

ГЕОЛОГИЯ НЕФТИ И ГАЗА

УДК 550.4 (571.56)

ГЕОХИМИЯ БИОМАРКЕРОВ И КАТАГЕНЕЗ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА
МЕЛОВЫХ И КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ИНДИГИРО-ЗЫРЯНСКОГО ПРОГИБА
(Северо-Восточная Якутия)

В.А. Каширцев, В.В. Гайдук*, О.Н. Чалая**, И.Н. Зуева**

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

** НТЦ ОАО «НК «Роснефть», 350000, Краснодар, ул. Красная, 54, Россия*

*** Институт проблем нефти и газа СО РАН, 677891, Якутск, ул. Октябрьская, 1, Россия*

Методами классической битуминологии и хромато-масс-спектрометрии исследованы особенности органического вещества меловых и кайнозойских отложений Индигиро-Зырянского прогиба. Показаны закономерности распределения алканов и полициклических ароматических углеводородов с ростом катагенетических преобразований ископаемого органического вещества. В меловых отложениях установлены сесквитерпаны ряда дримана, а в кайнозойских — тетрациклические биометки филлокладана — каурана. Предшественниками последних являются терпены хвойных растений, а идентифицированный спектр пентациклических олеаненов обязан своим появлением расцветом в палеогене и неогене покрытосемянных растений. Судя по геохимическим показателям, кайнозойские отложения не достигли термобарических условий «главной зоны нефтеобразования» и вряд ли должны участвовать в количественных оценках перспектив нефтегазоносности рассматриваемого региона. Вместе с тем кайнозойские глинистые толщи могут играть роль хороших изолирующих горизонтов для мигрирующих флюидов из более древних, в том числе меловых отложений.

Индигиро-Зырянский прогиб, меловые и палеоген-неогеновые отложения, органическое вещество, молекулы-биомаркеры, олеанены.

GEOCHEMISTRY OF BIOMARKERS AND CATAGENESIS OF ORGANIC MATTER
OF CRETACEOUS AND CENOZOIC DEPOSITS IN THE INDIGIRKA-ZYRYANKA BASIN
(northeastern Yakutia)

V.A. Kashirtsev, V.V. Gaiduk, O.N. Chalaya, and I.N. Zueva

Organic matter of Cretaceous and Cenozoic deposits in the Indigirka-Zyryanka basin was studied by bituminological analysis and chromato-mass spectrometry. The regularities of distribution of alkanes and polycyclic aromatic hydrocarbons depending on the catagenesis of fossil organic matter are shown. Sesquiterpanes of the drimane series have been recognized in the Cretaceous deposits, and tetracyclic biomarkers of phyllocladane (kaurane), in the Cenozoic ones. The biomarkers were produced from terpenes of conifers, and the identified set of pentacyclic oleanenes are the products of angiosperms flourishing in the Paleogene and Neogene. As evidenced from geochemical indices, the Cenozoic deposits did not reach the *PT*-conditions of “the main oil formation zone” and should not be used for the quantitative evaluation of the regional petroleum potential. Nevertheless, the Cenozoic clayey units can be perfect isolating horizons for fluids migrating from more ancient, including Cretaceous, deposits.

Indigirka-Zyryanka basin, Cretaceous and Paleogene-Neogene deposits, organic matter, biomarker molecule, oleanane

ВВЕДЕНИЕ

Одним из первых исследователей, кто обратил внимание на возможную нефтегазоносность Индигиро-Зырянского прогиба (ИЗП), был Н.В. Черский [1959]. В последующем геологическом строении и оценками перспектив этого региона занимались коллективы ВНИГРИ, НИИГА, ВНИИгаза, СВКНИИ, ИГН СО АН СССР, Ленанефтегазгеологии [Чочиа и др., 1972; Иванов и др., 1973; Работнов и др., 1974; Гайдук и др., 1988, 1989; и др.].

В результате этих работ было уточнено геологическое строение прогиба, получены первые сведения о его глубинном строении, и в целом благоприятные заключения о потенциальных перспективах газоносности этого осадочного бассейна на северо-востоке России. После бурения четырех параметрических скважин в конце прошлого века региональные и поисковые работы в Индигиро-Зырянском прогибе были свернуты. Что касается органогеохимических исследований, то они были проведены лишь на уровне изучения концентраций органического углерода ($C_{орг}$), группового состава битумоидов и отражательной способности витринита углей, углистых включений в разрезе меловых отложений [Иванов и др., 1973; Сюдюков, Гайдук, 1990].

В основу настоящей статьи положены первые результаты детальных (на молекулярном уровне) исследований органического вещества образцов мелового и палеоген-неогенового возрастов, отобранных В.В. Гайдуком из естественных обнажений Индигиро-Зырянского прогиба (рис. 1).

