

ОРГАНИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ И НЕФТЕГАЗОГЕНЕРАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЮРСКИХ И МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЕНИСЕЙ-ХАТАНГСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОГИБА

Н.С. Ким, А.П. Родченко*

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия*

** Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия*

Приведены результаты геохимических исследований органического вещества юрско-меловых отложений западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба, впервые выполненные на представительной коллекции кернового материала скважин комплексом современных методов органической геохимии (определение содержания органического углерода в породах, пиролиз, определение изотопного состава углерода нерастворимого органического вещества пород, экстракция, жидкостная хроматография, газожидкостная хроматография и хромато-масс-спектрометрия).

Распределение биомаркеров в изученных битумоидах и пиролиз пород позволили выделить две группы образцов — с террагенным (тип III) и аквагенным типами (тип II) органического вещества. Для первой группы характерны низкие значения водородного индекса HI и преобладание среди стеранов углеводородов состава C₂₉, среди трицикланов низкомолекулярных гомологов C₁₉, C₂₀. В аквагенных битумоидах, выявленных в стратиграфических аналогах баженовской свиты, а также в малышевской и нижнехетской, шуратовской свитах, обнаружено равномерное распределение гомологов стеранов и преобладание среднемолекулярных трицикланов. Значения отношений Pr/Ph, гомогпанов C₃₅/C₃₄ и присутствие диагопанов свидетельствуют о захоронении ОБ в субокислительных прибрежно-морских обстановках.

Установлено, что в яновстанской (J₃-K₁) и гольчихинской (J₂-K₁), в меньшей степени в малышевской (J₂) и нижнехетской, шуратовской (K₁) свитах достаточно широко распространены уровни, где органическое вещество пород является аквагенным (тип II), а концентрации органического углерода и уровень зрелости ОБ в этих породах позволяют рассматривать их в качестве нефтепроизводящих.

Органическое вещество, юрские и меловые отложения, углеводороды-биомаркеры, нефтегазонасность, Западно-Сибирский бассейн, Енисей-Хатангский региональный прогиб.

ORGANIC GEOCHEMISTRY AND PETROLEUM POTENTIAL OF JURASSIC AND CRETACEOUS DEPOSITS OF THE YENISEI-KHATANGA REGIONAL TROUGH

N.S. Kim and A.P. Rodchenko

We present results of geochemical studies of organic matter of the Jurassic-Cretaceous deposits in the west of the Yenisei-Khatanga regional trough. The studies were carried out on a representative set of well cores by a complex of modern organic-geochemistry methods (determination of organic-carbon content in rocks, pyrolysis, estimation of the carbon isotope composition in the kerogen of rocks, extraction, liquid and gas-liquid chromatography, and chromat-mass spectrometry).

Based on the distribution of biomarkers in the studied bitumens and pyrolysis of rocks, two groups of the samples were recognized: with terrigenous (type III) and marine (type II) organic matter. The terrigenous bitumens are characterized by a low hydrogen index (HI) and a predominance of hydrocarbons C₂₉ among steranes and C₁₉ and C₂₀ among tricyclanes. The marine bitumens, revealed in stratigraphic analogs of the Bazhenovo Formation and in the Malyshevka, Nizhnyaya Kheta, and Shuratovka Formations, show an even distribution of sterane homologues and a predominance of medium-molecular tricyclanes. The Pr/Ph and C₃₅/C₃₄ ratios and the presence of diahopanes testify to the burial of organic matter in suboxidizing sea coast environments.

In the Yanov Stan (J₃-K₁), Gol'chikha (J₂-K₁), and, to a lesser extent, Malyshevka (J₂), Nizhnyaya Kheta, and Shuratovka (K₁) Formations, we have recognized widespread stratigraphic levels with marine organic matter of rocks. Its contents and degree of maturity permit these rocks to be considered oil-generating.

Organic matter, Jurassic and Cretaceous deposits, biomarkers, petroleum potential, West Siberian Basin, Yenisei-Khatanga regional trough

ВВЕДЕНИЕ

Геохимические исследования являются неотъемлемой частью комплекса методов, применяемых при нефтегазопроисследовательских работах. Конечная цель геохимических исследований состоит в выделении в

разрезе изучаемой территории осадочных толщ, в которых были благоприятные условия для нефтегазообразования, и оценке перспектив нефтегазоносности региона.

Количество, состав органического вещества (ОВ), обстановка его диагенетического преобразования и катагенез определяют способность осадочных толщ генерировать углеводороды. Считается, что наиболее вероятными источниками нефти являются морские отложения с кларковым или повышенным содержанием органического углерода в породах с преимущественно аквагенным (сапропелевым) типом ОВ, образовавшиеся в восстановительных или слабовосстановительных обстановках в диагенезе, находящиеся на стадии катагенеза, отвечающей главной зоне нефтеобразования [Вассоевич, 1958, 1967; Трофимук, Конторович, 1965; Конторович и др., 1967; Неручев, 1969; Вассоевич и др., 1976, 1981; Конторович, 1976]. Однако достаточным условием для диагностики нефтепроизводивших отложений могут служить только изменения исходного ОВ, проявляющиеся в результате эмиграции углеводородов из материнских пород, а также сходство состава рассеянного ОВ и нефтей в залежах [Трофимук, Конторович, 1965; Неручев, 1969; Вассоевич и др., 1981; Тиссо, Вельте, 1981].

Первые геохимические исследования органического вещества мезозойских отложений Енисей-Хатангского регионального прогиба (ЕХРП) были проведены в 60—70-х годах прошлого века. Основные закономерности распространения ОВ и особенности его состава подробно рассмотрены в работах [Конторович и др., 1971, 1974; Сороков, 1971; Войцеховская, 1974; Данюшевская, 1975; Геология..., 1975; Полякова и др., 1982; Богородская, Соболева, 1983; Колганова, Полякова, 1984; Фомин, Ромахина, 1989]. По данным этих ученых, в юрско-меловом разрезе ЕХРП, в отличие от центральных и южных районов Западно-Сибирского бассейна, нет толщ, отличающихся повышенным содержанием ОВ. Разрез юрско-меловых отложений западной части ЕХРП практически не дифференцирован по содержанию органического углерода ($C_{орг}$). Большинство исследователей отмечают, что ОВ юрско-меловых отложений имеет смешанный состав — наряду с аквагенным (бактерио- и планктоногенным) ОВ, образующимся непосредственно в осадочном бассейне, с суши поступали массы террагенного ОВ, источником которого являлась высшая наземная растительность.

Исследованием катагенеза ОВ в мезозойских отложениях ЕХРП в разные годы занимались А.П. Афанасенков, Л.Н. Болдушевская, И.С. Дроздова, А.Э. Конторович, И.Д. Полякова, Ю.А. Филипцов, А.Н. Фомин и другие [Конторович и др., 1971, 1974; Афанасенков, 1974; Богородская, Соболева, 1983; Фомин, Ромахина, 1989; Филипцов и др., 1998, 1999; Болдушевская, 2001; Болдушевская и др., 2002; Фомин, 2011]. Были построены шкалы катагенеза ОВ; выявлены различия в современной глубинной зональности катагенеза ОВ, которые объясняются дифференцированными неотектоническими движениями.

Изначально перспективность ЕХРП связывали с поиском газовых и газоконденсатных залежей. Однако в конце 80-х годов прошлого столетия была открыта уникальная по запасам Ванкорская группа месторождений с нефтяными и газонефтяными залежами. Возникла необходимость в уточнении прогноза нефтегазоносности мезозойских отложений этой территории. В последние годы появился ряд публикаций, посвященных геохимическим исследованиям ОВ юрско-меловых отложений ЕХРП [Ларичев и др., 2003; Филипцов и др., 2006; Гончаров и др., 2009, 2010а,б]. Однако до сих пор нет однозначного ответа на вопрос, какие толщи мезозойского разреза Енисей-Хатангского регионального прогиба являются нефтепроизводящими, нижнесреднеюрские отложения изучены крайне слабо. Большинство ученых высказывают мнение, что источниками «морских» нефтей Ванкорской группы месторождений могут являться стратиграфические аналоги верхнеюрской баженовской свиты — яновстанская и гольчихинская свиты. Дискуссионным остается вопрос, могло ли рассеянное органическое вещество нижнемеловых отложений этой территории участвовать в образовании нефтяных залежей?

Целью настоящей работы являлось выяснение закономерностей распределения органического углерода, битумоидов, а также углеводородов-биомаркеров, наследующих углеродный скелет и в значительной степени стереохимию от липидов живого вещества в рассеянном ОВ, в породах по разрезу и на площади распространения отдельных свит. Исследования проводились на представительной выборке геохимических данных по керновому материалу скважин, пробуренных в этом регионе в конце прошлого столетия. Углубленное изучение состава рассеянного органического вещества использовалось для определения типа исходного органического вещества, условий его преобразования в диагенезе и катагенезе. На основе выявленных закономерностей были оценены значения геохимических критериев для западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба и показано, что в осадочном бассейне существовали условия, благоприятные для генерации и миграции углеводородов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для исследования послужила коллекция (751 образец) аргиллитов и алевролитов юрско-раннемелового возраста из скважин западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба (рис. 1). Изученная коллекция образцов керна материала в разные годы была отобрана сотруди-

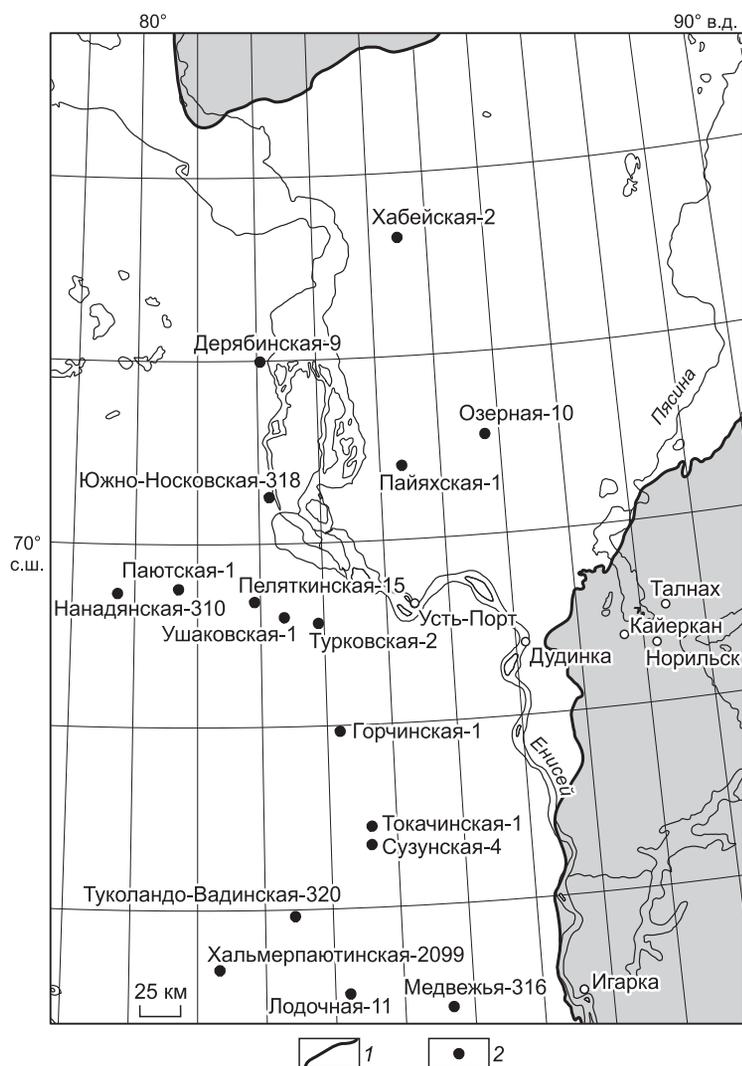


Рис. 1. Схема отбора образцов.

