тонкообломочный и глинистый материал. Отложения депоцентров депрессионных впадин описаны в разрезе Раузяк, который, кроме того, является стратотипом доманиковых отложений в районе исследования.

Позднефранский этап развития региона характеризуется дальнейшей дифференциацией дна, а

также сокращением области некомпенсированного осадконакопления, что привело к накоплению преимущественно органогенно-обломочных известковых осадков мелководного шельфа.

Изучаемые разрезy Ядро и Широковский находятся в пределах Косьвинско-Чусовской седловины в центральной части Предуральяского краевого прогиба. В 150 км от г. Пермь по обоим берегам р. Косьва расположено изучаемое обнажение Ядро. Здесь выходят на поверхность отложения верхнего девона фаменского яруса. Они представлены

темно-серыми кероген-кремнисто-карбонатными ритмитами, микрослоистыми, сланцеватыми; известняками серыми, темно-серыми, слоистыми и линзовиднослоистыми, пелитоморфными, в различной степени окремненными, битуминозными (издают запах УВ). Встречаются конкреции кремней.

При детальном изучении шлифов выделено две группы пород: 1 — известняки и 2 — кероген-содержащие породы смешанного состава. Первая включает в себя типы 1.1 — известняк с микритовым цементом и 1.2 — известняк кристаллический; вторая — типы 2.1 — кероген-карбонатно-кремнистый ритмит, 2.2 — кероген-кремнистый ритмит, 2.3 — кероген-карбонатный ритмит.

Разрез Широковский находится на юго-западной окраине пос. Широковский по обоим берегам р. Косьва. Здесь непосредственно ниже плотины долина р. Косьвы пререзает восточное крыло Шумихинской синклинали, последовательно вскрывая разрез от такатинской свиты среднего девона до угленосной толщи нижнего карбона включительно. Девонские и турнейские отложения обнажены на левом берегу р. Косьва. Здесь девонская система представлена отложениями губахинской свиты (D_3fm) — переслаиванием известняков и сланцеватыми керогено-кремнисто-карбонатными породами. Известняки серые, темно-серые, пелитоморфные, битуминозные, в разной степени окремненные. Встречаются линзы и конкреции кремнистого состава. Кероген-карбонатные породы коричневатые-черные, микрослоистые, издают запах УВ. Отложения турнейского яруса сложены известняками серыми, темно-серыми, массивнослоистыми, органогенно-детритовыми. Разрез Широковский можно охарактеризовать тремя пачками мощностью от 8 м (первая) до 1,69 м (третья).

При детальном изучении шлифов выделено три группы пород: 1 — карбонатные породы (1.1 — известняк сгустково-комковатый, 1.2 — доломит); 2 — керогенсодержащие породы смешанного состава (2.1 — кероген-карбонатно-кремнистый ритмит, 2.2 — кероген-кремнисто-карбонатный ритмит); 3 — кремнистая порода.

В результате литологических исследований *франских отложений* разрезов среднего Урала (обнажения Ядро и Широковское) установлено, что площадь некомпенсированных впадин значи-

тельно сокращалась, при этом области мелководного шельфа с карбонатным осадконакоплением значительно увеличились и отвечали Пермскому палеовыступу.

Депозит некомпенсированного осадконакопления был приурочен к разрезу Широковский, так как в его строении преобладают кероген-кремнистые и кероген-карбонатно-кремнистые породы и ритмиты. Фаменские отложения, которые вскрыты в разрезе Ядро, представлены тонкоциклическим чередованием известняков и смешанных пород с повышенным содержанием керогена. В составе известняков вверх по разрезу появляются (кроме тентакулитовых) микритовые с биогенным детритом и кавернозные разности. Вероятно, накопление этих отложений приурочено к склонам Пермского свода, где в то время находился мелководный шельф с карбонатным осадконакоплением. Частично этот материал сносился в пределах склонов глубоководной впадины. Это объясняет тонкослоистое строение разрезов, имеющих турбидитный облик.

В итоге при детальном макроскопическом изучении шлифов четырех обнажений выделены следующие основные группы керогеносодержащих пород: I — карбонатные породы (доломиты и известняки); II — смешанные разности пород и III — кремнистые породы (силициты) (рис. 2).

