

УДК 665.61.033

ОРГАНИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ ПАЛЕОЗОЙ-ТРИАСОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОСТРОВА ВРАНГЕЛЯ

© 2017 г. | Г.Ч. Борукаев

ООО «Шерл», Химки, Россия, gborukaev@mail.ru

ORGANIC GEOCHEMISTRY OF PALEOSOIC-TRIASSIC SEDIMENTS OF WRANGEL ISLAND

© 2017 | G.Ch. Borukaev

ООО «Sherl», Khimki, Russia, gborukaev@mail.ru

Поступила 20.01.2017 г.

Принята к печати 11.07.2017 г.

Ключевые слова: *тип, катагенез, деструкция и генерационный потенциал ОВ; флюидодинамические системы; о-в Врангеля.*

Объектом исследования данной статьи являются дислоцированные и метаморфизованные карбонатные, карбонатно-терригенные, терригенные и реже эвапоритовые породы шельфового типа. Содержащееся в них органическое вещество изучено методами пиролиза, углепетрографии, газожидкостной хроматографии, хромато-масс-спектрометрии и изотопного анализа углерода. Установлено, что на заключительных грациях апокатагенеза генетическую информативность сохранили немногие диагностические показатели. Предполагается аквагенная природа органического вещества II и II/III типов. Генерационный потенциал органического вещества истощен, коллекторские свойства отложений утрачены, флюидодинамические системы геологического прошлого бесперспективны. В условиях Северо-Чукотского осадочного бассейна эти системы могли функционировать и отдавать некоторую часть своей углеводородной продукции в верхние горизонты чехла. Полученные материалы по о-ву Врангеля позволяют положительно оценить перспективы нефтегазоносности самого крупного на Чукотском шельфе бассейна.

Received 20.01.2017

Accepted for publishing 11.07.2017

Key words: *type, catagenesis, destruction and generative potential of organic matter; fluid dynamic systems; Wrangel Island.*

The objects of the study are dislocated and metamorphosed carbonate, carbonate-terrigenous, terrigenous and less often evaporite rocks of the shelf type. Organic matter (OM) of these sedimentary rocks was studied by methods of pyrolysis, coal petrography, gas-liquid chromatography, chromatography-mass spectrometry and isotopic analysis of carbon. Just a few diagnostic indices are found to have preserved their genetic at final stages of apocatagenesis. Generative potential of OM is exhausted, reservoir properties of the deposits are lost and the dynamic fluid systems of the geological past are unpromising. Aquatic nature of OM of the II and II/III types is supposed is suggested. At the present stage the average concentration of organic carbon is about 1% and bitumen — 0.001–0.002% in the isolated horizons. In some samples, these indicators reach 2–3.6% and 0.038%. The carried out reconstruction of OM the initial and located in the oil window area contents, showed that in the past the oil deposits had high quality. Their favorable combination in a section with series of sandstones and organogenic limestones contributed to the formation of fluid dynamic systems located at stratigraphic levels that are close to those found in the oil and gas basin of the North Slope of Alaska. Now their generation and accumulation potentials on the island are almost exhausted, and they have no prospects. Under conditions of the North Chukotka sedimentary basin these systems could function and release some part of the generated HC to upper horizons of the cover. The materials obtained on Wrangel Island allow us to positively assess the prospects of the oil and gas potential of the largest basin on the Chukotka shelf.

Определение перспектив нефтегазоносности восточно-арктических морей России без целенаправленных буровых работ затруднительно и неоднозначно. Помимо геофизических построений в настоящее время этому может способствовать геолого-геохимическое изучение доступных участков материкового и островного обрамления шельфа. В частности, при прогнозировании флюидодинамических систем Северо-Чукотского осадочного бассейна одним из благоприятных объектов может быть близко расположенный о-в Врангеля. Он нахо-

дится на стыке Восточного и Западного полушарий. Его омывают Чукотское и Восточно-Сибирское моря, от материка отделяется на 150 км проливом Лонга. На дневную поверхность выходят докембрий-триасовые осадочные, метаморфические и магматические комплексы, образующие складчато-надвиговую структуру северной вергентности.

Автором статьи выполнены геохимические исследования верхнесилур-триасовых осадочных пород, уровень метаморфизма которых, согласно данным [10], отвечает низкотемпературной суб-

фации зеленосланцевой фации, формирующейся при умеренных давлениях в интервале температур 300–450 °С. Интенсивно дислоцированный и метаморфизованный врангелевский метавулканогенно-терригенный комплекс верхнего протерозоя не представляет интереса для решения поставленных задач.

Палеозой-триасовый разрез слагают карбонатные, карбонатно-терригенные, терригенные и реже эвапоритовые породы шельфового типа. Верхнесилур-нижнедевонская толща образована терригенной и карбонатной литофациями. Средне-верхнедевонские отложения включают аркозовые и полимиктовые песчаники, глинистые сланцы, известняки и мергели. К карбону относятся известняки с прослоями аргиллитов, гипсов и доломитов. Тонкорассланцованные черные и темно-серые аргиллиты преобладают в верхнем девоне, в меньшей степени они распространены в нижнем карбоне. Пермскую толщу образуют аргиллиты с пачками и прослоями известняков и песчаников. Из мезозойских отложений присутствует верхнетриасовая терригенная толща норийского яруса, обладающая чертами более глубоководного режима осадконакопления. Породы всех стратиграфических подразделений дислоцированы, нередко надвиговые контакты, наряду с несогласиями широко развиты перерывы.

Геохимическое изучение органического вещества о-ва Врангеля начато Б.А. Клубовым в 1970-х гг. [6, 7]. На западном и восточном побережье острова им опробовались терригенные и карбонатные породы карбона и триаса (рис. 1). Результаты лабораторного изучения показали, что содержания $C_{орг}$ и хлороформенного битумоида ($B_{хл}$) крайне низкие. В большинстве случаев битумоиды носят остаточный характер, в гидротермальных жилах были зафиксированы единичные проявления эпибитумоидов, в которых коэффициент битуминозности OB достигает 57 %. Катагенетическая превращенность органического вещества определена по угольной шкале как антрацит-графитовая стадия. Б.А. Клубов отнес изученные отложения к нефтепроизводившим.

Автор статьи использовал в своем исследовании комплекс современных прогрессивных методов, которыми охвачен более широкий стратиграфический и географический диапазоны разреза (см. рис. 1). Цель исследования — выделить и оценить флюидодинамические системы геологического прошлого, которые могли генерировать и аккумулировать УВ в пределах о-ва Врангеля.

Материал и методика исследований

Материалом исследования послужила коллекция образцов основных типов осадочных пород, отобранных Г.Ч. Борукаевым из обнажений в полевой период 2014 г. (см. рис. 1). При изучении коллек-

ции использовались методы пиролиза (85 образцов), углететрографии (30 образцов), холодной экстракции битумоидов (49 образцов), газожидкостной хроматографии (49 образцов), хромато-масс-спектрометрии (10 образцов), изотопного анализа углерода (14 образцов). Анализы выполнялись в лабораториях ООО «НИПИ нефти и газа» и геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Содержание $C_{орг}$ (% на породу) и пиролитические параметры (S_1 , S_2 , T_{max} , HI) определялись на приборе Rock-Eval 6. Для углететрографических исследований применялась установка QD1302 (Craic Technologies). Экстракция битумоидов хлороформом из раздробленных до 0,25 мм пород проводилась при комнатной температуре с применением ультразвуковой ванны.