1 — граница распространения мезозойских отложений; 2 — скважины, в которых отобраны образцы кернового материала.

ми лаборатории геохимии нефти и газа ИНГГ СО РАН (г. Новосибирск), большей частью лично автором в 2006—2009 гг.

Аналитическое изучение рассеянного органического вещества пород проведено по схеме, разработанной в ИНГГ СО РАН, которая включает определение концентраций органического углерода в породе ($C_{\text{орг}}$), пиролитических характеристик ОВ пород, изотопного состава углерода нерастворимого органического вещества пород ($\delta^{13}\text{C}$); выхода хлороформных экстрактов ОВ пород (битумоидов) и их группового состава. Особое внимание было уделено изучению насыщенной фракции битумоидов на молекулярном уровне методами газожидкостной хроматографии и хромато-масс-спектрометрии.

Общий объем анализов, выполненных по отдельным видам геохимических исследований, приведен в табл. 1.

Содержание $C_{\text{орг}}$ (% на породу) определено с помощью экспресс-анализатора АН-7529 методом сжигания в токе кислорода при температуре

1000—1100 °С проб, обработанных 10-процентной соляной кислотой. Пиролитические характеристики (S_1 , S_2 , T_{max} , остаточный нефтегенерационный потенциал — НИ) определялись экспрессным методом в варианте «Рок-Эвал» на приборе Source Rock Analyzer (SR Analyzer, Humble Instruments). Экстракция битумоидов из раздробленных до 0.25 мм пород хлороформом при комнатной температуре с применением центрифуги была выполнена для 374 проб. Извлеченные из образцов породы хлороформные битумоиды очищали от элементарной серы ртутью и разделяли на насыщенные и ароматические углеводороды, бензолные и спиртобензолные смолы, асфальтены.

Насыщенная фракция битумоидов исследовалась на хромато-масс-спектрометрической системе, включающей газовый хроматограф 6890 с высокоэффективным масс-селективным детектором Agilent 5973N и компьютерной системой (ChemStation) регистрации и обработки информации HP-1034. Хроматограф снабжен кварцевой капиллярной колонкой длиной 30 м, диаметром 0.25 мм, импрегнированной фазой HP-5MS. Скорость потока газа-носителя (гелий) 1 мл/мин. Температура испарителя 320 °С; программирование подъема температуры от 100 до 300 °С со скоростью 4 °С/мин с последующей изотермой в течение 30 мин. Ионизирующее напряжение источника составляло 70 эВ, температура источника 220 °С. Идентификация УВ осуществлялась путем сравнения с уже известными соединениями из библиотеки Национального института стандартов NIST-05, а также с опубликованными данными.

Определение стабильных изотопов углерода нерастворимого органического вещества пород проводилось в Томском филиале ФГУП «СНИИГГиМС» в лаборатории изотопных методов на масс-спектрометре DELTA V ADVANTA.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Распределение органического вещества. В среднем по 397 изученным аргиллитам и алевролитам юрского возраста современные концентрации органического углерода составляют 1.76 % на поро-

Таблица 1. Сведения о количестве анализов рассеянного органического вещества осадочных пород

Свита	Возраст	Вид анализа						Скважины, для пород которых выполнены анализы
		Изотопный состав углерода	S _{орг}	Пироллиз	B _{хл}	Групповой и углеводородный состав	Газожидкостная хроматография	
Шараповская	J ₁	1	2	2	1	1	1	Сузунская-4
Клирбюгетская	»	0	1	1	1	1	1	»
Надюжская	»	1	2	2	2	2	2	Медвежья-316, Сузунская-4
Лайдинская	J ₂	2	2	2	2	2	2	»
Вымская	»	10	28	28	22	22	22	Горчинская-1, Медвежья-316, Пелятгинская-15, Сузунская-4, Ушаковская-1
Леонтьевская	»	7	21	21	17	17	17	Горчинская-1, Дерябинская-9, Паюгская-1, Пелятгинская-15, Сузунская-4
Мальцевская	»	21	73	60	42	42	42	Дерябинская-9, Медвежья-316, Нанадянская-310, Пайяхская-1, Паюгская-1, Пелятгинская-15, Сузунская-4, Туколандо-Вадинская-320, Турковская-2, Ушаковская-1, Хальмергаотинская-2099, Южно-Носковская-318
Точинская	J ₂₋₃	5	22	22	22	22	22	Горчинская-1, Медвежья-316
Сиговская	J ₃	5	21	16	7	7	7	Медвежья-316, Озерная-10, Туколандо-Вадинская-320
Яновстанская	J ₃ -K ₁	33	160	116	55	55	55	Горчинская-1, Медвежья-316, Сузунская-4, Озерная-10, Туколандо-Вадинская-320
Гольчихинская	J ₂ -K ₁	23	65	65	43	43	43	Дерябинская-9, Нанадянская-310, Пайяхская-1, Паюгская-1, Пелятгинская-15, Ушаковская-1, Хабынская-2, Южно-Носковская-318
Всего по юре		108	397	335	214	214	214	—
Нижнехетская	K ₁	32	157	124	65	65	65	Горчинская-1, Озерная-10, Пелятгинская-15, Токачинская-1,2,30, Туколандо-Вадинская-320, Турковская-2
Шураговская	»	9	62	62	42	42	42	Дерябинская-9, Нанадянская-310, Пайяхская-1, Южно-Носковская-318
Юрацкая	»	3	6	6	6	6	6	Медвежья-316
Суходулинская	»	11	60	60	28	28	28	Горчинская-1, Озерная-10, Токачинская-1,30, Туколандо-Вадинская-320, Турковская-2
Байкаловская	»	3	16	16	12	12	12	Дерябинская-9, Нанадянская-310, Южно-Носковская-318
Малохетская	»	5	14	13	5	5	5	Лолочная-11, Медвежья-316, Озерная-10, Туколандо-Вадинская-320, Южно-Носковская-318
Покурская	K ₁₋₂	2	38	34	2	2	2	Туколандо-Вадинская-320
Долганская	»	0	1	1	0	0	0	Медвежья-316
Всего по мелу		65	354	316	160	160	160	—
ВСЕГО		173	751	651	374	374	374	—

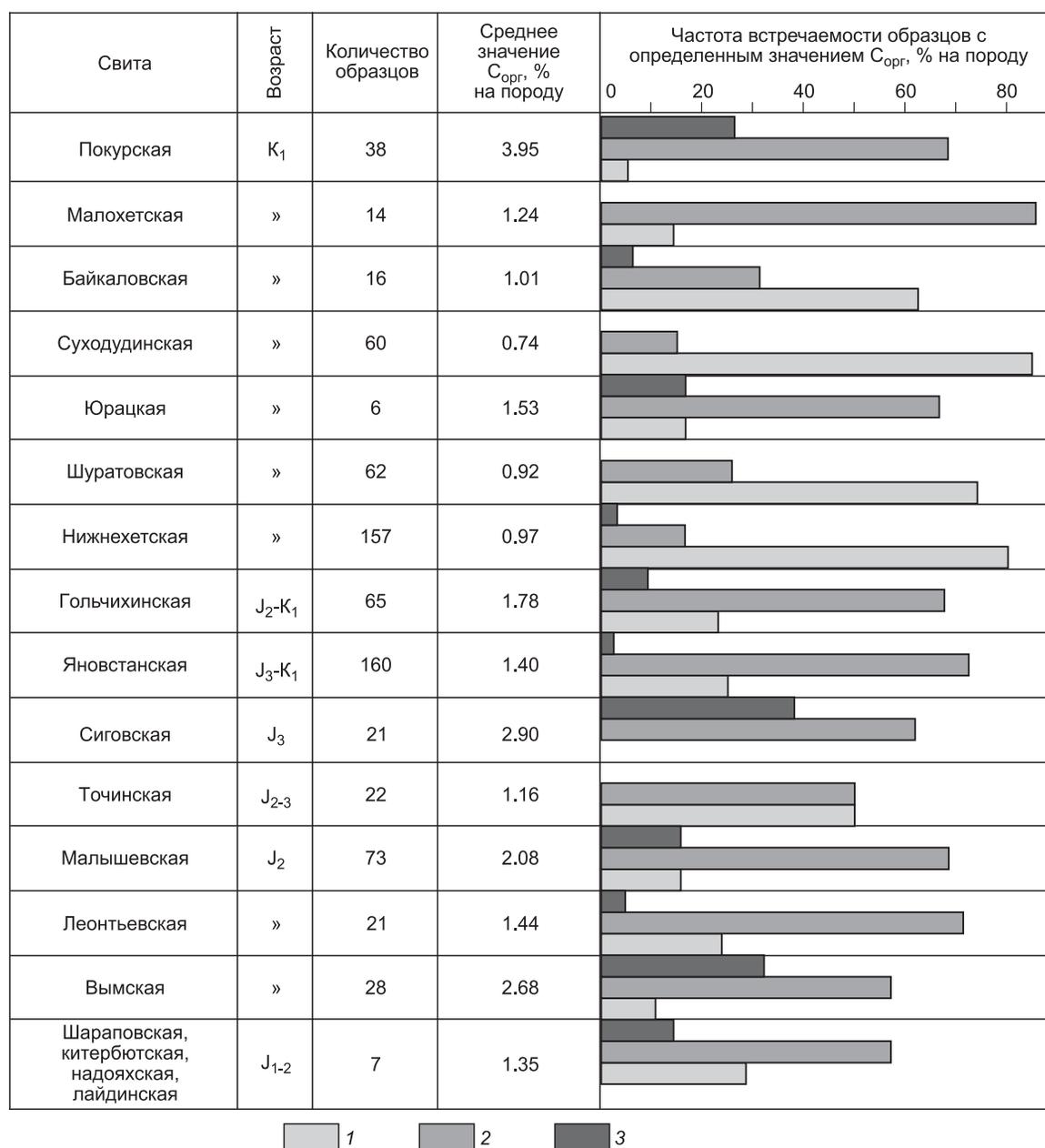


Рис. 2. Содержание органического углерода в изученных свитах (средние значения и гистограмма).