Геохимическая характеристика разрезов доманиковых отложений центральной и южной частей Урала. По данным пиролитических исследований, которые приведены в таблице, среднее количество органического вещества варьирует от 1% (обнажение Ядро) до 5% (обнажение Широковское). Значение ТОС разово достигает 11%, это крайне высокий показатель даже для нефтематеринских отложений в образце Р-12 из Башкирии (обнажение Раузяк).

Пик S1 указывает на содержание сгенерированных УВ и достигает 1,86 мг УВ/г породы. Среднее значение составляет около 0,06, 0,48 и 0,66 мг/г в точках 1, 2 и 3 соответственно. Показатели пика S2 достигают 20,4 мг/г.

Значения T_{max} указывают на принадлежность всех образцов к главной зоне нефтеобразования (ГЗН).

Значения водородного индекса и T_{max} позволяют нанести исследованные образцы на модифицированную диаграмму Ван-Кревелена для

Результаты пиролитических исследований

№ п/п	Обнажение, возраст	ТОС	HI	S1	S2	OI	MINC	T_{max}	PI
1	Ядро, D_3fm	0,4–1,6	107–247	0,02–0,18	0,9–2,9	36–87	0,7–4,4	439–445	0,02–0,06
2	Широковское, D_3fm	2,7–6,1	167–386	0,16–1,31	5,1–15,7	12–32	1,3–6,1	440–447	0,01–0,08
3	Раузяк, D_3f	1,5–10,5	14–118	0,07–1,86	0,3–11,1	7–79	0,2–2,5	449–459	0,09–0,22

Примечания. ТОС — %; HI — мг НС/г ТОС; S1 — мг НС/г; S2 — мг НС/г; OI — мг CO_2 /г ТОС; MINC — %; T_{max} — °C; PI — $S1/(S1+S2)$.