Газожидкостная хроматография битумоида выполнялась на хроматографе Clarus фирмы Perkin Elmer. Условия газохроматографического анализа: газ-носитель — гелий, скорость гелия 30 см/с при 100 °С. Капиллярная кварцевая колонка 60 м × 0,25 мм. Скорость программирования температуры термостата колонок — 4 °С/мин, начальная температура — 60 °С, конечная — 320 °С.

Извлеченные из образцов породы $B_{хл}$ разделялись в стеклянной колонке аргентированным силикагелем (10 % $AgNO_3$ и 90 % силикагеля VARIAN 40 мкм) на насыщенные и ароматические УВ, которые исследовались методом хромато-масс-спектрометрии на магнитном масс-спектрометре высокого разрешения Thermo Focus DSQ II. Соединения идентифицировались по характерным осколочным ионам: при отношении их массы к заряду (m/z), равному 191 — три-, тетра- и пентациклические терпаны; 217 — стераны; 231 — триароматические стероиды; 253 — моноароматические стероиды; 178 — фенантрен; 192 — метилфенантрены; 184 — дибензотиофен; 198 — метилдибензотиофены.

Изотопный состав углерода насыщенных и ароматических фракций определялся на комплексе оборудования для анализа стабильных изотопов легких элементов Delta V Advantage фирмы Thermo Finnigan (Бремен, Германия).

Результаты исследования

Углеродистое вещество метаморфизованных осадочных пород становится предметом изучения довольно редко. В известных публикациях на эту тему [3, 4, 5, 11, 17] отмечается, что содержания битумоидов крайне низки во всех породах разных зон метаморфизма. В составе битумоидов присутствуют в основном сложные эфиры карбоновых кислот и УВ. Последние представлены высокомолекулярными алифатическими цепями, в петролейно-эфирных смолах выявлены кислородсодержащие группы с алькильными заместителями. ИК-спектры битумо-

идов из пород зеленосланцевой фации фиксируют УВ-соединения, которые устойчиво сохраняются в широком температурном интервале фаций метаморфизма (450–700 °С).

Исследования по большим и сверхбольшим глинам нефтегазоносных бассейнов Западной и Восточной Сибири [1, 14, 15] показали, что корреляция генерационных и деструктивных процессов в значительной степени зависит от степени липидности ОВ. Чем она выше, тем дольше сохраняется генерационный потенциал и позднее наступает деструкция нерастворимого ОВ (керогена) и микронепти. В террагенном ОВ (III тип) лавинная деструкция осуществляется на градации МК₅, в аквагенном ОВ (II тип) — АК₁. В доманикоидных отложениях, характеризующихся повышенными содержаниями высоколипидного ОВ, генерационный потенциал сохраняется на градации АК₃ и битумоиды имеют «нормальный вид» [20]. При более глубоких преобразованиях процесс резко тормозится, поскольку нерастворимое ОВ начинает графитизироваться, а в микронепти преобладают термически устойчивые соединения (твердые парафины и фталаты).

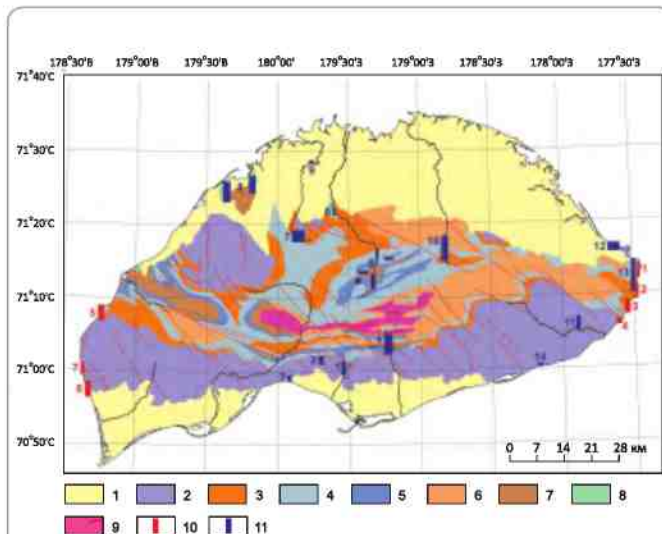
Изучение битумоидов из пород о-ва Врангеля, из-за их исключительно низких содержаний, ограничилось определением индивидуального состава насыщенных и ароматических УВ методами газожидкостной хроматографии и хромато-масс-спектрометрии, не требующих большого количества вещества. Диагностические УВ-показатели, получающиеся этими методами, обычно разрабатывались для ОВ, уровень зрелости которого не выходит за пределы мезокатагенеза и в основном соответствует главной зоне нефтеобразования.

Изучение данной коллекции образцов метаморфизованных осадочных пород дает возможность выяснить, какие из принятых показателей сохранили информативность и в апокатагенезе. Ранее такие исследования битумоидов осадочных пород о-ва Врангеля не проводились.

Содержания и тип ОВ

Данные пиролиза. В палеозой-триасовых отложениях содержания $C_{орг}$ варьируют в диапазоне 0,02–3,64 %. В пачках и слоях черных и темно-серых глинистых сланцев и рассланцованных аргиллитов верхнего девона – нижнего карбона, верхней перми и верхнего триаса зафиксированы содержания около 1 % и более. В отдельных образцах концентрации $C_{орг}$ соответственно достигают 1,73 % (обнажение 12), 3,64 % (обнажение 13) и 2,36 % (обнажение 3). В песчаниках, алевролитах и карбонатных породах $C_{орг}$ обычно составляет десятые доли процента. В глинистых сланцах и аргиллитах всего разреза значения водородного индекса однообразно малы ($HI = 0–20$ мг

Рис. 1. Карта геохимической изученности о-ва Врангеля
Fig. 1. Map of geochemical studies of Wrangel Island