Значения $C_{орг}$: 1 — < 1 %; 2 — 1—3 %; 3 — > 3 %.

ду. Среднее содержание $C_{орг}$ в меловых отложениях несколько ниже, чем в юрских, — по 354 пробам оно равно 1.27 % на породу. Оценки, полученные в настоящем исследовании по значительной по количеству образцов выборке, выше средних содержаний, приводимых исследователями ранее [Сороков, 1971; Конторович и др., 1971; Геология..., 1975; Нефтегазоносные бассейны..., 1994]. Так, по данным Д.С. Сорокова [1971], средние концентрации органического углерода в глинисто-алевритовых породах юрского возраста составляют 1.31 %, в меловых отложениях средние значения $C_{орг}$ ниже — 1.0 %. А.Э. Конторович с соавторами приводят для нижнемеловых пород среднее значение $C_{орг} = 0.5$ % на породу [Нефтегазоносные бассейны..., 1994].

На рис. 2 показана гистограмма распределения концентраций органического углерода по изученным свитам. Среди исследованной выборки 67 % образцов раннемелового возраста имеют значения $C_{орг}$ меньше кларковых (кларк содержания органического углерода для аргиллитов составляет 0.9 % на по-

роду, согласно Н.Б. Вассоевичу). Пониженными против кларковых значений $C_{\text{орг}}$ характеризуются нижнехетская, шуратовская, суходудинская и байкаловская свиты. Однако в ряде скважин в нижней части нижнехетской свиты выделяются слои мощностью 10—20 м (в скв. Туколандо-Вадинская-320 до 60 м), в которых $C_{\text{орг}}$ содержится в повышенных концентрациях — 1.02—3.68 % на породу в среднем по скважине. Максимально обогащены органическим углеродом (средние значения $C_{\text{орг}} > 2.1$ % на породу) вымская, малышевская, сиговская и покурская свиты. В вымской, сиговской и покурской свитах количество высокоуглеродистых пород ($C_{\text{орг}} > 3$ % на породу) значительно и превышает 25—30 % (см. рис. 2). Повышение концентраций $C_{\text{орг}}$, как правило, имеет место в отложениях, содержащих прослои углефицированного растительного детрита. В слабохарактеризованных керном нижнеюрских отложениях содержание органического углерода составляет 1—2 %. Для стратиграфических аналогов баженновской свиты — яновстанской и гольчихинской свит значения $C_{\text{орг}}$ в среднем равны 1.40 и 1.78 % на породу. Закономерности распределения концентраций остаточного органического углерода по площади выражены слабо. Незначительное увеличение концентраций $C_{\text{орг}}$ наблюдается в верхнеюрских и нижнемеловых отложениях из скважин, локализованных в тектоническом отношении в Большехетской мегасинеклизе и Центрально-Таймырском желобе.

Среднее содержание хлороформенных битумоидов в юрских породах выше, чем в меловых, и составляет по 214 изученным пробам 0.12 % на породу. Концентрация битуминозных компонентов в меловых породах в среднем по 160 образцам равна 0.04 % на породу. Между изменением содержания органического углерода и выходами битумоидов $B_{\text{хл}}$ существует положительная коррелятивная связь с коэффициентом корреляции 0.73. В частности, в разрезе повышенные количества битумоидов содержат наиболее обогащенные органическим углеродом юрские вымская, малышевская, сиговская и нижнемеловая покурская свиты (концентрации $B_{\text{хл}}$ лежат в пределах 0.16—0.17 % на породу).

Необходимо отметить, что после построения диаграмм Успенского—Вассоевича (зависимости значений битумоидного коэффициента β от концентрации $C_{\text{орг}}$ в породе) для юрских и меловых отложений, изучения закономерностей изменения пиролитического параметра PI (индекс продуктивности, $PI = S_1/(S_1 + S_2)$) по разрезу каждой скважины и анализа группового состава битумоидов были выделены остаточные, автохтонные и аллохтонные битумоиды. Наличие в мезозойском разрезе западной части ЕХРП всех типов битумоидов свидетельствует о происходивших в толще пород процессах первичной и вторичной миграции углеводородов.

Тип органического вещества, отложенного и сохраненного в осадках, определяется липидными комплексами исходного живого вещества, которое принадлежит к различным видам (водоросли, бактерии, фито- и зоопланктон, высшие растения). Несмотря на то, что липидные и липоидные компоненты живых организмов сложены одними и теми же молекулами, различные сочетания биомолекул позволяют диагностировать участие в исходном ОВ высшей наземной растительности или планктона и бактерий.

Классические методы определения типа ОВ связаны с изучением нерастворимого органического вещества (керогена) пород. Еще в 1958 г. В.А. Успенский с соавторами [1958] была предложена первая генетическая классификация рассеянного ОВ на основании данных о химическом составе керогена. В дальнейшем Г.М. Парпаровой была разработана петрографическая классификация рассеянного ОВ на основе исследования микрокомпонентного состава остаточного ОВ [Парпарова, 1963; Парпарова, Неручев, 1977]. В настоящее время широко распространен экспрессный пиролитический метод изучения химической структуры керогена ОВ пород. А.Э. Конторовичем с соавторами было установлено, что керогены аквагенного генезиса обогащены изотопом ^{12}C по сравнению с керогенами террагенного типа [Конторович и др., 1985а,б, 1986]. В 60-х годах прошлого века появились первые исследования, показывающие, что индивидуальный состав автохтонных (сингенетичных) битумоидов рассеянного ОВ пород наряду с исследованиями керогенов также может использоваться для определения генезиса ОВ и обстановок осадконакопления. Так, на основе изучения распределения никеля, ванадия и их порфириновых комплексов в породах и нефтях Западной Сибири А.Э. Конторович пришел к выводу, что ванадий, V-порфирины и сера накапливаются в анаэробных обстановках устойчиво погружающихся морских бассейнов [Колганова, Конторович, 1966; Конторович и др., 1967]. В последние десятилетия в связи с внедрением и широким развитием методов хромато-масс-спектрометрии одним из основополагающих направлений органической геохимии, дающих информацию о типе ОВ, является изучение углеводородов-биомаркеров битумоидов [Конторович и др., 1974; Тиссо, Вельте, 1981; Петров, 1984; Peters et al., 2005].

Таким образом, с помощью комплекса методов органической геохимии можно определить генетический тип исходного живого вещества. Например, морское ОВ планктонно-бактериогенной природы (аквагенный тип по классификации А.Э. Конторовича или II тип по публикациям европейских и американских геохимиков) характеризуется преобладанием низкомолекулярных нормальных алканов C_{15} — C_{19} , максимумом распределения трициклических углеводородов на C_{23} — C_{24} , присутствием стеранов состава C_{27} и C_{29} в приблизительно равных количествах, высокими значениями водородного индекса HI,

а также обогащенностью керогена пород легким изотопом ^{12}C [Конторович и др., 1974, 1985а,б, 1986, 1999; Тиссо, Вельте, 1981; Петров, 1984; Peters et al., 2005].

Выделение генотипов ОВ в настоящей работе основывалось на совокупности геохимических параметров: пиролитические характеристики для органического вещества, умеренно преобразованного катагенезом; изотопный состав углерода нерастворимого органического вещества; распределение углеводородов-биомаркеров.

Данные пиролиза. Выявленные зависимости значений водородного индекса HI от температуры максимального выхода углеводородов T_{\max} (рис. 3, а) показывают, что юрские отложения большей частью находятся в главной зоне нефтеобразования и представлены как террагенным, так и аквагенным морским типом ОВ. Породы с повышенными значениями водородного индекса (II и II/III типы ОВ — аквагенный морской и смешанный) встречаются в яновстанской и гольчихинской свитах в 49 и 43 % от общего числа проанализированных методом пиролиза проб соответственно. Это образцы из скважин Горчинская-1, Сузунская-4, Озерная-10, Туколандо-Вадинская-320, Дерябинская-9, Нанадянская-310, Паютская-1, Пеляткинская-15, Турковская-1, Ушаковская-1, Хабейская-2.

Значения температуры максимального выхода углеводородов в основной части меловых образцов варьируют в пределах 433—446 °С, что свидетельствует о нахождении нижнемеловых отложений ЕХРП в начале главной зоны нефтеобразования (см. рис. 3, б). Значения водородного индекса HI для большей части изученных пород невысоки — до 100 мг УВ/г $C_{\text{орг}}$, т.е. ОВ пород имеет террагенный генезис и связано с липидами высшей наземной растительности. Повышенные значения водородного индекса (до 340 мг УВ/г $C_{\text{орг}}$), характерные для отложений, содержащих значительную примесь планктонно-бактериогенного ОВ, выявлены в образцах с Горчинской, Туколандо-Вадинской, Токачинской, Пайяхской, Турковской и Пеляткинской площадей.

Изотопный состав углерода нерастворимого органического вещества изучен в 173 образцах. Изотопно легкие керогены ($\delta^{13}\text{C} < -29.0 \text{‰}$) встречены в малышевской, яновстанской и нижнехетской свитах, что указывает на аквагенную природу липидов исходного ОВ [Конторович и др., 1985а,б, 1986].

По составу *углеводородов-биомаркеров* среди автохтонных и остаточных битумоидов обособляются три группы, причем наиболее четко разделение на группы отмечается по распределению стерановых углеводородов (рис. 4).