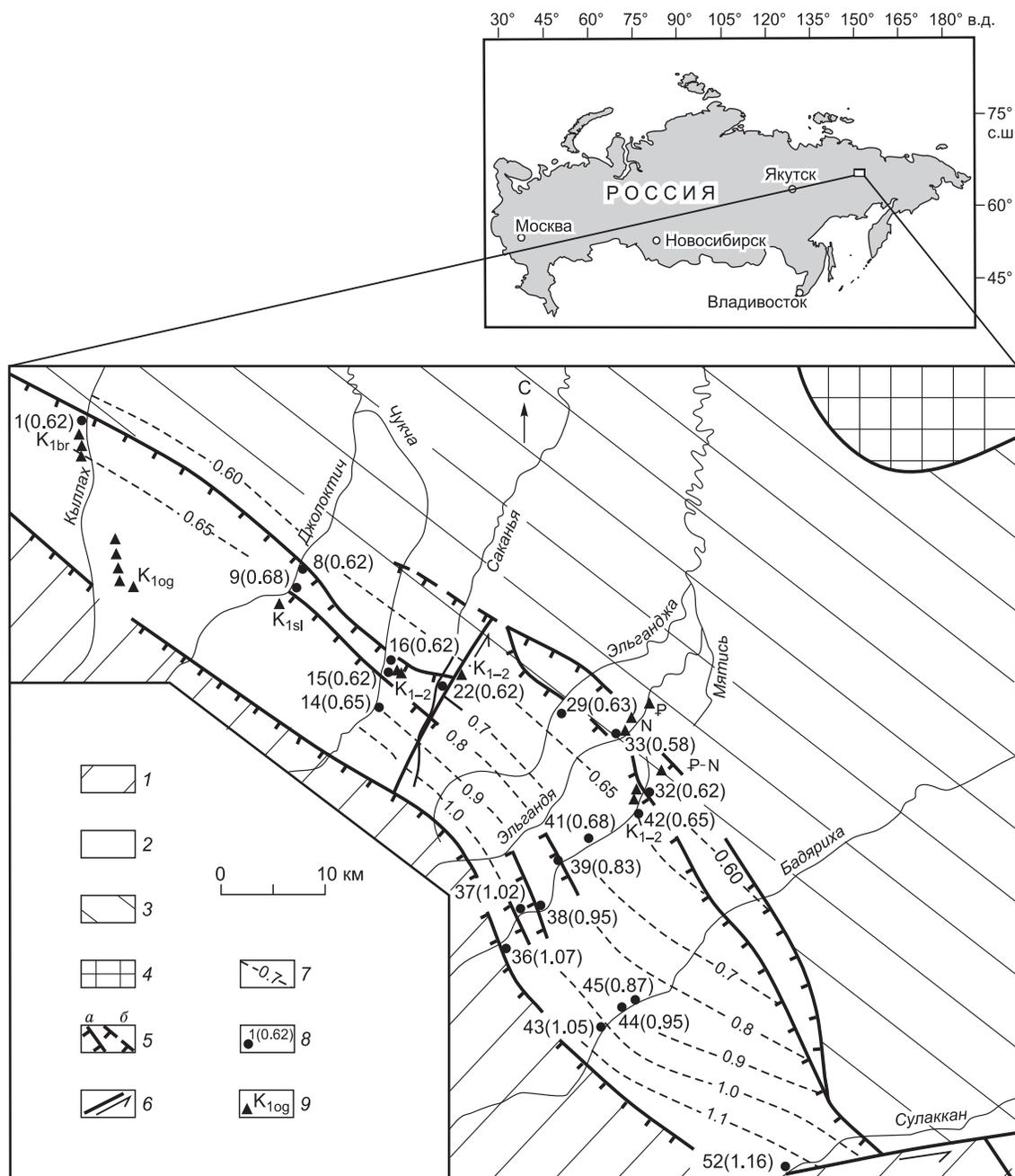


Рис. 1. Карта-схема строения центральной части Индигиро-Зырянского прогиба.

1 — Илинй-Тасский антиклинорий; 2 — прискладчатое крыло прогиба; 3 — платформенное крыло прогиба; 4 — Алазейское поднятие; 5 — надвиги: *a* — установленные, *б* — предполагаемые; 6 — сдвиги; 7 — изолинии значений отражательной способности витринита (R^0); 8 — номера обнажений и замеренные значения R^0 ; 9 — место отбора и возраст проб.

КРАТКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Индиги́ро-Зыря́нский прогиб расположен между Илнй-Тасским антиклинорием Момского хребта и Алазейским поднятием. Его протяженность составляет около 500 км при ширине до 100 км. В целом ИЗП имеет структуру краевого прогиба: зона сочленения прогиба с антиклинорием имеет чешуйчато-надвиговое строение и пологое приалазейское (субплатформенное) крыло. Во внутреннем крыле складчато-разрывные деформации проявлены не только в нижнемеловых, но и в кайнозойских отложениях, вплоть до миоценовых. Меловые и палеоген-неогеновые толщи смяты в крутые линейные асимметричные и запрокинутые складки и нарушены взбросами и надвигами [Гайдук и др., 1989]. Разрез меловых и кайнозойских отложений представлен главным образом континентальными, нередко угленосными образованиями, мощность которых нарастает в направлении к Илнй-Тасскому антиклинорию и оценивается в 5 км для меловых и в 2.5 км — для кайнозойских пород.

Степень катагенетических преобразований органического вещества (ОВ) по отражательной способности витринита для палеоген-неогенового разреза (R^0 от 0.30 до 0.45) может быть определена как протокатагенез градаций ПК₂ и ПК₃ (или буроугольные стадии Б₂ и Б₃), в меловых отложениях при-складчатого крыла преобразованность ОВ возрастает до градаций мезокатагенеза МК₁ и МК₂ (R^0 от 0.50 до 0.80) или длиннопламенной (Д) и газовой (Г) стадий по углемарочной шкале. Схема катагенетической преобразованности (углефикации) органического вещества принята в соответствии с работой И. Ш. Сюдюкова и В.В. Гайдуга [1990].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Образцы пород после очистки, дробления и истирания делились на несколько частей. Большая из них поступала на экстракцию хлороформом в аппаратах Сокслета, другие — на разложение соляной кислотой и определение общего органического углерода. Мальтеновая часть битумоидов, полученная после осаждения асфальтенов избытком петролейного эфира, на хроматографических колонках с силикагелем АСК разделялась на углеводородную часть (нередко эта фракция называется маслами) и смолы. В свою очередь, масла на колонках с силикагелем и оксидом алюминия хроматографически разделялись на фракции насыщенных и ароматических углеводородов (УВ).