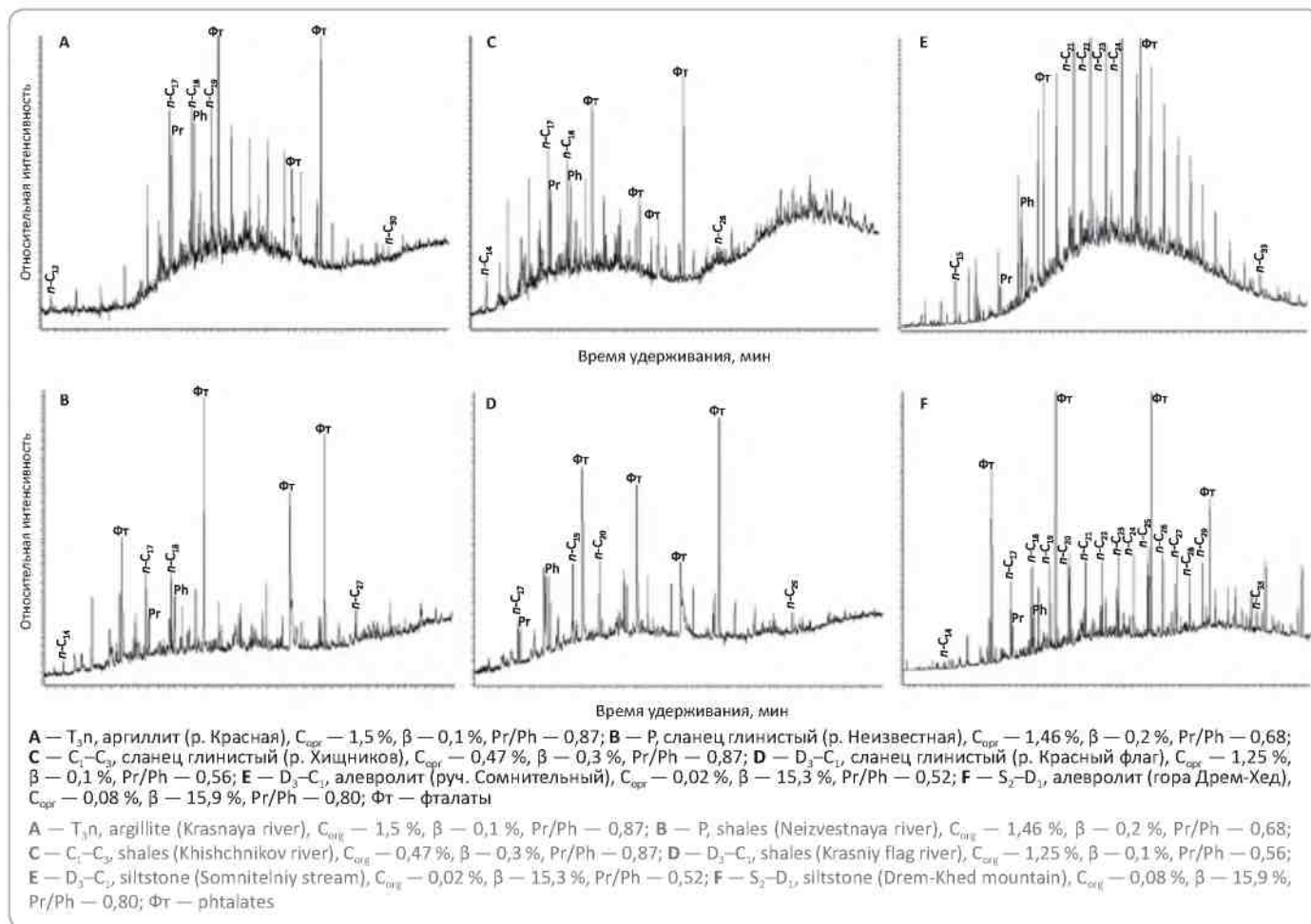
Возраст пород (1–9): 1 — Q, 2 — T₃, 3 — P, 4 — C₁₋₃, 5 — C₁, 6 — D-C₁, 7 — D, 8 — S₂-D₁, 9 — PR₂; 10 — прибрежные обнажения, изученные Б.А. Клубовым в начале 1970-х гг.: 1 — утес Уэринг (C₁-v-n), 2 — к северу от мыса Пиллар (C₁-v-n), 3 — между мысом Пиллар и мысом Утес Большевик (C₁-v-n-T₃), 4 — мыс Утес Большевик (T₃), 5 — мыс Птичий Базар (C₁-v-n), 6 — гора Томас (T₃), 7 — около высоты 524,4 м (T₃); 11 — обнажения, изученные Г.Ч. Борукаевым в 2014 г.: 1 — ручей Сомнительный (D-T₃n), 2 — ручей Вьючный (D-T₃n), 3 — Чертов овраг (T₃n), 4 — ручей Лагерный и река Хищников (D-T₃n), 5 — река Неизвестная и горы Первая и Гробница (D-T₃n), 6 — река Леминговая (S-D, P), 7 — река Тундровая и гора Пик Тундровый (P-T₃n), 8 — горы Большой и Малый Дрем-Кхед (S-D₁), 9 — река Тундровая (Q), 10 — река Красный Флаг (D-C₁), 11 — река Кларк и гора Круглая (T₃n), 12 — залив Дублицкого (D-C₁), 13 — между мысом Пиллар и мысом Уэринг (C₂-P₁), 14 — устье реки Красная (T₃n-N-Q)

Rock age (1–9): 1 — Q, 2 — T₃, 3 — P, 4 — C₁₋₃, 5 — C₁, 6 — D-C₁, 7 — D, 8 — S₂-D₁, 9 — PR₂; 10 — coastal exposures studied by B.A. Klubov in the early 1970s: 1 — cliff Uering (C₁-v-n), 2 — northwards from cape Pillar (C₁-v-n), 3 — between cape Pillar and cape Cliff Bolshevik (C₁-v-n-T₃), 4 — cape Utyos Bolshevik (T₃), 5 — cape Ptichiy Bazar (C₁-v-n), 6 — mount Tomas (T₃), 7 — near Height 524.4 m (T₃); 11 — exposures studied by G.Ch. Borukaev in 2014: 1 — creek Somnitelny (D-T₃n), 2 — creek Viuchny (D-T₃n), 3 — ravine Chiortov (T₃n), 4 — stream Laguerny and river Khishchnikov (D-T₃n), 5 — river Neizvestnaya and mountains Perwaya and Grobnitsa (D-T₃n), 6 — river Lemingovaya (S-D, P), 7 — river Tundrovaya and mountain Pik Tundrovoy (P-T₃n), 8 — mountains Bolshoi and Malyi Drem-Khed (S-D₁), 9 — river Tundrovaya (Q), 10 — river Krasnyy Flag (D-C₁), 11 — river Klark and mountain Kruglaya (T₃n), 12 — bay Dublitskogo (D-C₁), 13 — between cape Pillar and cape Uering (C₂-P₁), 14 — estuary of river Krasnaya (T₃n-N-Q)

УВ/г $C_{орг}$) при широком диапазоне колебаний кислотного индекса ($OI = 0–500$ мг CO_2 /г $C_{орг}$). Отсутствие зависимости между ними не позволяет отнести ОВ ни к одному из трех привычно встречаемых типов. Оно выделено автором статьи в особый IV тип, кероген которого утратил генетические черты.

Результаты холодной экстракции показали очень низкие выходы $B_{хл}$, его средние содержания колеблются в пределах 0,001–0,002 %. Исключение из об-

Рис. 2. Хроматограммы насыщенной фракции битумоидов
Fig. 2. Chromatograms of the saturated fraction of bitumoids



щей выборки представляют два образца: верхнесилур-нижнедевонский алевролит с северного склона г. Большой Дрем-Хед (обнажение 8; 0,013 %) и пермский глинистый сланец с побережья мыса Уэринг (обнажение 13; 0,038 %). В образце с мыса Уэринг битумоид почти полностью состоит из асфальтенов (98 %) и лишь незначительный остаток приходится на мальтены. В отдельных образцах глинистых сланцев верхнего девона, нижнего – среднего карбона и перми экстрагированное вещество состоит в основном из серы. Очень низкие выходы B_{зд} свидетельствуют о практически утраченной битуминозности ОБ.