В первой группе, наиболее многочисленной, представленной битумоидами из всех изученных юрских и меловых свит, состав биомаркеров указывает на их связь с липидами органического вещества высшей наземной растительности (террагенный или III тип). Для изученных битумоидов из группы с террагенным генезисом ОВ характерно резкое преобладание этилхолестанов (C_{29}) в ряду стеранов C_{27} — C_{30} , среди трицикланов доминируют углеводороды состава C_{19} — C_{20} (рис. 5, а). Концентрация стеранов C_{29} составляет 43—85 % на сумму стеранов C_{27} — C_{29} . Значения отношения C_{29} -стерана к C_{27} варьируют от 1.74 до 14.50, в среднем по 250 образцам — 4.04 (табл. 2). В подавляющем количестве образцов преобладают низкомолекулярные трициклические углеводороды C_{19} — C_{20} и значения трицикланового индекса, предложенного А.Э. Конторовичем с соавторами [1999], много больше единицы (в среднем 5.26), лишь в нескольких битумоидах (9 образцов или 3.6 % изученной выборки) этот показатель меньше единицы.

Во второй группе, содержащей 34 образца юрского возраста (малышевская, яновстанская, гольчихинская свиты и одна проба из сиговской свиты, скв. Туколандо-Вадинская-320) и 14 меловых образцов (нижнехетская, шуратовская, суходудинская свиты), распределение углеводородов-биомаркеров указывает на генетическую связь с липидами планктонно-бактериогенного (аквагенного) органического вещества. В малышевской свите аквагенные различия были выявлены на Пайяхской, Южно-Носковской площадях; в яновстанской свите — на Горчинской, Озерной и Туколандо-Вадинской площадях, в гольчихинской свите — на Пеляткинской, Южно-Носковской, Пайяхской и Ушаковской площадях (см. табл. 2). Нижнемеловые битумоиды с преобладанием планктонно-бактериогенного исходного ОВ обнаружены на Горчинской, Туколандо-Вадинской, Пеляткинской, Турковской и Пайяхской площадях.

В аквагенных битумоидах содержание стеранов C_{27} , C_{28} , C_{29} приблизительно равное, с незначительным преобладанием холестанов C_{27} (рис. 6, б). Значение отношения стеранов C_{29} к C_{27} составляет в среднем 1.02, при разбросе значений 0.72—1.26 (см. табл. 2). Для большей части образцов (61.7 % от общего числа битумоидов с аквагенным ОВ) этой группы отмечаются относительно высокие концентрации трицикланов с преобладанием углеводородов состава C_{23} — C_{26} , тогда как в остальных битумоидах доминируют низкомолекулярные гомологи C_{19} — C_{20} , что может объясняться некоторым привнесением ОВ, связанного с высшей наземной растительностью, который отразился только на составе терпановых углеводородов.

Битумоиды третьей группы (леонтьевская, вымская, малышевская, яновстанская, гольчихинская, нижнехетская, шуратовская свиты, 51 образец) по распределению углеводородов-биомаркеров занимают промежуточное положение, т.е. они обладают смешанным характером исходного органического вещества (см. табл. 2). Так, в битумоидах малышевской свиты из скв. Хальмерпаютинская-2099 значения трицик-

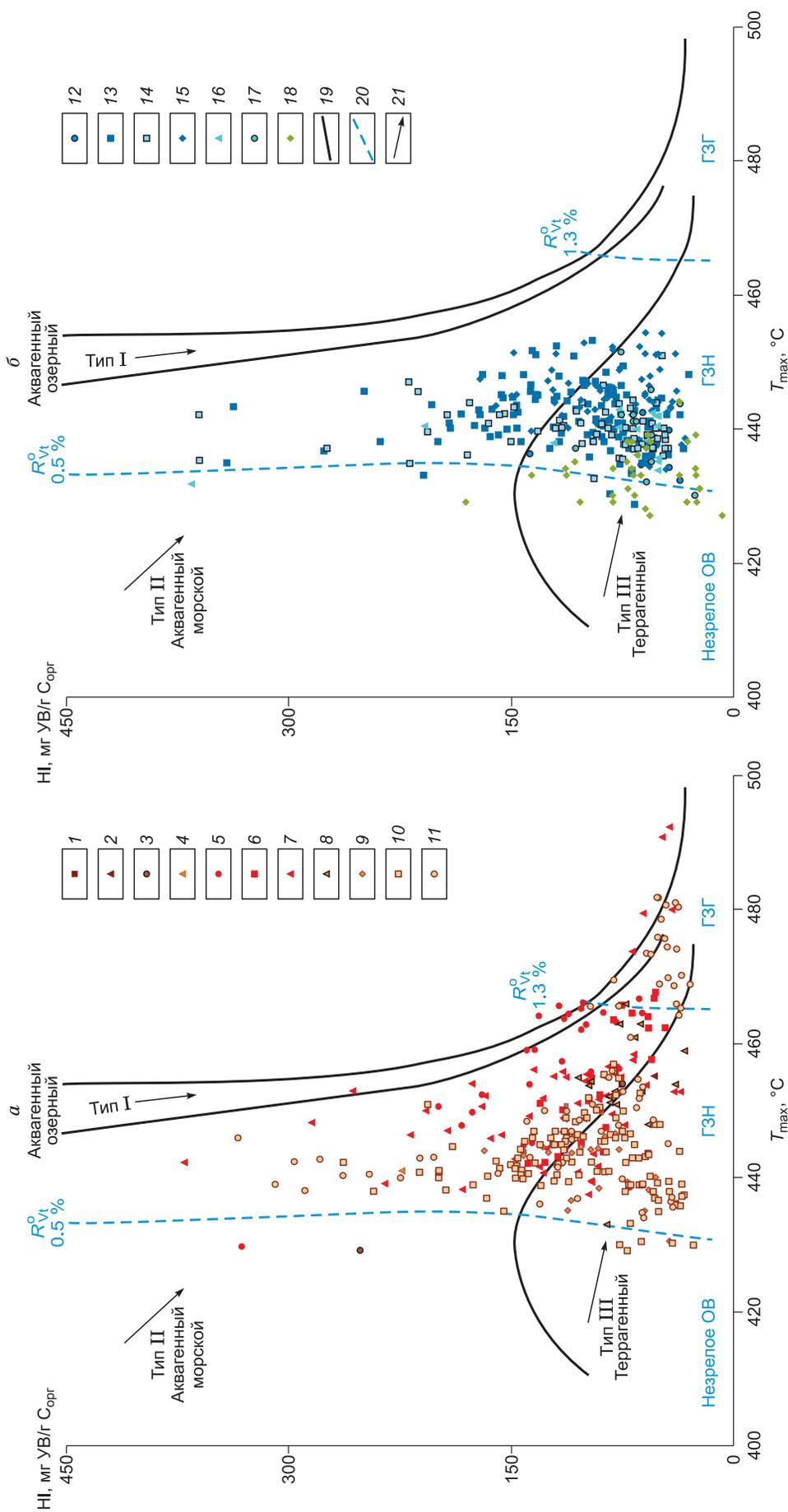


Рис. 3. Диаграмма зависимости водородного индекса HI от температуры выделения углеводородов T_{\max} для юрских и меловых отложений ЕХРП.

Свиты: а — юрские: 1 — шароповская, 2 — китерботская, 3 — надоянская, 4 — лайдинская, 5 — вымская, 6 — леонтьевская, 7 — мальшевская, 8 — ситовская, 9 — точинская, 10 — январьстанская, 11 — голыхинская; б — нижнемеловые: 12 — юрацкая, 13 — нижнехетская, 14 — сухолудинская, 15 — шуратовская, 16 — байкаловская, 17 — малохетская, 18 — покурская; 19 — линии, ограничивающие максимальные значения водородного индекса (HI) для трех типов органического вещества: I — аквагенного, озерного типа; II — аквагенного, морского; III — террагенного, связанного с высшей наземной растительностью; 20 — изолинии отражательной способности витринита (R_{vt}^0); 21 — направленность изменения величин HI и T_{\max} в катагенезе. ГЗН и ГЗГ — главная зона нефте- и газообразования соответственно.

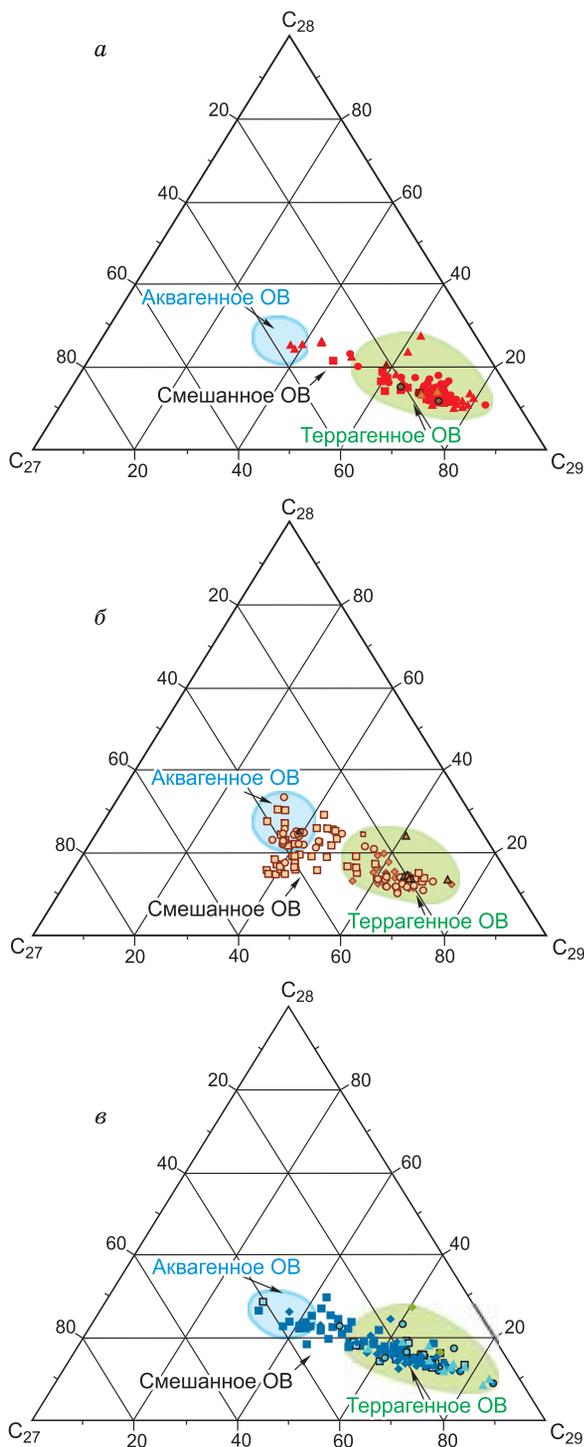


Рис. 4. Тригонограммы распределения стеранов C_{27} , C_{28} , C_{29} в автохтонных битумоидах.