Хромато-масс-спектрометрические исследования масел, насыщенных и ароматических УВ проводились на системе, включающей газовый хроматограф 6890, имеющий интерфейс с высокоэффективным масс-селективным детектором Agilent 5973N. Хроматограф снабжен кварцевой капиллярной колонкой длиной 25 м, диаметром 0.25 мм, импрегнированной фазой HP-5MS. В качестве газа-носителя служил гелий со скоростью потока 1 мл/мин. Температура испарителя 320 °С. Программирование подъема температуры в термостате осуществлялось от 100 до 300 °С со скоростью 3 °С/мин с последующей изотермой в течение 30 мин. Ионизирующее напряжение источника — 70 эВ, температура источника — 250 °С. Хроматограммы углеводородов получены по общему ионному току (ТИС) и сканированием по фрагментным ионам. Идентификация индивидуальных углеводородов проводилась компьютерным поиском в библиотеке системы NIST-05, по литературным данным и реконструкцией структур по характеристическим ионам.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Работы, проведенные исследователями СВКНИИ (Магадан), показали, что содержания органического углерода в меловых отложениях распространены неравномерно, но редко превышают концентрации больше 1 % [Иванов и др., 1973]. В исследованной коллекции образцов, главным образом глинистых отложений, содержания $C_{\text{орг}}$ значительно выше и в углистых аргиллитах и глинах достигают 15 %. Естественно, что в подобных образцах выше выход хлороформенных экстрактов (битумоидов), концентрации которых достигают десятых долей процента. В групповом составе битумоидов пород низких градаций катагенеза углеводородная составляющая невелика, здесь преобладают смолистые компоненты. С ростом катагенетических преобразований их концентрации выравниваются и на заключительных этапах градации МК₂ (Г) углеводороды начинают преобладать над смолами (таблица).

Распределение *n*-алканов во фракциях насыщенных углеводородов на масс-хроматограммах по общему ионному току (ТИС) вполне адекватно отражает последовательность катагенетических преобразований ископаемого органического вещества, что особенно хорошо выражено в снижении значений коэффициента нечетности *n*-алканов (соотношение молекул с нечетным количеством атомов углерода к четным или CPI — carbon preferences index) от значений 4.2 до 1 (рис. 2, см. табл. 1). С ростом катагенеза органического вещества (ОВ) отмечается и смещение максимума распределения *n*-алканов с C_{27} на C_{23} . В соотношении изопреноидных алканов (там, где удается их идентифицировать) пристан обычно преобладает над фитаном. Уже эти первые данные свидетельствуют о преобладании в осадках конти-

**Битуминологическая характеристика органического вещества меловых
и кайнозойских отложений Индигиро-Зырянского прогиба**

№ опыта	Место отбора проб	Возраст	Литология	НО	C _{орг}	ХБ	Групповой состав, %			K _{нч/ч} алканов (CPI)	Стадия катагенеза (углефикац.)
				%			УВ	СМ	АСФ		
4745	р. Элгандя	N	Глина	93.21	3.71	0.062	45.62	49.92	4.46	3.30	ПК2
5045	р. Коричневый	P-N	Алеврит	86.85	2.16	0.014	26.80	58.76	14.44	4.20	(Б2)
5437	р. Мятись	»	Глина	94.39	4.62	0.080	22.18	71.27	6.55	3.20	
5444	р. Эльгандя	P	»	96.86	5.76	0.162	19.15	74.19	6.66	н. оп.	
5446	»	»	»	91.72	3.83	0.058	23.90	68.07	8.03	2.80	
5447	»	»	»	91.31	4.23	0.075	17.16	76.46	6.37	2.90	
4858	р. Саканья	K ₁ -K ₂	Алевролит	87.78	3.05	0.019	43.98	44.4	11.61	2.40	ПК3
4751	р. Мятись	»	Глина	84.68	2.96	0.034	35.99	54.73	9.28	2.90	(Б3)
4853	р. Чукча	»	»	89.9	8.08	0.035	31.25	58.28	10.48	2.40	
4856	»	»	»	86.17	1.15	0.008	н. оп.	н. оп.	22.85	1.80	
4857	»	»	»	85.94	2.38	0.015	52.33	34.30	13.37	1.70	
5057	р. Сиялп	»	Извест.конк.	15.72	9.85	0.205	71.77	19.87	8.36	1.80	
5034	р. Кыллах	K ₁ br	Аргиллит	81.49	15.12	0.050	37.36	44.96	17.67	1.40	МК1
5035	»	»	»	82.76	2.14	0.021	45.03	33.25	21.71	1.40	(Д)
5036	»	»	Алевролит	87.91	3.32	0.052	31.85	41.43	26.72	1.30	
5037	»	»	Песчаник	90.06	2.51	0.036	35.00	45.78	19.22	н. оп.	
5038	»	»	Аргиллит	88.25	3.45	0.043	36.18	37.79	26.03	н. оп.	
5039	»	»	Алевролит	73.77	2.61	0.024	39.15	39.86	20.99	1.50	
5043	р. Джалоткич	K ₁ sl	Аргиллит	87.39	15.96	0.436	58.99	23.44	17.57	1.40	
5053	р. Мятись	K ₁ og	»	93.37	1.39	0.045	38.14	44.49	17.37	1.15	МК2
5032	р. Кыллах	»	Алевролит	77.16	5.97	0.030	45.37	33.59	21.04	1.30	(Г)
5027	»	»	»	77.29	1.61	0.040	36.15	46.11	17.75	1.10	
5028	»	»	»	78.24	2.82	0.041	32.32	23.57	44.11	1.15	
5029	»	»	»	76.74	1.37	0.013	43.02	36.81	20.17	1.20	
5030	»	»	»	77.73	4.02	0.033	42.15	36.88	20.97	1.10	
5031	»	»	»	75.67	1.09	0.016	50.40	31.90	17.70	1.10	
5026	»	»	»	80.73	3.73	0.072	36.06	43.67	20.27	1.00	