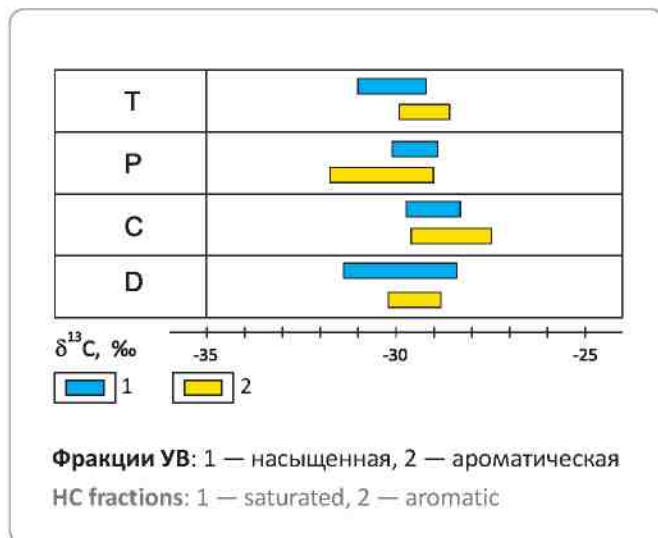
Углетрографические данные характеризуют лишь формы распространения ОБ в породах. Оно аморфно и фиксируется в межзерновом пространстве в крайне малых количествах в виде слоев, линзочек, обрывков, ниточек и примазок. По всему возрастному диапазону в редких образцах установлены мелкие переотложенные включения в виде отдельных зерен и фрагментов угловатой формы, которые по облику и свойствам напоминают витри-

нит (vitrinit-like) с выраженной анизотропией. Также отмечены включения битуминита и графита.

Данные газожидкостной хроматографии и хромато-масс-спектрометрии. По составу некоторых групп УВ-биомаркеров насыщенной и ароматической фракций битумоидов удалось восстановить предположительный генетический тип ОБ. Распределение нормальных алканов битумоидов глинистых сланцев и аргиллитов характеризуется однообразием по всему разрезу (рис. 2). В них идентифицированы УВ от C₁₂ до C₃₃ (согласно газожидкостной хроматографии) и до C₃₆ (согласно хромато-масс-спектрометрии) включительно, устойчивый максимум концентраций приурочен к C₁₈, и только в триасе он проявляется на C₁₅ и C₁₇. Коэффициент нечетности по всей длине цепи приблизительно равен единице (0,9–1,1). В ациклических изопренах *i*-(C₁₄-C₂₀) максимальные концентрации связаны с *i*-C₁₉ (пристан Pr) и *i*-C₂₀ (фитан Ph), их отношение (Pr/Ph) во всех образцах < 1 (0,12–0,89). Коэффициенты изопреноидности также малы.

Рис. 6. Изотопный состав органического углерода битумоидов

Fig. 6. Isotope composition of organic carbon from bitumoids



Выявленные особенности распределения нормальных алканов, ациклических изопренанов, стеранов и терпанов свидетельствуют о морской природе генерировавшего битумоиды ОВ. В девонских и триасовых отложениях накапливалось ОВ II типа, в других частях разреза возможен и II/III тип.

В ароматической фракции битумоидов верхнего девона и верхнего триаса выявлены ароматические стероиды, метилдибензотиофены и метилфенантрены, в той же фракции верхнего девона также обнаружены дибензотиофен и фенантрен. Известно, что такие соединения встречаются в составе микронейфти морского и континентального происхождения. Однако в процессе катагенеза ее деароматизация наступает на разных градациях и зависит от типа генерационного источника. В угленосных и субугленосных породах с преимущественно террагенным ОВ III типа этот процесс происходит в конце мезокатагенеза, тогда как в битумоидах доманикоидных пород с аквагенным ОВ II типа полиароматические УВ фиксируются и в апокатагенезе [1]. Вероятно, УВ-источником верхнедевонских и верхнетриасовых битумоидов служило высоколипидное ОВ. Оно обладало повышенной способностью к фоссилизации [13], позволившей сохраниться фенантреновым и содержащим серу дибензотиофеновым структурам в породах зеленосланцевой фации о-ва Врангеля. Полиароматические УВ встречаются в битумоидах доманикоидных отложений на градациях заключительного апокатагенеза и в других регионах [20]. Очевидно, что изученные образцы входят в состав существовавших в девоне и триасе классических нефтематеринских

горизонтов, ОВ которых накапливалось в условиях аноксии, что подтверждается присутствием в породах кристалликов и конкреций пирита.

Изотопный состав углерода УВ-фракций палеозой-триасовых отложений характеризуется высокими концентрациями легкого изотопа углерода ($\delta^{13}\text{C} = -28,6 \dots -31,7 \text{‰}$). Сравнение изотопного состава углерода большинства битумоидов изученной коллекции с показателями $\delta^{13}\text{C}$, установленными для аквагенного и террагенного ОВ [9], дает основание полагать, что в глинистых сланцах и аргиллитах накапливалось преимущественно нефтематеринское ОВ II и II/III типов. Верхнедевонские, верхнепермские и верхнетриасовые битумоиды, в насыщенной фракции которых $\delta^{13}\text{C} = -29,5 \dots -31,4 \text{‰}$, могли генерироваться нефтематеринскими отложениями с высоколипидным ОВ. Стабильные изотопы углерода всех изученных образцов характеризуются близким и облегченным составом (рис. 6).

Катагенез, деструкция и генерационный потенциал ОВ

Произвести точные определения градаций катагенеза углепетрографическими методами удалось только для отложений верхнего триаса (норий) на юго-западном побережье острова (обнажение 3, Чертов овраг). Здесь замеры в шлифах высокие значения R_o (3,5–5,0) и присутствие крупных обломков графита позволяют считать, что углеродистое вещество находится на заключительной градации апокатагенеза с признаками графитизации. В образцах палеозойских отложений из-за недостаточных размеров включений фрагментов «vitritin-like» и битуминита замерить R_o не удалось. Встречающаяся по всему разрезу яркая мозаичная, чешуйчатая или волнистая анизотропия ОВ свидетельствует о высокой степени его преобразованности. Она привела к интенсивной деструкции УВ-биомаркеров, которая определенным образом отразилась на образцах коллекции автора статьи.

В насыщенной фракции УВ развиты длинные цепи нормальных алканов, в которых число атомов углерода достигает 33 и 36. Возникновение нормальных твердых парафиновых структур, скорее всего, связано с разукрупнением цикланов. На хроматограммах по всему разрезу видны пики диэтил- и дибутилфталатов, представляющих сложные эфиры фталевой кислоты, которые характерны для битумоидов отложений с интенсивно преобразованным ОВ [1] (см. рис. 2).