Свиты: *а* — нижнесреднеюрские, *б* — верхнеюрские, *в* — нижнемеловые. Усл. обозн. см. на рис. 3.

ланового индекса меньше единицы (0.15—0.36), но в распределении стерановых гомологов C_{27} , C_{28} , C_{29} обнаружено преобладание этилхолестанов — $C_{29}/C_{27} = 1.39—1.40$. Среднеюрские битумоиды леонтьевской и вымской свит с ОВ смешанного генезиса отобраны в скв. Горчинская-1 (см. табл. 2). Верхнеюрские битумоиды этой группы выявлены на Горчинской, Медвежьей, Озерной, Туколандо-Вадинской, Сузунской и Пайяхской площадях. Нижнемеловые битумоиды со смешанным типом ОВ (23 образца) относятся к пробам с Горчинской, Озерной, Туколандо-Вадинской, Турковской, Токачинской, Пайяхской и Пелятинских площадей.

Распределение нормальных алканов в изученных битумоидах отличается многообразием (см. рис. 6). Закономерности изменения индивидуального состава *n*-алканов в зависимости от типа ОВ недостаточно четкие. Можно отметить лишь несколько особенностей распределения. В составе нормальных алканов битумоидов аквагенного генезиса в максимальных концентрациях обычно присутствуют углеводороды C_{16-19} (см. рис. 6, *з*). Среднее значение отношения концентраций высокомолекулярного *n*-алкана состава C_{27} к низкомолекулярному C_{17} в группе битумоидов с аквагенным ОВ минимально — 0.46 (см. табл. 2). Для битумоидов террагенного генезиса, как правило, типичны пилообразность (преобладание нечетных *n*-алканов над четными) и двумодальность — первый максимум распределения приходится на C_{17-18} , второй — на C_{23} , C_{25} , C_{27} , C_{29} (см. рис. 6, *а*). В некоторых образцах эта двумодальность сглаживается и кривая распределения *n*-алканов имеет широковертшинный максимум в области $C_{17}—C_{29}$ (см. рис. 6, *б*). Кривые распределения *n*-алканов для образцов с террагенным ОВ битумоидов, отобранных ниже глубин 3300 м, теряют ярко выраженный пилообразный вид и в ряде случаев имеют максимум на *n*- $C_{17}—n$ - C_{19} . Обычно в органическом веществе, исходным материалом для которого была высшая наземная растительность, преобладают *n*-алканы $C_{21}—C_{23}$ (см. рис. 6, *в*) [Конторович и др., 1974; Геология..., 1975; Тиссо, Вельте, 1981; Петров, 1984; Peters et al.,

2005]. В исследуемой выборке битумоидов эта классическая закономерность не реализуется, за исключением единичных образцов. Отсутствие явной закономерности распределения *n*-алканов в зависимости от типа ОВ, определенного по распределению стерановых и терпановых углеводородов, по-видимому, можно объяснить тем, что ОВ изученной коллекции имеет смешанную природу, чисто аквагенные разновидности, без террагенной составляющей, встречаются редко.

Значения пиролитического параметра HI для малышевской свиты с Пайяхской и Южно-Носковской площадями, содержащей ОВ аквагенного типа по распределению углеводородов-биомаркеров, невысоки — 37—48 мг УВ/г $C_{орг}$, что может быть обусловлено обеднением керогена с аквагенным типом ОВ водородом в результате произошедшей генерации углеводородов. Значения температуры максимального

Таблица 2. Характеристика органического вещества и основные показатели состава углеводородов-биомаркеров в насыщенной фракции битуминоидов юрско-мелового возраста

Тип ОБ (количество образцов)	Свита (скважина)	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	$n\text{-C}_{27}/n\text{-C}_{17}$	Стераны		Трицикланы $2 \cdot (C_{19} + C_{20}) / \sum (C_{23} - C_{26})$	Трициклические терпаны, % от суммы	Пристан/фитан	Гомополены C_{33}/C_{34}
				C_{29}/C_{27}	C_{29}/C_{28}				
Террагенный (250)	Шараповская, китербютская, надояхская, лайдинская, вымская, леонтьевская, мальшевская, точинская, ситовская, яновстанская, гольчихинская, нижнехетская, шуратовская, юрацкая, суходудинская, байкаловская, малохетская, покурская	$22.10 - 28.70$ — 25.06	$0.11 - 14.05$ — 1.17	$1.74 - 14.50$ — 4.04	$2.11 - 9.69$ — 4.62	$0.41 - 18.17$ — 5.26	$1.47 - 37.63$ — 9.51	$0.42 - 5.97$ — 2.65	$0.20 - 1.15$ — 0.37
Смешанный (51)	Леонтьевская, вымская (Горчинская-1); мальшевская (Паютская-1, Хальмерпаютинская-2099); яновстанская (Горчинская-1, Медвежья-316, Озерная-10, Сузунская-4, Туколандо-Вадинская-320); гольчихинская (Ушаковская-1, Пайяхская-1); нижнехетская (Горчинская-1, Озерная-10, Пайяхская-1, Пелятгинская-15, Токачинская-1,2,30, Туколандо-Вадинская-320, Турковская-2); шуратовская (Пайяхская-1)	$23.30 - 30.90$ — 27.27	$0.22 - 2.60$ — 0.62	$0.81 - 1.93$ — 1.33	$1.44 - 2.96$ — 2.13	$0.15 - 3.24$ — 1.30	$3.63 - 25.42$ — 9.41	$0.78 - 3.18$ — 2.38	$0.32 - 0.65$ — 0.43
Аквагенный (48)	Мальшевская (Пайяхская-1, Южно-Носковская-318); ситовская (Туколандо-Вадинская-320); яновстанская (Горчинская-1, Озерная-10, Туколандо-Вадинская-320); гольчихинская (Пайяхская-1, Пелятгинская-15, Ушаковская-1, Южно-Носковская-318); нижнехетская (Горчинская-1, Туколандо-Вадинская-320, Турковская-2); шуратовская (Пайяхская-1); суходудинская (Туколандо-Вадинская-320)	$22.60 - 30.90$ — 26.55	$0.14 - 0.97$ — 0.46	$0.72 - 1.26$ — 1.02	$0.95 - 1.88$ — 1.55	$0.41 - 4.03$ — 1.28	$4.11 - 49.45$ — 18.23	$1.17 - 3.42$ — 2.31	$0.30 - 1.09$ — 0.49

Примечание. Над чертой приведен разброс значений геохимического параметра по группе с определенным типом ОБ, под чертой — среднее значение параметра.

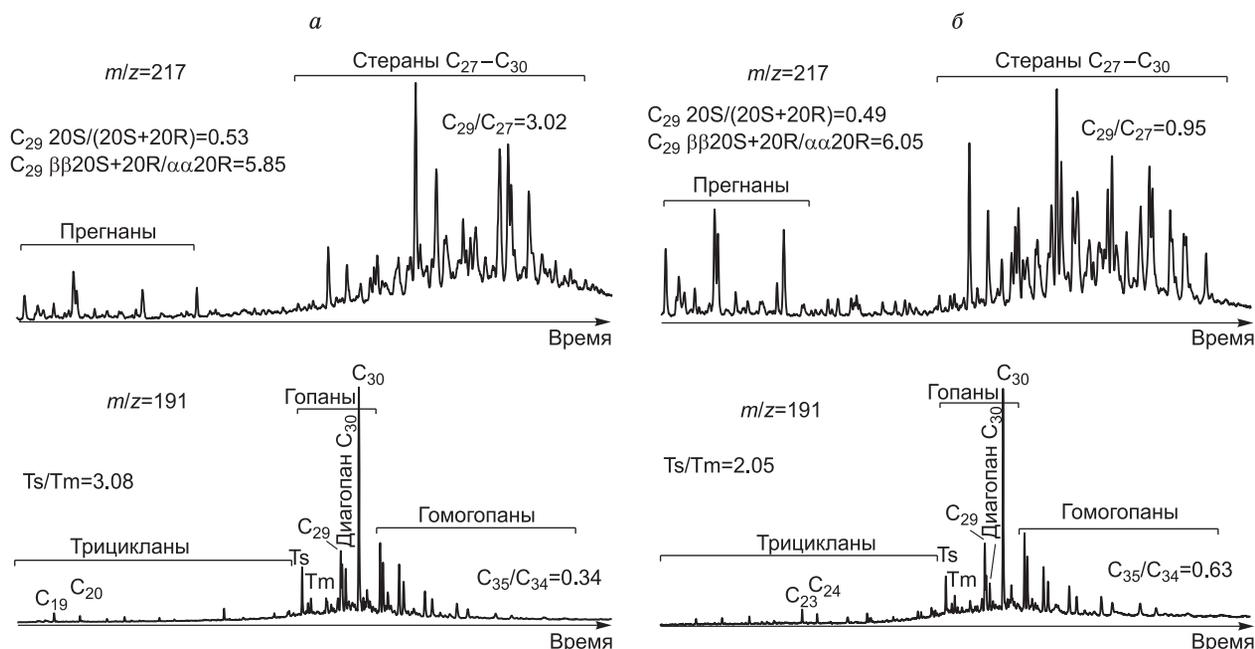


Рис. 5. Масс-хроматограммы стерановых и терпановых углеводородов ($m/z = 217$ и 191) насыщенных фракций битумоидов.

Битумоиды: *a* — с террагенным типом ОВ (на примере образца из скв. Нанадянская-310, глубина 3423 м, гольчихинская свита); *б* — с аквагенным типом ОВ (на примере образца из скв. Пайяхская-1, глубина 4019 м, гольчихинская свита).

выхода углеводородов пика S_2 (T_{max}) в этих образцах превышают $480\text{ }^\circ\text{C}$, что свидетельствует о катагенезе ОВ, соответствующем главной зоне газообразования, и полной реализации ОВ его начального генерационного потенциала.