Примечание. НО — нерастворимый остаток; C_{орг} — органический (некарбонатный) углерод; ХБ — хлороформный битумоид; УВ — углеводороды; СМ — смолы; АСФ — асфальтены; K_{нч/ч} (CPI) — коэффициент нечетности распределения n-алканов (carbon preferences index); н. оп. — не определялось. Возраст отложений: N — неоген, P-N — нерасчлененные палеоген-неоген, P — палеоген, K₁-K₂ — нерасчлененные нижний и верхний мел, K₁br — буоркемюсская свита (нижний мел), K₁sl — сиялпская свита (нижний мел), K₁og — ожогинская свита (нижний мел).

ментального органического вещества, формировавшегося в субокислительных обстановках диагенеза [Конторович и др., 1965; Тиссо, Вельте, 1981].

Результаты исследований распределения терпановых и терпеновых углеводородов в органическом веществе меловых и кайнозойских отложений дают весьма любопытную картину, отражающую на молекулярном уровне как катагенетическую преобразованность ископаемого органического вещества, так и появление и расцвет покрытосемянных в кайнозое. На рис. 3 приведены масс-хроматограммы по фрагментному иону *m/z* 191, характеризующие распределение этих углеводородов по разрезу меловых и кайнозойских отложений ИЗП. На масс-хроматограммах хорошо прослеживается смена термодинамически неустойчивых «биомолекул» более устойчивыми «геомолекулами» с ростом катагенетических преобразований. Широко распространенные в ОВ кайнозоя биограны со стереохимической конфигурацией 17β(H)21β(H), в меловых отложениях уже не встречаются. Кроме того, вниз по разрезу выравнивается

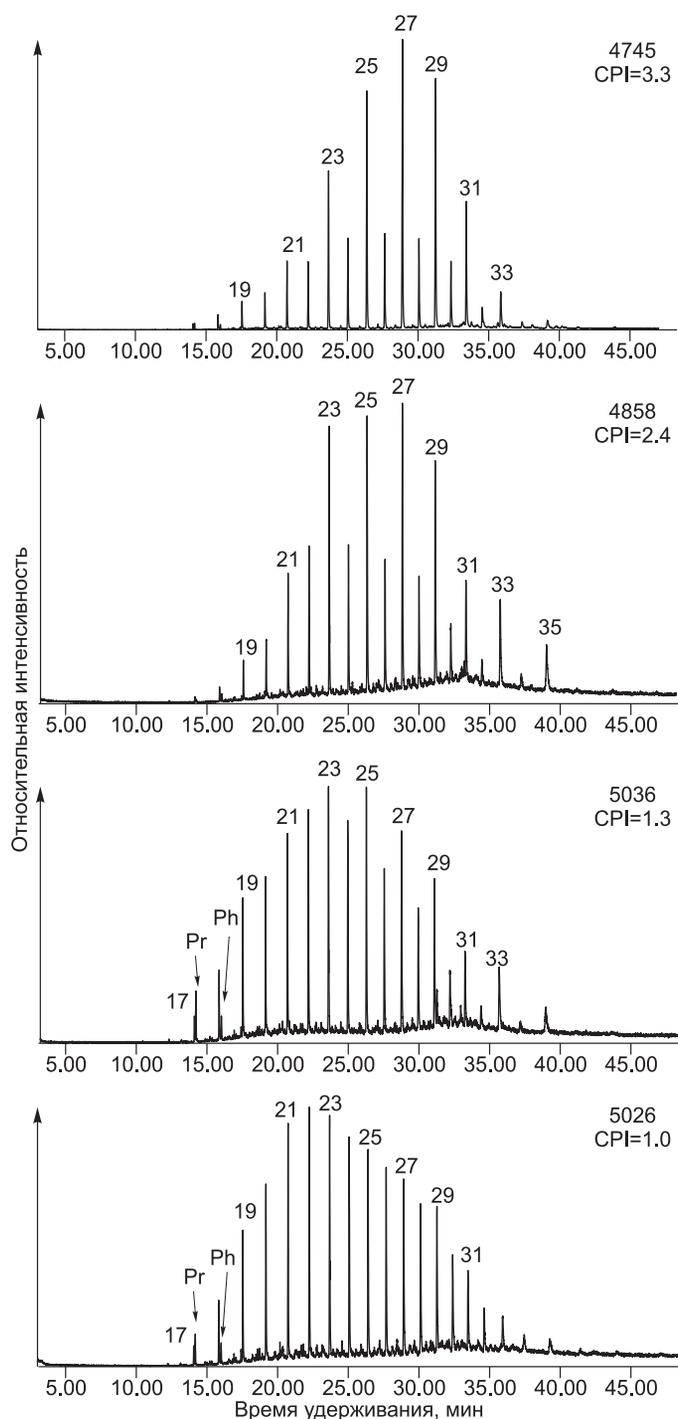
Рис. 2. Масс-хроматограммы по полному ионному току (ТIC) распределения алкановых углеводородов с различными значениями коэффициента нечетности (CPI).