В алевролитах и песчаниках верхнего силура – нижнего девона и верхнего девона – нижнего карбона коэффициент битуминозности $\beta > 15 \%$. В этих образцах фиксируются существенные отличия в распределении нормальных алканов. На хроматограммах битумоидов верхнего силура – нижнего девона

выделяется широкая площадка от C_{17} до C_{29} , в пределах которой концентрации УВ с четным и нечетным числом атомов очень близки. На хроматограммах битумоидов верхнего девона – нижнего карбона наблюдается более узкая площадка, охватывающая УВ от C_{20} до C_{24} и образующая нехарактерный для изученной коллекции образцов максимум. Предположительно, такие отклонения в распределении могут быть вызваны более интенсивными структурными изменениями нормальных алканов, проявившимися и в более высокомолекулярной области.

Среди регулярных стеранов доминируют изостераны. Перегруппированные изомеры (диастераны) преобладают над регулярными ($DIA / REG = 1,08-2,07$) (см. рис. 3), схемы распределения стеранов близки для всех стратиграфических подразделений (см. рис. 4). Свойственная живому веществу *R*-конфигурация при атоме $C-20$ в стеране C_{29} на 31–49 % трансформировалась в более стабильную 20*S*-конфигурацию. Специфика изменений тритерпанов и гопанов состоит в возрастании относительной роли компонентов с низкой молекулярной массой и убывании — с высокой, что обусловлено укорочением «хвостов» алькильных заместителей. Термически неустойчивые моретаны идентифицированы только в одном образце триасового битумоида, в котором они составляют лишь 0,09 от общей концентрации гопанов (см. рис. 5). Отношение T_S / T_M в большинстве образцов < 1 (0,45–0,70), что свидетельствует о большой миграционной способности структурно перегруппированного трисноргопана C_{27} . Его существенное количество могло уйти в атмосферу во время деформаций осадочного чехла, сопровождавшихся перерывами и размывами.

Стабильные изотопы углерода всех изученных образцов характеризуются облегченным составом (см. рис. 6). Это может быть следствием двух причин: первая — микронепть не содержит асфальтенов, они из нее выпали и рассеялись в породах в виде обогащенных тяжелым изотопом ^{13}C битумов; вторая — вертикальная миграция УВ происходила из одного или нескольких нефтематеринских источников с аквагенным ОВ, в котором высока роль легкого изотопа ^{12}C .

Генерационный потенциал ОВ определялся методом Rock-Eval. Несмотря на большой возрастной диапазон изученных образцов, УВ-параметры пиролиза в большинстве случаев близки и имеют очень малые значения, ограниченные интервалами 0,01–0,08 мг УВ/г породы для S_2 и 0,01–0,06 мг УВ/г породы для S_1 . В единичных образцах эти показатели достигают 0,34 и 1,06 мг УВ/г породы соответственно. На пирограммах пик S_2 во многих образцах бимодален и образован S_{2a} и S_{2b} . Согласно Е. Лафаргу и Дж. Эспиталье с коллегами [18], бимодальность S_2 проявляется в породах, в которых нефть и микронепть полностью или частично состоят из смол

и асфальтенов. В.Н. Меленевский, Л.С. Борисова и И.Д. Тимошина [12], проводившие пиролитические исследования твердых битумов ряда кериты–антраксолиты, внесли уточнение и установили соответствие пика S_{2a} (310–360 °С) высокомолекулярной смолистой части битумов, а S_{2b} ($> 400-600$ °С) — керитам.

Водородный индекс HI варьирует от 0 до 20, достигая в некоторых алевролитах и песчаниках девонского возраста 50–95 мг УВ/г $C_{орг}$, а в единичных образцах песчаников и известняков карбона — 167 и 250 мг УВ/г $C_{орг}$. Почти все проанализированные образцы сконцентрированы в температурном интервале 310–375 °С левого угла диаграммы, отражающей зависимость HI от величины T_{max} (рис. 7). При такой температуре продукты пиролиза выделяются за счет термического испарения устойчивых смолистых компонентов и, вероятно, фталатов интенсивно преобразованной микронепти. В интервал 500–600 °С попал один образец аргиллитов триаса, в котором твердые нерастворимые битумы (кериты) могли подвергнуться крекингу.

Суммируя данные пиролиза, можно сделать главный вывод: генерационный потенциал всех литолого-стратиграфических подразделений силур-триасового разреза сильно истощен или полностью реализован. При таких параметрах ОВ не может служить источником УВ, достаточным для формирования

Рис. 7. Модифицированная диаграмма Ван Кревелена, отражающая зависимость водородного индекса (HI) от T_{max}

Fig. 7. The Van Krevelen's modified chart showing dependence of hydrogen index (HI) on T_{max}

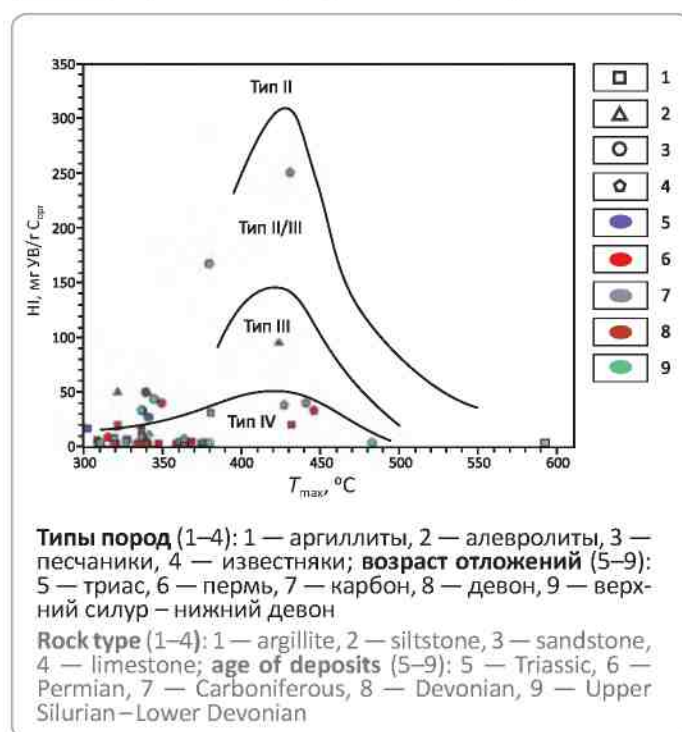
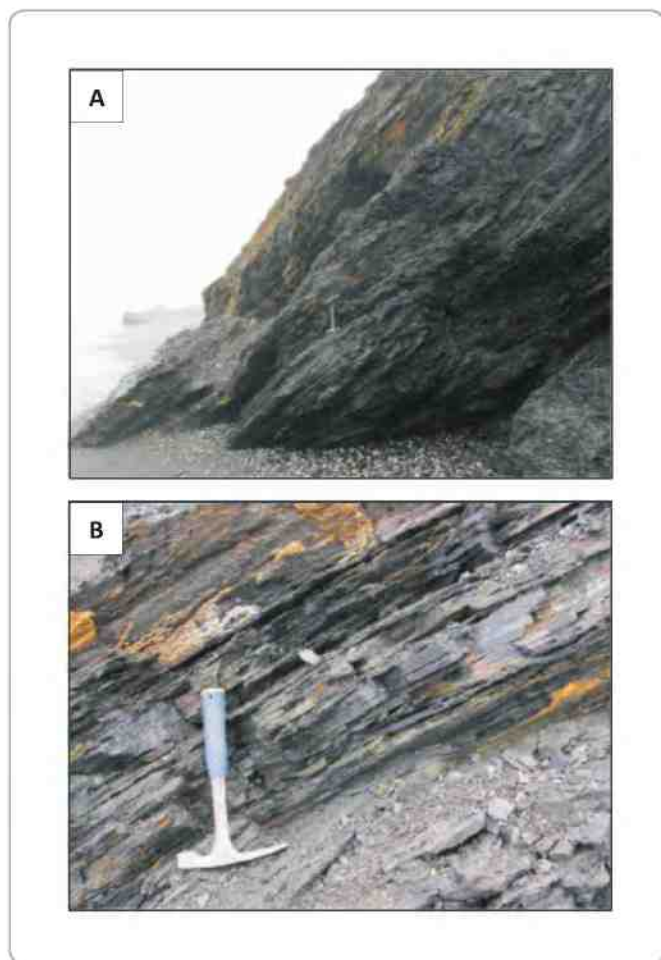