Образцы, имеющие аквагенную природу ОВ битумоидов по распределению углеводородов-биомаркеров, характеризуются более высокими значениями $\delta^{13}\text{C}$ ($-26.6\dots-30.9\text{ }‰$) керогенов по сравнению с типично морским ОВ баженовской свиты Западной Сибири ($-28.9\dots-32.0\text{ }‰$) (рис. 7) [Конторович и др., 1985а,б, 1986]. Повышенные значения $\delta^{13}\text{C}$ для таких керогенов этих образцов можно объяснить смешанным характером — присутствием ОВ высшей наземной растительности, в котором кероген и битумоиды имеют своим источником разные компоненты живого вещества (лигнин и целлюлоза в отличие от преобладания липидных компонентов), что приводит к различиям по изотопному составу [Конторович и др., 1986]. Таким образом, вариации в изотопном составе углерода нерастворимого ОВ по отношению к типу ОВ битумоидов подчеркивают смешанный характер захоронявшегося в осадках живого вещества. Также, скорее всего, оказал влияние процесс фракционирования изотопов углерода в диагенезе, зависящий от обстановок захоронения [Конторович и др., 1985а]. Для исследованных мезозойских пород Енисей-Хатангского прогиба, в отличие от баженовской свиты Западной Сибири, типичны существенно более окислительные обстановки захоронения ОВ.

Таким образом, по составу битумоидов рассмотренные юрско-меловые свиты неоднородны, в разрезе присутствуют как аквагенные, так и террагенные различия ОВ. Наибольшая роль ОВ аквагенного генезиса установлена в мальшевской, яновстанской, гольчихинской и нижнехетской свитах. Ранее на основании петрографических методов исследования уже было выявлено, что аквагенное ОВ доминирует в нижнехетской, яновстанской и гольчихинской свитах [Сороков, 1971; Войцеховская, 1974]. Позднее, с учетом данных современных геохимических методов исследования, подтверждено наличие ОВ планктонно-бактериогенной природы в стратиграфических аналогах баженовской свиты [Ларичев и др., 2003; Филиппов и др., 2006; Гончаров и др., 2009, 2010а,б]. В настоящей работе впервые показано, что потенциально нефтематеринскими являются и толщи среднеюрского мальшевского горизонта, в отложениях которого на ряде площадей выявлено органическое вещество аквагенного генезиса.

Условия накопления органического вещества в осадке. Значения отношения гомогопанов C_{35}/C_{34} меньше единицы, так же как и преобладание пристана над фитаном, свидетельствуют о захоронении ОВ юрско-меловых битумоидов при достаточно интенсивных окислительных преобразованиях в диагенезе. На это же указывают высокие содержания диагопанов C_{29} и C_{30} . Считается, что диагопан продуци-

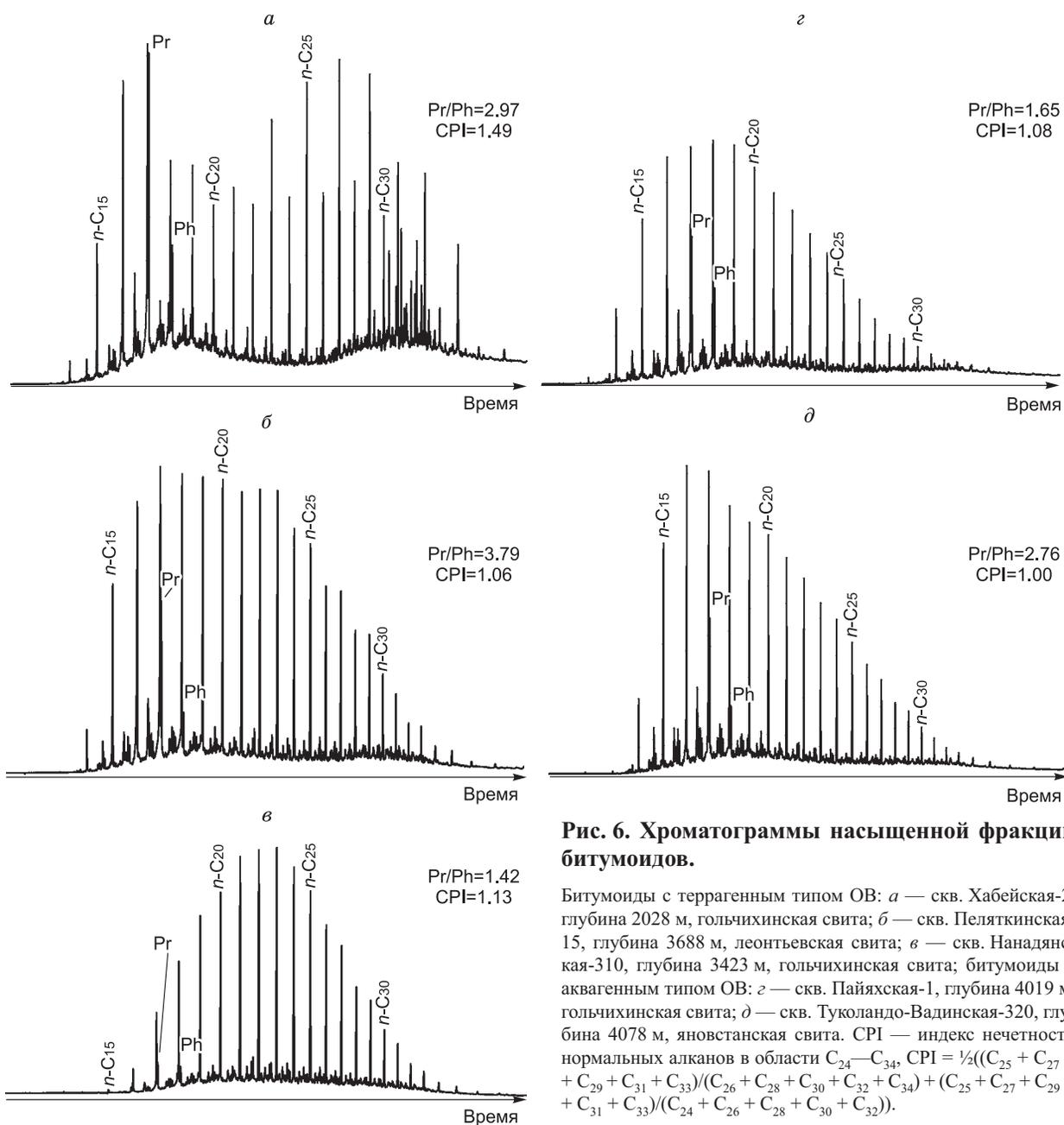


Рис. 6. Хроматограммы насыщенной фракции битумоидов.

Битумоиды с террагенным типом ОБ: а — скв. Хабейская-2, глубина 2028 м, гольчихинская свита; б — скв. Пеляткинская-15, глубина 3688 м, леонтьевская свита; в — скв. Нанадьянская-310, глубина 3423 м, гольчихинская свита; битумоиды с аквагенным типом ОБ: г — скв. Пайяхская-1, глубина 4019 м, гольчихинская свита; д — скв. Туколандо-Вадинская-320, глубина 4078 м, яновстанская свита. CPI — индекс нечетности нормальных алканов в области C₂₄—C₃₄, $CPI = \frac{1}{2} \left(\frac{C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33}}{C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32} + C_{34}} + \frac{C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33}}{C_{24} + C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32}} \right)$.

руется аэробными бактериями в осадках, содержащих глины и отлагающихся в окислительных и субокислительных условиях [Moldowan et al., 1991; Peters et al., 2005]. Для битумоидов мальшевской свиты были проведены детальные исследования распределения диагопанов, подтвердившие более высокую термодинамическую устойчивость диагопанов по сравнению с гопанами. Кроме того, установлено, что в более грубозернистых отложениях содержание диагопанов выше. Среднее значение отношения диагопана C₃₀ к гопану C₃₀ в аргиллитах составляет 0.17, а в алевролитах оно равно 0.32.

На основе геохимических параметров можно сделать вывод, что в юрско-раннемеловое время в западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба существовали мелководно-морские условия осадконакопления с повышенной гидродинамической активностью среды, обусловившей аэрацию придонных вод и верхней части осадка, что согласуется с палеогеографическими реконструкциями [Конторович и др., 2013].

Катагенез органического вещества. При погружении осадочных толщ и сопровождающем этот процесс катагенезе ОБ происходят направленные изменения в составе битумоидов. Ранее в работе А.Н. Фомина с соавторами [2010] был рассмотрен разрез скв. Нанадьянская-310, определены биомаркерные параметры, являющиеся наиболее информативными для выявления отложений, достигших главной

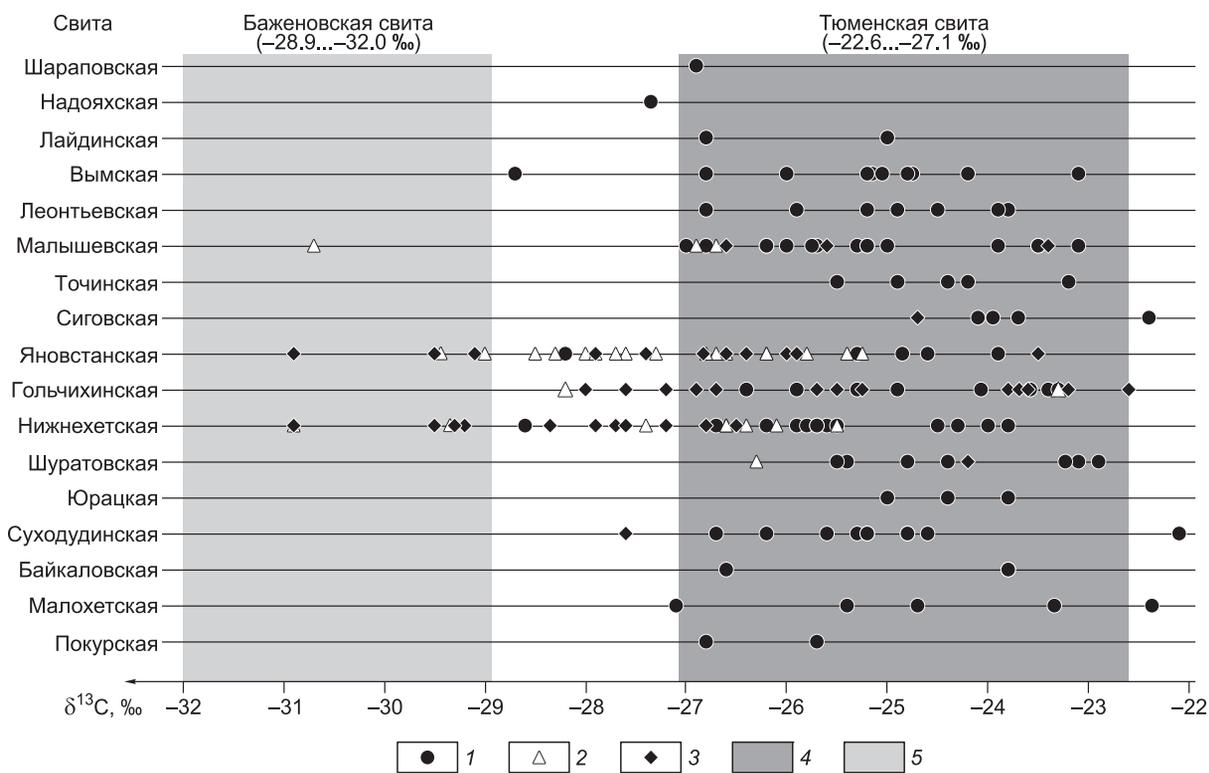


Рис. 7. Изотопный состав углерода нерастворимого органического вещества юрско-меловых отложений ЕХРП.