17—35 — н-алканы (число атомов углерода в молекуле); Pr — пристан, Ph — фитан. Номера проб см. в таблице.

соотношение гомогпанов $17\alpha(\text{H})21\beta(\text{H})22\text{R}$ и $17\alpha(\text{H})21\beta(\text{H})22\text{S}$ и, в конечном итоге, последние начинают преобладать над менее устойчивыми 22R . Появление негопана C_{27} (Ts) и выравнивание соотношения нечетных и четных алканов знаменует вхождение отложений в область, благоприятную для проявления главной фазы (зоны) нефтеобразования [Вассоевич и др., 1969; Конторович, Неручев, 1971].

Во всех кайнозойских образцах идентифицированы тритерпеноиды ряда олеаненов, включая их диеновые структуры. Несмотря на то, что на масс-хроматограммах олеанены элюируются вместе с адриантаном и моретаном C_{29} , идентификация их достаточно надежна по фрагментным ионам m/z 191 и молекулярно-массовым ионам m/z 408 и 410 (рис. 4). Кроме того, они идеально (с надежностью выше 90 %) сопоставляются со стандартными масс-спектрами базы данных NIST 05. Появление этих молекул в ископаемом органическом веществе обычно связывают с расцветом покрытосеменных растений (Angiospermae) на континентах [Whitehead, 1974; Riva et al., 1988; Peters, Moldowan, 1993; Otto, Simoneit, 2001]. Основными предшественниками терпеноидов олеананового ряда являются бетулины и тараксерены [Grantham et al., 1983]. Тараксерены вместе с олеаненами и олеананом в свое время были идентифицированы нами в кайнозойских отложениях Западной Сибири [Каширцев и др., 2008]. Считается, что при достаточной мощности осадков (около 700 м), диагенетические реакции приводят к конверсии тараксерена в олеан-12-ен [Saito, Suzuki, 2008]. В осадках, как и в лабораторных экспериментах, олеан-12-ен изомеризуется в олеан-13(18)-ен, который является прямым предшественником $18\alpha(\text{H})$ и $18\beta(\text{H})$ олеананов [Ten Haven, Rullkötter, 1988]. Насыщенные олеананы широко распространены в органическом веществе «зрелых» кайнозойских отложений и в генетически связанных с ними нефтях. В качестве примера можно привести состав терпеновых и терпановых углеводородов в отложениях и нефтях дельты р. Нигер и в нефтепроявлениях оз. Байкал [Ekweozor et al., 1979; Каширцев и др., 2006]. Следует заметить, что олеанены и их насыщенные разновидности $18\alpha(\text{H})$ и $18\beta(\text{H})$ олеананы в меловых отложениях Индигино-Зырянского прогиба не встречены.

Сканирование по фрагментным ионам m/z 109 и 123 фракций насыщенных углеводородов битумоидов меловых пород позволило идентифицировать бициклические сесквитерпаны ряда дримана и гомодримана (рис. 5), а в кайнозойских отложениях — трициклические структуры типа норпимарана — фихтелиита и тетрациклические УВ ряда каурана-филлокладана (рис. 6). Соединения с подобными