Рис. 8. Обнажение (А) и место отбора образца (В) рассланцованных аргиллитов пермских отложений (мыс Уэринг) с содержанием $C_{орг}$ 3,64 %

Fig. 8. Exposure (A) and place of taking sample (B) of sheeted argillites from the Permian deposits (cape Uering) containing 3.64 % of $C_{орг}$



залежей. Отмеченное увеличение HI в некоторых песчаниках и органогенных известняках, иногда сопровождающееся небольшим возрастанием содержаний $B_{хл}$, указывает на сохранившиеся следы миграции УВ.

Флюидодинамические системы геологического прошлого

Чтобы выделить и оценить генерационные возможности нефтегазоматеринских толщ в осадочных бассейнах до того момента, когда их отложения подверглись дислокационному метаморфизму, целесообразно реконструировать содержания исходного и находящегося в главной зоне нефтеобразования ОВ. В работах А.Э. Конторовича и др. [8] и Г.Ч. Борукаева, И.Д. Поляковой [1] рассчитано, что в конце апокатагенеза потери $C_{орг}$ от его начального количества составили 70–80 %, в главной зоне нефтеобразования — около

50 %. Потери микронефти более существенны и в заключительном апокатагенезе доходят до 90–95 %.

Результаты реконструкций нефтематеринских показателей темно-серых и черных сланцев верхнего триаса, верхней перми и верхнего девона — нижнего карбона особенно наглядны на примере образцов с повышенными содержаниями $C_{орг}$.

В обнажении юго-восточной части острова (обнажение 13) вблизи мыса Уэринг (рис. 8) выделен слой черных рассланцованных аргиллитов верхней перми мощностью 3 м. Из этого слоя изучен образец с содержанием $C_{орг}$ 3,64 % и $B_{хл}$ 0,038 % при уровне зрелости ОВ, соответствующем заключительным градациям апокатагенеза. Здесь восстановленное первоначальное содержание $C_{орг}$ достигало 10 %, а в главной зоне нефтеобразования — 5 %. Концентрация $B_{хл}$ тоже была значительной и составляла 0,05–0,07 %. Очевидно, рассматриваемый слой высокоуглеродистых аргиллитов верхней перми — нефтематеринский, в прошлом обладавший превосходным генерационным потенциалом — предположительно HI достигал 400–500 мг УВ/г $C_{орг}$. Его можно сравнивать с черными карбонатно-глинистыми медистыми сланцами купершифер ($C_{орг}$ = 5–30 %) и подобными образованиями, возникшими в конце перми и соответствующими крупнейшему вымиранию в морских и наземных экосистемах.

В образце темно-серых рассланцованных аргиллитов верхнего триаса из обнажения Чертов овраг (обнажение 3) содержание $C_{орг}$ составляет 2,36 %, битумоида — 0,001 %, при уровне зрелости ОВ, соответствующему концу апокатагенеза с проявлениями графитизации. Здесь исходные содержания $C_{орг}$ были более 10 %, в главной зоне — 5 %. Потери микронефти особенно значительны, можно только предполагать, что максимальное содержание $B_{хл}$ достигало 0,05 %, HI — 300–400 мг УВ/г $C_{орг}$.

В черных глинистых сланцах верхнего девона из обнажения с р. Неизвестной (обнажение 5) содержание $C_{орг}$ достигало 1,30 %, $B_{хл}$ — 0,003 % на конечной градации апокатагенеза. Расчетные значения исходного $C_{орг}$ составляли около 6 %, в главной зоне — 3 %, $B_{хл}$ могли доходить до 0,05–0,05 %, HI — 250–300 мг УВ/г $C_{орг}$.

Рассмотренные примеры характеризуют высокое и хорошее качество выделенных нефтегазоматеринских толщ. Они располагались на тех же стратиграфических уровнях (верхний триас, верхняя пермь, верхний девон — нижний карбон), которые характерны для нефтегазоматеринских толщ нефтегазоносного бассейна Северный склон Аляски. В сочетании с пачками песчаников и органогенных известняков такие толщи могли сформировать флюидодинамические системы, существовавшие на площади о-ва Врангеля.

Эволюционному созреванию ОВ и сохранению коллекторских свойств песчаников и органогенных

известняков мешали частые смены структурных планов, сопровождавшиеся интенсивными деформациями и размывами породных комплексов. Углеродородная миграция по трещинам разломных зон активизировалась на этапах деформаций, выделенных в девоне, середине мела, конце мела – палеоцене и палеоцене – эоцене [2]. Главные изменения структурного плана произошли в середине мела, во время брукского орогенеза (конец неокома – апт). Тогда эти факторы неминуемо привели к динамокатагенезу, вследствие чего ОВ достигло градаций позднего апокатагенеза, а участками даже графитизировалось. В породах-коллекторах исчезло поровое пространство, трещины были залечены, флюидоупоры в результате кливажирования, наоборот, стали трещиноватыми. Продукты бывших нефтяных генераций сохранились преимущественно в твердой фазе (асфальты, асфальтиты, кериты, антраксолиты) и встречаются в виде тончайших вкраплений, слоев и линзочек по плоскостям наложения пород. Местоположение в разрезе основных элементов возможных флюидодинамических систем показано на рис. 9.

В 50 км на северо-восток от о-ва Врангеля расположен Северо-Чукотский осадочный бассейн, заполненный девон-кайнозойскими отложениями общей мощностью до 20 км. Выделенные для острова высокопродуктивные флюидодинамические системы имели региональное распространение и в условиях этой стабильно развивавшейся структуры могли активно функционировать, создавая залежи нефти и газа [16]. В центральном рифтогенном прогибе по мере погружения на большие глубины залежи разрушались. Их УВ мигрировали в верхние горизонты и пополняли потенциал действующих флюидодинамических систем позднего мезозоя – кайнозоя. На южном фланге бассейна мощность осадочного чехла сокращена до 4–8 км. Здесь доманикоидные и субдоманикоидные нефтематеринские горизонты девона – триаса, локализованные во впадине, создавали небольшой очаг генерации жидких УВ, скопления которых могли сохраниться. Их относительно неглубокое (около 2 км) залегание на склоне Северо-Чукотского бассейна делает этот район особенно интересным в качестве нефтегазопроискового объекта.