1—3 — изученные образцы с: 1 — террагенным, 2 — смешанным, 3 — аквагенным типом ОВ; 4, 5 — области значений изотопного состава углерода, характерные для битумоидов Западно-Сибирского бассейна: 4 — тюменской свиты, представленной преимущественно ОВ террагенного типа, 5 — баженовской свиты, содержащей преимущественно аквагенное ОВ.

зоны нефтеобразования в изучаемом регионе. В настоящей работе были использованы значения биомаркерных показателей на начало этапа генерации жидких углеводородов, полученные в увязке со значениями отражательной способности витринита [Фомин и др., 2010], а также данные по катагенезу ОВ территории Енисей-Хатангского регионального прогиба, опубликованные в многочисленных работах [Конторович и др., 1971, 1974; Афанасенков, 1974; Богородская, Соболева, 1983; Фомин, Ромашина, 1989; Филиппов и др., 1998, 1999; Болдушевская, 2001; Болдушевская и др., 2002; Фомин, 2011].

С ростом катагенеза в ряду нормальных алканов происходит уменьшение преобладания нечетных алканов над четными, особенно заметное в ряду C_{23} — C_{33} [Филиппи, 1970]. По распределению нормальных алканов в исследованных битумоидах с аквагенным генезисом ОВ отмечается, что выше глубин 3150 м нечетные нормальные алканы преобладают над четными, что указывает на низкую степень преобразованности ОВ. Для образцов с террагенным типом исходного ОВ глубина, где происходит выравнивание между концентрациями нечетных и четных нормальных алканов, немного ниже — 3300 м (см. рис. 6, а).

С увеличением глубины и возрастанием пластовых температур термодинамически менее устойчивые биологические изомеры стеранов, имеющие при атоме С-20 R-конфигурацию, трансформируются в более стабильные с 20S-конфигурацией. Также в качестве показателя катагенеза ОВ используется соотношение между новообразованными изостеранами и исходными стеранами [Петров, 1984; Peters et al., 2005]. По значениям стерановых коэффициентов [Фомин и др., 2010] ОВ нижнемеловых аквагенных битумоидов с Токачинской, Озерной, Медвежьей и Горчинской площадей не достигло главной зоны нефтеобразования. Для остальных битумоидов с аквагенным и смешанным типом ОВ значения этих показателей свидетельствуют о нахождении ОВ на стадии катагенеза, отвечающей главной зоне нефтеобразования.

Ранее исследователями отмечалось отсутствие четкой выраженности главной зоны нефтеобразования в мезозойском осадочном разрезе ЕХРП, что связывалось с низкими значениями палеогеотермических градиентов на большей части прогиба и, как следствие, преобладающими в осадочной толще процессами газообразования [Конторович и др., 1972; Гребенюк и др., 1982; Колганова, Полякова, 1984;

Нефтегазоносные бассейны..., 1994]. Установлена общая зональность катагенеза мезозойских отложений западной части ЕХРП по глубинам: нижняя граница зоны ПК соответствует глубине 1700 м, зоны МК₁¹ — 2900 м, МК₂¹ — 4000 м [Богородская, Соболева, 1983]. Согласно более поздним исследованиям А.Н. Фомина, верхнеюрские отложения с наибольшей зрелостью ОВ (МК₂—МК₃¹) относятся к наиболее погруженным частям ЕХРП — Большехетской и Антипаюгинско-Тадебяхинской мегасинеклизам, Центрально-Таймырскому желобу [Фомин, Ромахина, 1989; Фомин, 2011]. Полученные в настоящей работе оценки степени зрелости ОВ верхнеюрских отложений по биомаркерным параметрам согласуются с зональностью катагенеза ОВ, определенного с помощью углепетрографического метода.

Таким образом, установлено, что степень зрелости органического вещества в битумоидах изученных юрско-нижнемеловых пород Енисей-Хатангского регионального прогиба варьирует от ПК₃ до МК₃¹. Юрские битумоиды, имеющие аквагенную и смешанную природу ОВ, находятся в зоне генерации жидких углеводородов. Нижнемеловые битумоиды достигли главной зоны нефтеобразования только в наиболее глубокопогруженных зонах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По совокупности геохимических параметров (пиролитические данные, изотопный состав углерода, распределение углеводородов-биомаркеров) установлено, что в яновстанской (J₃—K₁) и гольчихинской (J₂—K₁), а также в меньшей степени в мальшевской (J₂) и нижнехетской, шуратовской (K₁) свитах достаточно широко распространены уровни, где органическое вещество пород является аквагенным (II тип), а концентрации органического углерода и уровень зрелости ОВ в этих породах позволяют рассматривать их в качестве нефтематеринских.

В изученном юрско-нижнемеловом разрезе в западной части ЕХРП не выделяются толщи, значительно обогащенные ОВ, современные содержания органического углерода в потенциально нефтематеринских толщах для 68—73 % образцов составляют 1—3 % на породу. Несмотря на это, исходное содержание ОВ в породах и его генерационный потенциал с учетом больших потерь органического углерода на этапе диагенеза, протекавшего в субокислительных условиях, были намного выше современных.

Пространственная локализация битумоидов по типу исходного органического вещества показывает, что области с ОВ аквагенного генезиса в мальшевской свите, а также в яновстанской и гольчихинской свитах располагаются в наиболее погруженных зонах Енисей-Хатангского бассейна — Центрально-Таймырском желобе и Большехетской мегасинеклизе. По разрезу аквагенные разности ОВ локализуются в верхней части мальшевской свиты; отчетливой приуроченности толщ с аквагенным генезисом ОВ в яновстанской и гольчихинской свитах установить не удается.

Нижнемеловые битумоиды, имеющие аквагенную природу органического вещества, обнаруженные в нижних частях нижнехетской и шуратовской свит, относятся к маломощным региональным глубоководным пачкам глин. Нижнехетская свита, в целом характеризующаяся смешанным составом органического вещества, содержит уровни, обогащенные аквагенным ОВ (в среднем 1.07 % на породу). Биомаркерные и пиролитические параметры, определяющие зрелость ОВ (СРІ, стерановые коэффициенты, T_{max}) в нижнемеловых аквагенных битумоидах с Токачинской, Туколандо-Вадинской, Пеляткинской, Турковской и Озерной площадей свидетельствуют о нахождении ОВ в начале главной зоны нефтеобразования. Поэтому нижнемеловые породы нижнехетской и шуратовской свит могли генерировать жидкие углеводороды, но не в таких значительных количествах, как отмеченные выше юрские отложения.

Большая часть изученных отложений содержит органическое вещество, связанное с высшей наземной растительностью, и относится к газопроизводящим.

Автор работы выражает глубокую признательность учителю, наставнику академику А.Э. Контровичу за постановку проблемы и внимание, проявленное к работе, и благодарит сотрудников ИНГГ СО РАН за содействие в предоставлении керна и выполнении аналитических работ.

Работа выполнена в рамках фундаментальных исследований по программам РАН и при поддержке грантов МК-4893.2012.5 и НШ-4498.2012.5.

ЛИТЕРАТУРА

Афанасенков А.П. Особенности катагенетических преобразований рассеянного органического вещества юрско-меловых отложений Енисей-Хатангской нефтегазоносной области // Геохимические и геофизические методы прямых поисков залежей углеводородов в Енисей-Хатангском прогибе. Л., Наука, 1974, с. 69—80.

Богородская Л.И., Соболева Е.И. Катагенез органического вещества осадочных пород Енисей-Хатангского регионального прогиба // Геохимические и гидрогеологические предпосылки поисков нефти и газа в Сибири. Новосибирск, СНИИГиМС, 1983, с. 60—70.

Болдушевская Л.Н. Геохимические критерии прогноза нефтегазоносности мезозойских отложений Енисей-Хатангского регионального прогиба и северо-востока Западно-Сибирской плиты: Автореф. дис. ... к.г.-м.н. Красноярск, ОИГГМ СО РАН, 2001, 22 с.

Болдушевская Л.Н., Филиппов Ю.А., Кринин В.А., Фомин А.Н. Перспективы нефтегазоносности юрско-меловых отложений Енисей-Хатангского регионального прогиба и северо-востока Западно-Сибирской плиты по геохимическим данным // Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология. СПб., ВНИИОкеангеология, 2002, с. 364—371.

Вассоевич Н.Б. Образование нефти в терригенных отложениях (на примере чокракско-караганских слоев Терского передового прогиба) // Вопросы образования нефти. Л., Гостоптехиздат, 1958, с. 9—220 (Тр. ВНИГРИ, вып. 128).

Вассоевич Н.Б. Теория осадочно-миграционного происхождения нефти (исторический обзор и современное состояние) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1967, № 11, с. 135—156.

Вассоевич Н.Б., Гусева А.Н., Лейфман И.Е. Биогеохимия нефти // Геохимия, 1976, № 7, с. 1075—1083.

Вассоевич Н.Б., Акрамходжаев А.М., Бурлин Ю.К., Дробот Д.И., Жабрев И.П., Зхус И.Д., Калинин М.К., Карцев А.А., Конторович А.Э., Лопатин Н.В., Неручев С.Г., Польстер Л.А., Полякова И.Д., Прозорович Г.Э., Саркисян С.Г., Фомичев А.С. Нефтематеринские породы // Литология на новом этапе развития геологических знаний. М., Наука, 1981, с. 158—176.

Войцеховская А.Г. О составе рассеянного органического вещества в юрских и меловых отложениях Енисей-Хатангского прогиба // Енисей-Хатангская нефтегазоносная область. Сборник статей / Под ред. Д.С. Сорокова, Г.Д. Гинсбурга. Л., НИИГА, 1974, с. 67—70.