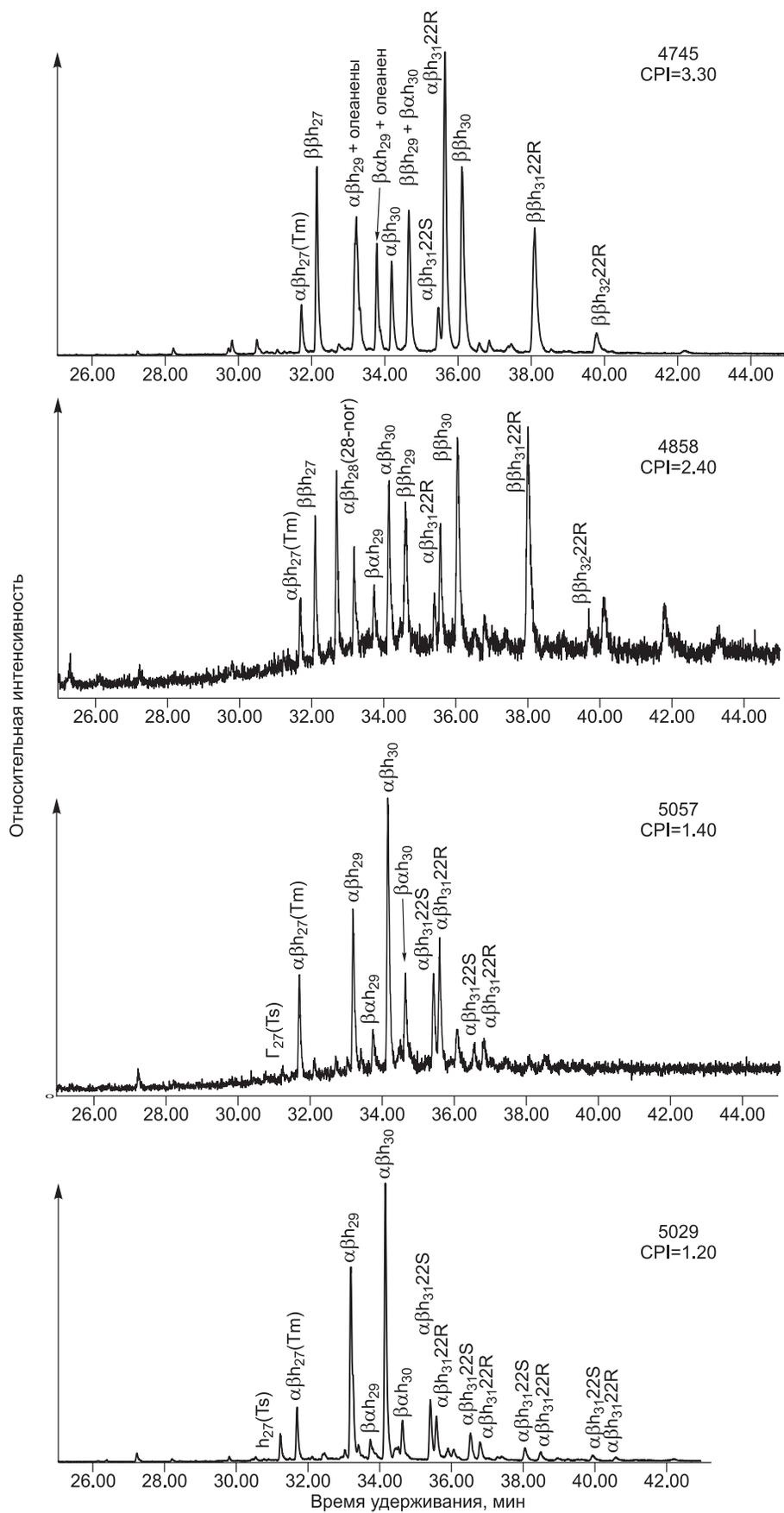


Рис. 3. Масс-хроматограммы по фрагментному иону m/z 191, демонстрирующие распределение гопановых углеводородов в зависимости от значений CPI.