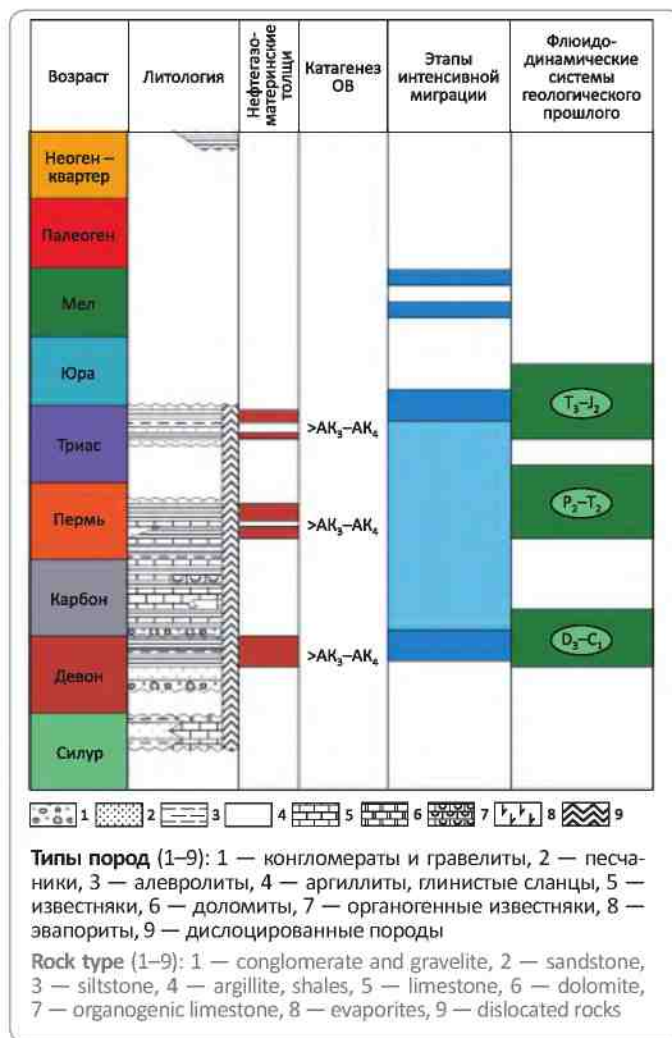
Заключение

Результаты изучения геохимии ОВ палеозой-триасового разреза комплексом геохимических методов показали следующее:

1. Тип ОВ дислоцированных и метаморфизованных осадочных пород в результате глубокой деструкции определяется неоднозначно. Очень немногие диагностические показатели сохраняют генетическую информативность. В качестве таковых с определенной долей условности использованы типы

Рис. 9. Флюидодинамические системы (ФДС) геологического прошлого

Fig. 9. Dynamic fluid systems of the geological past



распределения нормальных алканов, изопренанов, стеранов, терпанов, присутствие конденсированных аренов и сероорганических соединений, а также изотопный состав углерода битумоидов. Предполагается аквагенная природа нефтегазоматеринского ОВ. В позднем девоне – раннем карбоне и позднем триасе оно соответствовало II типу, а в остальной части разреза – не только II, но и II/III типам.

2. Уровень термической зрелости ОВ находится на грациях заключительного апокатагенеза, в отдельных случаях оно подверглось графитизации.

3. Генерационный потенциал керогена реализован. Пиролитическая микрогенерация УВ происходит преимущественно за счет смолисто-асфальтеновых компонентов рассеянных в породе битумов.

4. В качестве нефтепроизводивших толщ выделяются черные аргиллиты верхнего триаса, темноцвет-

GEOCHEMICAL SURVEYS

ные глинистые сланцы и аргиллиты верхней перми и верхнего девона – нижнего карбона. На современном этапе они характеризуются средними концентрациями $C_{орг} \approx 1\%$ и исключительно низкой битуминозностью органического вещества.

5. В песчаниках и карбонатах отсутствует поровое пространство, трещины и каверны залечены. В настоящее время эти породы не обладают коллекторскими свойствами. В некоторых образцах органическое вещество характеризуется слабоповышенными значениями битуминозности и водородного индекса, отражающими следы былой миграции УВ.

6. Благоприятное сочетание в разрезе глинистых сланцев и аргиллитов с песчаниками и биогермными известняками в геологическом прошлом могло способствовать образованию флюидодинамических систем. В настоящее время эти системы в нефтегазоносном отношении бесперспективны.

7. В условиях Северо-Чукотского бассейна флюидодинамические системы палеозоя – триаса могли активно функционировать и отдавать некоторую часть своей УВ-продукции в ловушки верхних горизонтов. Полученные материалы по о-ву Врангеля позволяют положительно оценить перспективы нефтегазоносности самого крупного на Чукотском шельфе бассейна.