Геология нефти и газа Западной Сибири / Под ред. А.Э. Конторовича, И.И. Нестерова, Ф.К. Салманова, В.С. Суркова, А.А. Трофимука, Ю.Г. Эрвье. М., Недра, 1975, 678 с.

Гончаров И.В., Кринин В.А., Самойленко В.В., Обласов Н.В., Фадеева С.В. К вопросу о генерационном потенциале яновстанской свиты северо-востока Западной Сибири // Химия нефти и газа: материалы VII Международной конференции. Томск, Изд-во ИОА СО РАН, 2009, с. 26—30.

Гончаров И.В., Кринин В.А., Самойленко В.В., Обласов Н.В., Фадеева С.В. Нефти нижнехетской свиты Ванкорского месторождения и источник их генерации // Успехи органической геохимии: материалы Всероссийской научной конференции / Ред. А.Э. Конторович. Новосибирск, ИНГГ СО РАН, 2010а, с. 100—104.

Гончаров И.В., Обласов Н.В., Самойленко В.В., Фадеева С.В., Кринин В.А., Волков В.А. Нефтематеринские породы и нефти восточной части Западной Сибири // Нефтяное хозяйство, 2010б, № 8, с. 24—28.

Гребенюк В.В., Луговцов А.Д., Москвин В.И. Особенности формирования зон нефтегазоаккумуляции в мезозое Енисей-Хатангского регионального прогиба // Геология и нефтегазоносность Енисей-Хатангского бассейна / Ред. А.А. Трофимук. М., Наука, 1982, с. 132—140 (Тр. ИГиГ СО АН СССР, вып. 514).

Данюшевская А.И. Геохимия органического вещества мезозойских отложений Средней Сибири (теоретические закономерности и прогноз нефтегазообразования): Автореф. дис. ... д.г.-м.н. Л., ВНИГРИ, 1975, 57 с.

Колганова М.М., Конторович А.Э. Некоторые черты геохимии ванадия и никеля в осадочных породах и нефтях // Геология нефтегазоносных районов Западно-Сибирской низменности. Новосибирск, СНИИГГиМС, 1966, с. 184—197 (Тр. СНИИГГиМСа, сер. геологическая, вып. 47).

Колганова М.М., Полякова И.Д. Особенности нефтеобразования в газоносных осадочно-породных бассейнах // Геология и геофизика, 1984 (1), с. 15—24.

Конторович А.Э. Геохимические методы количественного прогноза нефтегазоносности. М., Недра, 1976, 250 с. (Тр. СНИИГГиМСа, вып. 229).

Конторович А.Э., Бабина Н.М., Богородская Л.И., Винокур Б.Г., Зимин Ю.Г., Колганова М.М., Липницкая Л.Ф., Луговцов А.Д., Мельникова В.М., Парпарова Г.М., Рогозина Е.А., Стасова О.Ф., Трушков П.А., Фомичев А.С. Нефтепроизводящие толщи и условия образования нефти в мезозойских отложениях Западно-Сибирской низменности. Л., Недра, 1967, 223 с. (Тр. СНИИГГиМСа, сер. Нефтяная геология, вып. 50).

Конторович А.Э., Полякова И.Д., Трушков П.А., Фомичев А.С., Данюшевская А.И., Казаринов В.В., Парпарова Г.М., Стасова О.Ф., Рогозина Е.А., Шпильман К.А. Геохимия мезозойских отложений нефтегазоносных бассейнов Сибири. Новосибирск, СНИИГГиМС, 1971, 86 с. (Тр. СНИИГГиМСа, вып. 118).

Конторович А.Э., Гурари Ф.Г., Микуленко К.И., Трушкова Л.Я., Старосельцев В.С., Сурков В.С., Фотиади Э.Э., Гурова Т.И., Зимин Ю.Г., Карогодин Ю.Н., Салманов Ф.К., Трофимук А.А.

Закономерности размещения и условия формирования залежей нефти и газа в мезозойских отложениях Западно-Сибирской низменности. М., Недра, 1972, 312 с. (Тр. СНИИГГиМСа, вып. 131).

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. (Тр. СНИИГГиМСа, вып. 164).

Конторович А.Э., Богородская Л.И., Голышев С.И. Закономерности фракционирования изотопов углерода в седикахитах // Геология и геофизика, 1985а (9), с. 34—42.

Конторович А.Э., Богородская Л.И., Голышев С.И. Распределение стабильных изотопов углерода в седикахитах различной генетической природы // Геология и геофизика, 1985б (7), с. 3—11.

Конторович А.Э., Верховская Н.А., Тимошина И.Д., Фомичев А.С. Изотопный состав углерода рассеянного органического вещества и битумоидов и некоторые спорные вопросы теории образования нефти // Геология и геофизика, 1986 (5), с. 3—12.

Конторович А.Э., Бахтуров С.Ф., Башарин А.К., Беляев С.Ю., Бурштейн Л.М., Конторович А.А., Кринин В.А., Ларичев А.И., Ли Году, Меленевский В.Н., Тимошина И.Д., Фрадкин Г.С., Хоменко А.В. Разновозрастные очаги нефтидообразования и нефтидонакопления на Северо-Азиатском кратоне // Геология и геофизика, 1999, т. 40 (11), с. 1676—1693.

Конторович А.Э., Конторович В.А., Рыжкова С.В., Шурыгин Б.Н., Вакуленко Л.Г., Гайдебурова Е.А., Данилова В.П., Казаненков В.А., Ким Н.С., Костырева Е.А., Москвин В.И., Ян П.А. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (8), с. 972—1012.

Ларичев А.И., Рязанова Т.А., Меленевский В.Н., Сухоручко В.И., Чуйкова Т.Э., Видик С.В., Соловьева Н.С. Органическая геохимия среднеюрско-нижнемелового разреза восточного борта Большехетской впадины // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2003, № 11, с. 4—13.

Неручев С.Г. Нефтепроизводящие свиты и миграция нефти. Л., Недра, 1969, 240 с.

Нефтегазоносные бассейны и регионы Сибири. Вып. 3. Енисей-Хатангский бассейн / А.Э. Конторович, В.В. Гребенюк, Л.Л. Кузнецов, Д.П. Куликов, В.Б. Хмелевский, А.Н. Азарин, В.Д. Накаряков, И.Д. Полякова, В.Г. Сибгатуллин, Е.И. Соболева, В.С. Старосельцев, Г.Ф. Степаненко. Новосибирск, ОИГГМ СО РАН, 1994, 71 с.

Петров А.А. Углеводороды нефти. М., Наука, 1984, 263 с.

Парпарова Г.М. Изучение рассеянного органического вещества пород петрографическими методами // Геологический сборник 8. Л., Гостоптехиздат, 1963, с. 273—307 (Тр. ВНИГРИ, вып. 220).

Парпарова Г.М., Неручев С.Г. Основы генетической классификации рассеянного органического вещества пород // Геология и геофизика, 1977 (5), с. 45—51.

Полякова И.Д., Колганова М.М., Соболева Е.И., Степаненко Г.Ф. Геохимические критерии нефтегазоносности севера Сибирской платформы // Геология и нефтегазоносность Енисей-Хатангского бассейна / Ред. А.А. Трофимук. М., Наука, 1982, с. 119—132 (Тр. ИГиГ СО АН СССР, вып. 514).

Сороков Д.С. Органическое вещество юрско-меловых пород // Геология и нефтегазоносность Енисей-Хатангского прогиба (сборник статей). Л., НИИГА, 1971, с. 83—91.

Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти. М., Мир, 1981, 502 с.

Трофимук А.А., Конторович А.Э. Некоторые вопросы теории органического происхождения нефти и проблема диагностики нефтепроизводящих толщ // Геология и геофизика, 1965 (12), с. 3—14.

Успенский В.А., Инденбом Ф.Б., Чернышева А.С., Сенникова В.Н. К разработке генетической классификации рассеянного органического вещества // Вопросы образования нефти. Л., Гостоптехиздат, 1958, с. 221—362 (Тр. ВНИГРИ, вып. 128).

Филиппи Д.Т. О глубине, времени и механизме образования нефти // Органическая геохимия. Вып. 2. М., Недра, 1970, с. 58—92.

Филиппов Ю.А., Болдушевская Л.Н., Конторович А.А., Кринин В.А. Катагенез органического вещества и фазовый состав залежей углеводородов северо-западного обрамления Сибирской платформы // Геология нефти и газа, 1998 (12), с. 25—33.

Филиппов Ю.А., Болдушевская Л.Н., Кринин В.А., Конторович А.А., Меленевский В.Н. Применение пиролиза для изучения катагенеза органического вещества мезозойских отложений Енисей-Хатангской и северо-восточной части Пур-Тазовской нефтегазоносных областей // Геология и геофизика, 1999, т. 40 (12), с. 1837—1842.

Филиппов Ю.А., Давыдова И.В., Болдушевская Л.Н., Данилова В.П., Костырева Е.А., Фомин А.Н. Взаимосвязь материнских пород и нефтей в мезозойских отложениях северо-востока Западно-

Сибирской плиты на основе изучения углеводородов-биомаркеров и катагенеза органического вещества // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2006, № 5—6, с. 52—57.

Фомин А.Н. Катагенез органического вещества и нефтегазоносность мезозойских и палеозойских отложений Западно-Сибирского мегабассейна. Новосибирск, ИНГГ СО РАН, 2011, 331 с.

Фомин А.Н., Ромахина Г.А. Катагенез рассеянного органического вещества юрско-меловых отложений западной части Енисей-Хатангского прогиба // Геология и геофизика, 1989 (11), с. 96—100.

Фомин А.Н., Ким Н.С., Каширцев В.А., Меленевский В.Н. Катагенез РОВ мезозойских отложений западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба по биомаркерным, пиролитическим и углепетрографическим данным // Успехи органической геохимии: материалы Всероссийской научной конференции / Ред. А.Э. Конторович. Новосибирск, ИНГГ СО РАН, 2010, с. 338—342.

Moldowan J.M., Fago F.J., Carlson R.M., Young D.C., Duynе G.V., Clardy J., Schoell M., Pillinger C.T., Watt D.S. Rearranged hopanes in sediments and petroleum // Geochim. Cosmochim. Acta, 1991, v. 55, p. 3333—3353.

Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. The biomarker guide. 2nd ed. New York, Cambridge University Press, 2005, 1155 p.

*Поступила в редакцию
11 марта 2013 г.*