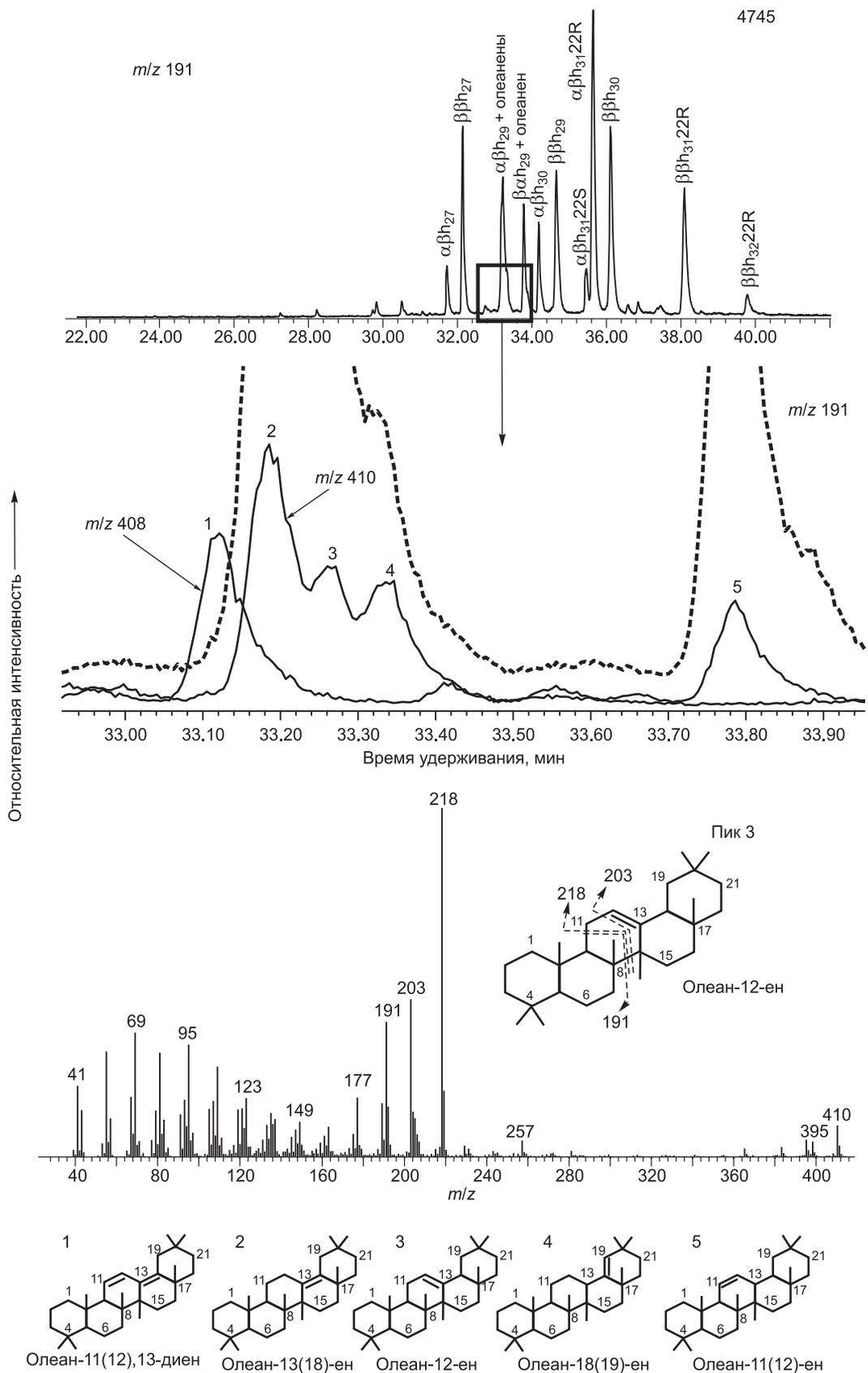


Рис. 4. Масс-хроматограммы по фрагментному иону m/z 191 и молекулярно-массовым ионам m/z 408 и 410 распределения гопанов и олеаненов в кайнозойских отложениях ИЗП.

Внизу: масс-спектр олеан-12-ена и структуры идентифицированных углеводородов.

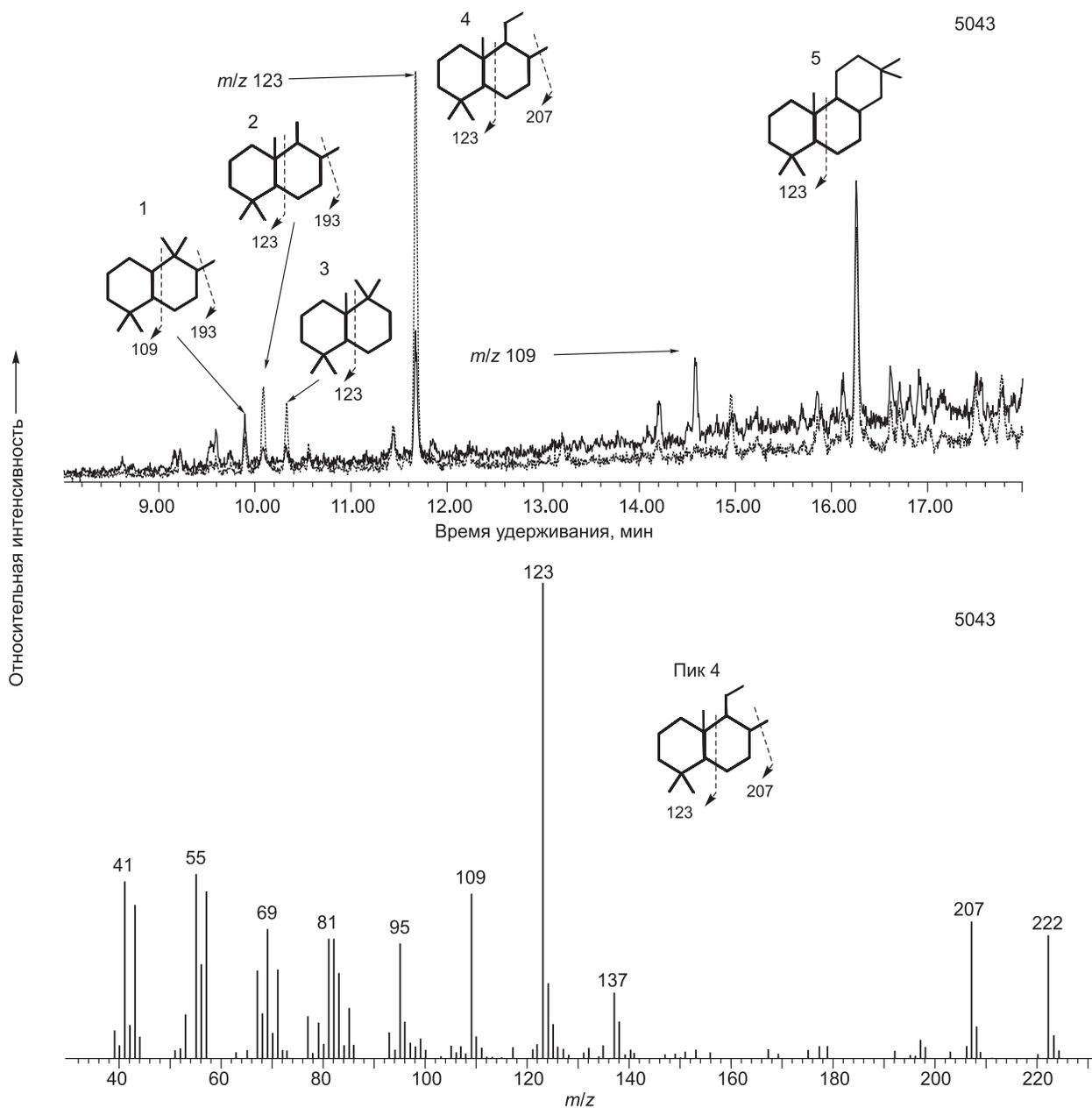


Рис. 5. Масс-хроматограммы по фрагментным ионам m/z 109 и 123 распределения сесквитерпанов в меловых отложениях ИЗП.

1 — 9-метил, 10-десметилдриман; 2 — дриман; 3 — 9-метил, 8-десметилдриман; 4 — гомодриман; 5 — 20-норизопимаран. Внизу: индивидуальный масс-спектр гомодримана.