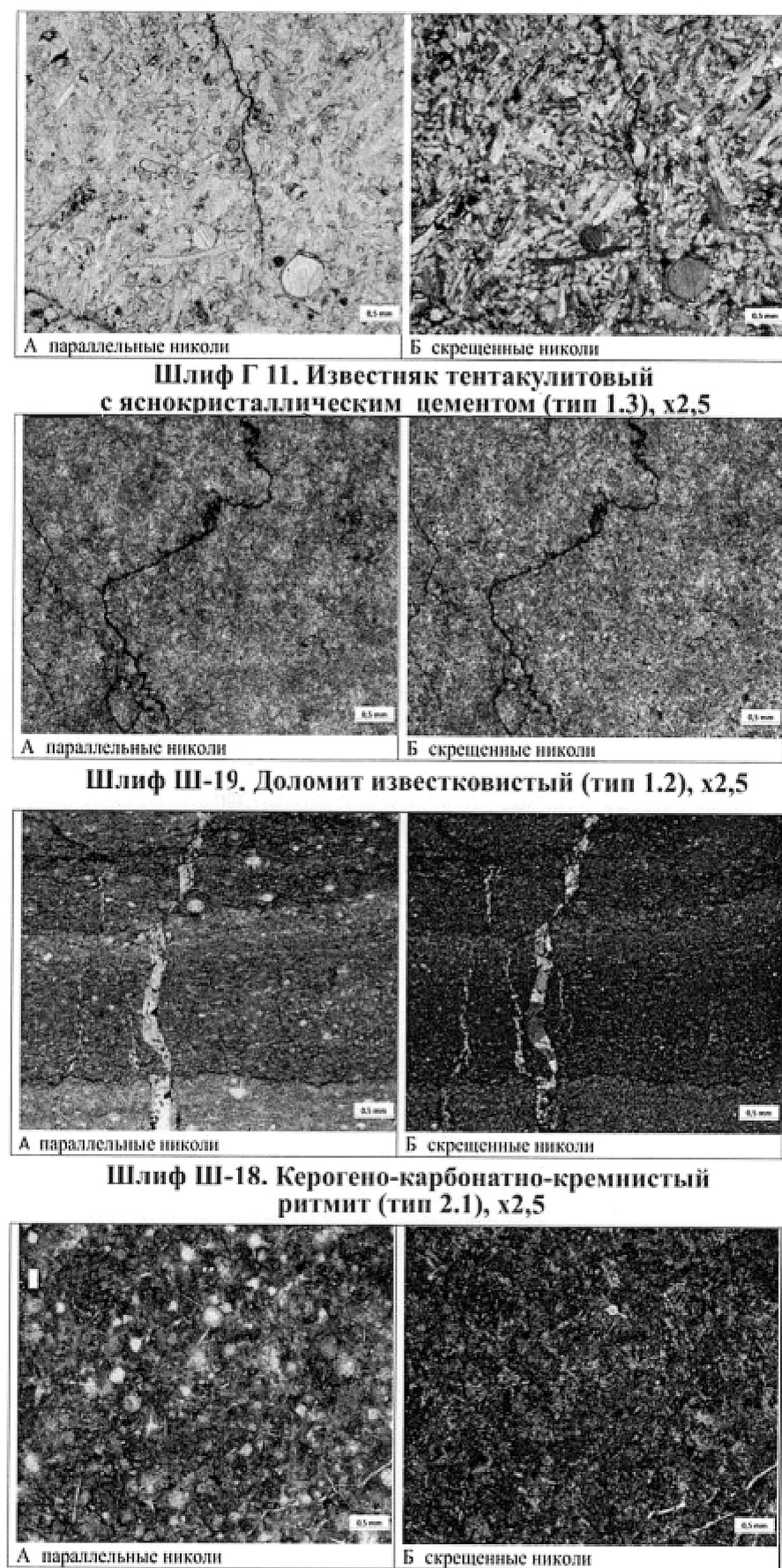


Рис. 2 Фото шлифов изучаемых обнажений (в параллельных и скрещенных николях)

получения информации о типе керогена и степени зрелости ОБ (рис. 3).

Породы из обнажения Раузяк характеризуются содержанием $C_{\text{орг}}$ от 1,5 до 10,5%. Максимальное количество $C_{\text{орг}}$ содержится в образце Р-12. Водородный индекс образцов из этой точки отбора невысокий — от 14 до 118 мг УВ/г ТОС, преимущественно <100 мг УВ/г ТОС. Образцы из обнажения Раузяк характеризуются высокой степенью зрелости (T_{max} ~455 °С), отвечающей градации МК₃. Органическое вещество зрелое, с низким материнским потенциалом II–III типов.

На модифицированной диаграмме Ван-Кревелена видно, что образцы из обнажения Ядро характеризуются II–III типами керогена (смешанное гумусово-сапропелевое вещество), а также содержанием $C_{\text{орг}}$ от 0,41 до 1,56%. Максимальное количество $C_{\text{орг}}$ содержится в образце Я-25. Водородный индекс для образцов из этой точки отбора варьирует от 107 до 247 мг УВ/г ТОС (в среднем 170 мг УВ/г ТОС). Образцы из обнажения Ядро характеризуются высокой степенью зрелости (T_{max} ~442 °С), отвечающей градации МК₂. Органическое вещество зрелое, с низким материнским потенциалом II–III типов.

В породах из обнажения Широковское содержится от 2,74 до 6,11% $C_{\text{орг}}$. Максимальное количество отмечено в образце Ш-7. Водородный индекс образцов из этой точки отбора выше, чем в образцах из других обнажений, и варьирует от 167 до 386 мг УВ/г ТОС. Образцы здесь характеризуются высокой степенью зрелости T_{max} ~443 °С, отвечающей градации МК₂. Органическое вещество зрелое, с низким нефтегазоматеринским потенциалом II–III типов.

Таким образом, исследованные породы содержат органическое вещество II–III типов с не очень высоким НГМ

потенциалом (рис. 3). Наилучшими материнскими качествами обладают породы из обнажения Раузяк. В них по результатам пиролитических исследований доля сапропелевого компонента ОВ относительно выше.

Заключение. Можно отметить следующие закономерности: ТОС увеличивается в ряду от более мелководных образований (обнажение Ядро) к глубоководным (обнажение Раузяк). Катагенетическая преобразованность исследованных доманиковых пород увеличивается от отложений фаменского ($МК_2$) возраста к франским ($МК_3$). Наилучшим генерационным потенциалом обладают смешанные породы керогено-карбонатно-кремнистого состава.