Литература / References

1. Борукаев Г.Ч., Полякова И.Д. Генерация и деструкция микро нефти на больших глубинах. Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39. – № 4. – С. 518–523.
Borukaev G.Ch., Polyakova I.D. Generation and destruction of micro-oil at great depths. Geologiya i geofizika. 1998;39(4):518–523.
2. Вержбицкий В.Е., Соколов С.Д., Тучкова М.И., Лобковский Л.И. Новые данные о структуре и тектонической эволюции острова Врангеля (Российская Восточная Арктика) // ДАН. – 2014. – Т. 456. – № 6. – С. 686–690.
Verzhbitsky V.E., Sokolov S.D., Tuchkova M.I., Lobkovsky L.I. New data on structure and tectonic evolution of Wrangel Island (Russian East Arctic). Doklady Akademii Nauk. 2014;456(6):686–690.
3. Воронцов А.Е., Макрыгина В.А., Мартихаева Д.Х., Развозжаева Э.А. Углеродистое вещество в метаморфических и гидротермальных породах. – М.: Из-во СО РАН, 2001. – 210 с.
Vorontsov A.E., Makrygina V.A., Martikhaeva D.Kh., Razvozhayeva E.A. Carbon matter in metamorphic and hydrothermal rocks. Moscow: Publ. of SO RAN; 2001. 210 p.
4. Гордадзе Г.Н., Мазанов В.Ф., Соломатина И.П., Белова Е.А. К вопросу о нефтегазоносности краевой части Западного Верхоянья // Геология нефти и газа. – 1994. – № 2. – С. 15–21.
Gordadze G.N., Mazanov V.F., Solomatina I.P., Belova E.A. On the problem of oil and gas potential of the marginal part of the W. Verkhoyanie region. Geologiya nefiti i gaza. 1994;(2):15–21.
5. Закруткин В.Е. Высокоуглеродистые формации раннего докембрия европейской части СССР. – Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1982. – 286 с.
Zakrutkin V.E. High-carbon-content formations of the Early Precambrian in the European part of the USSR. Rostov-on-Don: Publ. of Rostov University; 1982. 286 p.
6. Клубов Б.А. Битуминологическая характеристика каменноугольных и триасовых отложений острова Врангеля // Нефтегазовая геология и геофизика. – 1972. – № 10. – С. 22–25.
Klubov B.A. Bitumenological characteristics of the Carboniferous and Triassic deposits of Wrangel Island. Neftegazovaya geologiya i geofizika. 1972;(10):22–25.
7. Клубов Б.А. К вопросу о перспективах нефтегазоносности острова Врангеля и прилегающих акваторий. Проблемы нефтегазоносности Северо-Востока СССР. – Магадан: АН СССР, 1973. – С. 140–151.
Klubov B.A. On the problem of oil and gas potential of Wrangel Island and adjacent offshore areas. Problems of oil and gas occurrence in the North-East of the USSR. Magadan: Academy of Sciences of the USSR; 1973. pp. 140–151.
8. Конторович А.Э., Полякова И.Д., Стасова О.Ф., Трушков П.А., Бабина Н.М., Богородская Л.И., Данилова В.П., Зуева Т.В., Колганова М.М., Липницкая Л.Ф., Мельникова В.М., Фомичев А.С. Органическая геохимия мезозойских нефтегазоносных отложений Сибири. – М.: Недра, 1974. – 192 с.
Kontorovich A.E., Polyakova I.D., Stasova O.F., Trushkov P.A., Babina N.M., Bogorodskaya L.I., Danilova V.P., Zuyeva T.V., Kolganova M.M., Lipnitskaya L.F., Melnikova V.M., Fomichev A.S. Organic geochemistry of Mesozoic oil and gas plays in Siberia. Moscow: Nedra; 1974. 192 p.
9. Конторович А.Э., Богородская Л.И., Голышев С.И. Закономерности фракционирования изотопов углерода в осадках // Геология и геофизика. – 1985. – Т. 26. – № 9. – С. 34–42.
Kontorovich A.E., Bogorodskaya L.I., Golyshev S.I. Regularities of fractioning of carbon isotopes in sedimentary cahits. Geologiya i geofizika. 1985;26(9):34–42.
10. Косьюк М.К. Остров Врангеля: геологическое строение, минерагения, геоэкология / Под ред. М.К. Косьюк, В.И. Ушаковой. – СПб.: Изд-во ВНИИОкеангеология, 2003. – 137 с.

Kosko M.K. Wrangel Island: geological structure, mineralogy, geo-ecology. In: M.K. Kosko, V.I. Ushakova, eds. St. Petersburg: VNIIOkeangeologia; 2003. 137 p.

11. *Мартихаева Д.Х.* Исследование углеродистого вещества в метаморфических и гидротермальных породах (Сибирская платформа и Прибайкалье): автореф. дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. – Иркутск: Из-во СО РАН, 2000. – 17 с.

Martikhaeva D.Kh. Investigation of carbon matter in metamorphic and hydrothermal rocks (Siberian platform and areas adjacent to Baikal). Avtoref. diss. ... kand. geol.-mineral. nauk. Irkutsk: Publ. of SO RAN; 2000. 17 p.

12. *Меленевский В.Н., Борисова Л.С., Тимошина И.Д.* Пиролитическая характеристика твердых битумов ряда кериты – антраксолиты // Геология нефти и газа. – 2008. – № 4. – С. 40–45.

Melenevskiy V.N., Borisova L.S., Timoshina I.D. Pyrolysis characteristics of solid bitumen of the kerite-anthraxolite series. *Geologiya nefti i gaza*. 2008;(4):40–45.

13. *Петров А.А.* Углеводороды нефти. – М.: Наука, 1984. – 264 с.

Petrov A.A. Oil hydrocarbons. Moscow: Nauka; 1984. 264 p.

14. *Полякова И.Д., Колганова М.М., Меленевский В.Н., Перозо Г.Н., Соболева Е.И., Рояк Р.С.* Опыт прогнозирования зональности нефтегазоаккумуляции в угленосных отложениях на больших глубинах // Геология и геофизика. – 1989. – Т. 30. – № 4. – С. 47–56.

Polyakova I.D., Kolganova M.M., Melenevskiy V.N., Perozio G.N., Soboleva E.I., Royak R.S. Experience in prediction of zonal character of oil and gas accumulation in coal-bearing sediments at great depths. *Geologiya i geofizika*. 1989;30(4):47–56.

15. *Полякова И.Д., Борукаев Г.Ч., Колганова М.М., Соболева Е.И., Фомичев А.С.* Нефтеобразование на больших глубинах Колтогорско-Уренгойского грабен-рифта // Геохимия. – 1994. – № 1. – С. 111–121.

Polyakova I.D., Borukaev G.Ch., Kolganova M.M., Soboleva E.I., Fomichev A.S. Oil formation in the Koltogorsk-Urengoy graben-rift at great depths. *Geokhimiya*. 1994;(1):111–121.

16. *Полякова И.Д., Борукаев Г.Ч., Сидоренко С.А.* Перспективы нефтегазоносности шельфовых бассейнов Чукотского моря (российский сектор) // Геология нефти и газа. – 2016. – № 1. – С. 16–28.

Polyakova I.D., Borukaev G.Ch., Sidorenko S.A. Oil and gas potential of sea shelf basins in the Chukchi Sea (Russian sector). *Geologiya nefti i gaza*. 2016;(1):16–28.

17. *Сидоренко С.А.* Органическое вещество и биолитогенные процессы в докембрии. – М.: Наука, 1991. – 104 с.

Sidorenko S.A. Organic matter and bio-lithogenesis processes in the Precambrian. Moscow: Nauka; 1991. 104 p.

18. *Lafargue E., Espitalie J., Marquis F., Pullo D.* Rock-eval 6 applications in hydrocarbon exploration, production, and soil contamination studies. *Revue de l'Institut Francais du Petrole*. 1997;53(4):421–437.

19. *Moldowan J.M., Seifert W.K., Gallegos E.J.* Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks. *AAPG Bull.* 1985;69(8):1255–1268.

20. *Price L.C.* The organic geochemistry (and causes thereof) of high-rank rocks from the Ralph Lowe-1 and other well bores. US Geol. Surv., Open-file Rept. 88–651. 1988. 49 p.

EAGE

EUROPEAN
ASSOCIATION OF
GEOCHEMISTS &
SURFACISTS

РЕКЛАМА



Регистрируйтесь по льготным ценам!

 **Геомодель-2017**

19-я научно-практическая конференция по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа

11-14 сентября 2017 г., Геленджик, Россия

Важные даты

20 мая 2017 г.	Окончание приёма тезисов докладов
20 июня 2017 г.	Окончание льготной регистрации
20 июля 2017 г.	Оповещение авторов о включении в программу конференции
1 августа 2017 г.	Окончание приёма заявок на коммерческие презентации
20 августа 2017 г.	Окончание предварительной регистрации

www.eage.ru | www.eage.org