Таким образом, в результате литологического и геохимического исследования образцов доманиковых отложений из обнажений в центральной и южной частях Волго-Уральского бассейна сделана оценка генерационного потенциала пород доманиковой формации. Она показала что кремнисто-карбонатные и карбонатно-кремнистые породы, обогащенные морским водорослевым органическим веществом, обладают высоким нефтегазогенерационным потенциалом. Наибольшими перспективами нефтеносности можно охарактеризовать отложения прогибов, сформировавшиеся на месте авлакогенов и их склонов, где практически в течение всего позднедевонско-турнейского времени отлагались породы, богатые ОВ. Высокими перспективами обладают разрезы на склонах поднятий или бортах рифовых тел. Такие разрезы распространены на бортах впадин некомпенсированного погружения и в нижних частях склонов прилегающих к ним поднятий. В доманикоидных отложениях, в разрезе которых преобладает карбонатный материал, высокоуглеродистые интервалы развивались вдоль биогермных построек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алиев М.М., Батанова Г.П., Хачатрян Р.О. и др. Девонские отложения Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. М.: Недра, 1978. 216 с.

Гатовский Ю.А., Ступакова А.В., Калмыков Г.А. и др. Новые данные о биостратиграфии и фациальных типах разрезов доманиковых отложений (верхний девон) Волго-Уральского бассейна // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2015. № 5. С. 86–99.

Зайдельсон М.И., Вайнбаум С.Я. Карпова Н.Я. и др. Формирование и нефтегазоносность доманикоидных формаций. М.: Наука, 1990. 90 с.

Кирухина Т.А., Большакова М.А., Ступакова А.В. и др. Литолого-геохимическая характеристика дома-

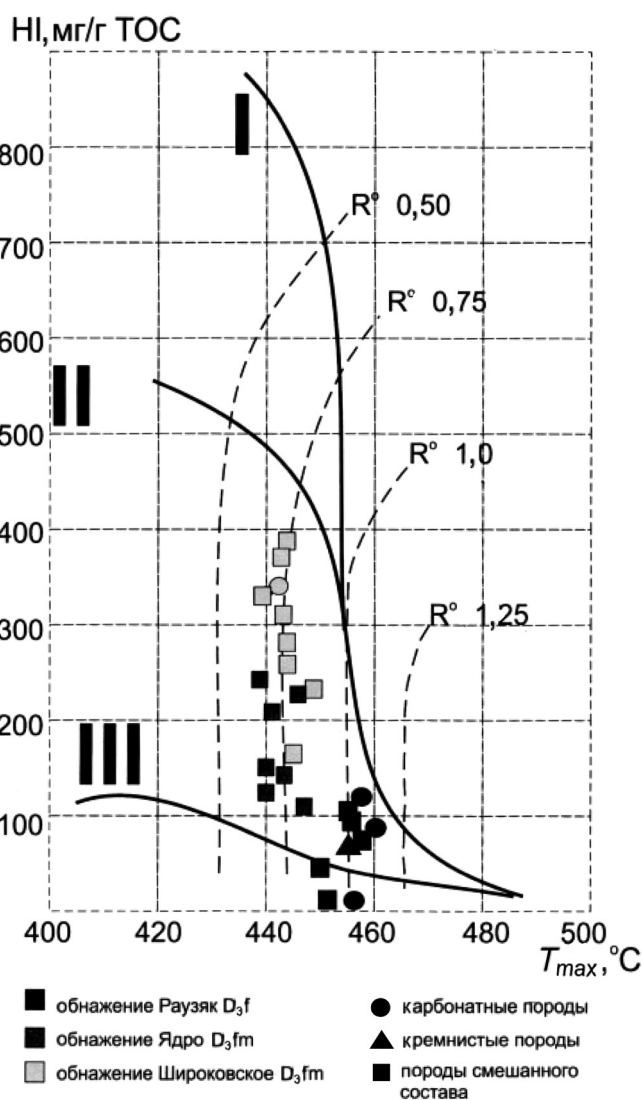


Рис. 3. Модифицированная диаграмма Ван-Кревелена с нанесенными результатами исследования пород изучаемых разрезов

никовых отложений Тимано-Печорского бассейна // Георесурсы. 2015. Ч. 2. С. 87–100.

Ступакова А.В., Фадеева Н.П., Калмыков Г.А. и др. Поисковые критерии нефти и газа в доманиковых отложениях Волго-Уральского бассейна // Георесурсы. 2015. № 2 (61). С. 77–86.

Ступакова А.В., Калмыков Г.А., Коробова Н.И. и др. Доманиковые отложения Волго-Уральского бассейна — типы разреза, условия формирования и перспективы нефтегазоносности // Георесурсы. 2017. Спецвып., Ч. 1. С. 112–124.

Поступила в редакцию 30.10.2018

Поступила с доработки 27.02.2019

Принята к публикации 19.09.2019