структурами тесно связаны с терпенами высшей растительности, а два последних — с терпенами хвойных деревьев [Vendogaitis, 1974; Alexander et al., 1983]. Вместе с тем отдельные структуры сесквитерпанов и дитерпанов могут синтезироваться бактериями и морскими водорослями [Philp et al., 1981; Simoneit, 1986]. Поэтому пользоваться набором этих биометок как свидетельством исключительно наземного происхождения органического вещества в осадках рекомендуется с осторожностью [Peters, Moldowan, 1993].

Среди полициклических ароматических углеводородов в слабо преобразованных кайнозойских отложениях наибольшее распространение получил ретен (см. пик 16 на рис. 7 и пик 2 на рис. 8), возник-

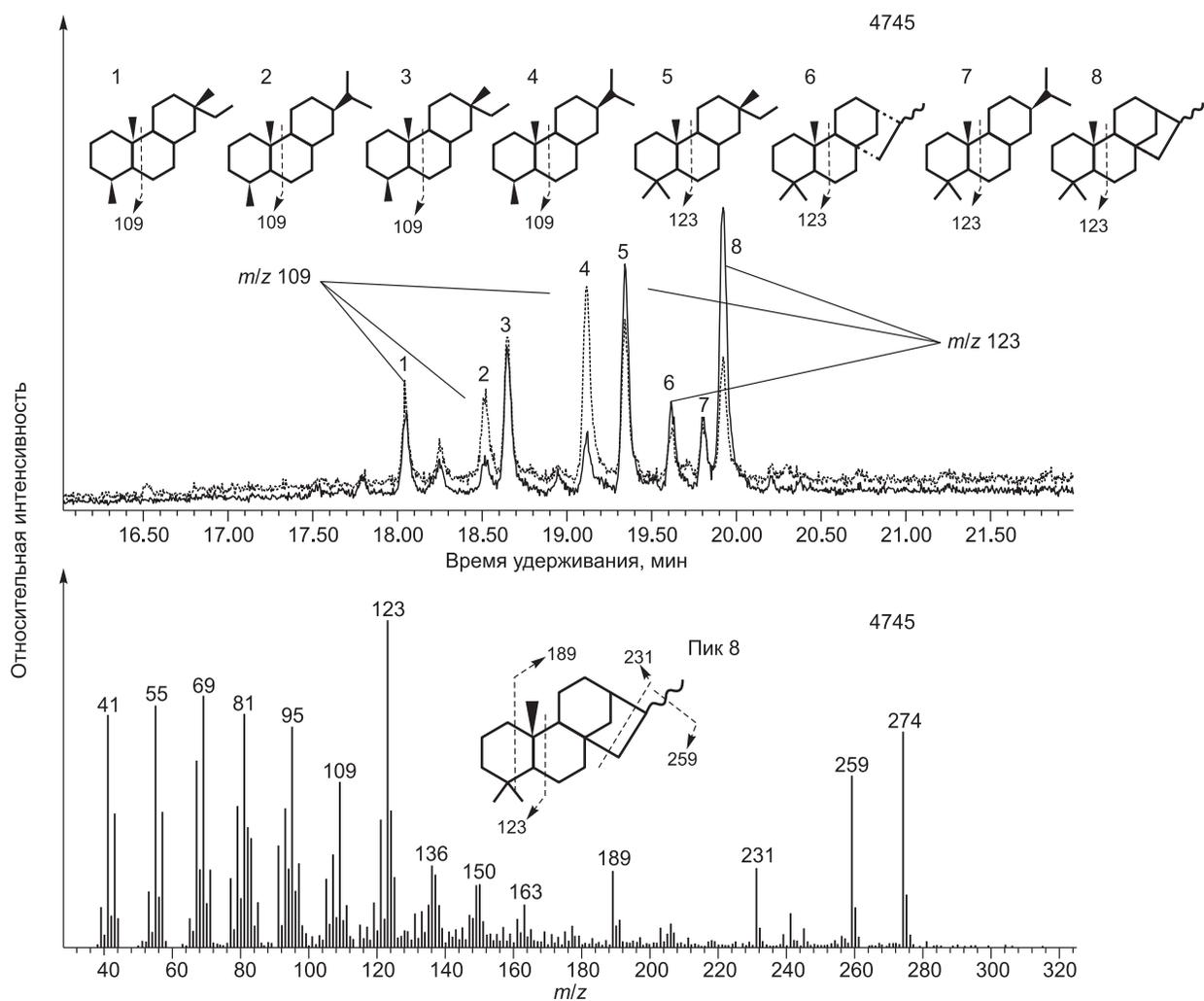


Рис. 6. Масс-хроматограммы по фрагментным ионам m/z 109 и 123 терпеновых углеводородов из неогеновых отложений ИЗП.

1 — 4β (H)-19-норизопимаран, 2 — 4β (H)-фихтелит, 3 — 4α (H)-19-норизопимаран, 4 — 4α (H)-фихтелит, 5 — изоимаран, 6 — филлокладан, 7 — абитан, 8 — кауран. Внизу: индивидуальный масс-спектр каурана.

ший в результате дегидрирования фихтелита. С ростом катагенетических преобразований в палеогеновых отложениях появляются первые три- и дизамещенные структуры фенантронов, и только на стадиях мезокатагенеза из керогена в растворимую часть переходит широкий комплекс полициклической ароматики (см. рис. 8).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все вышеизложенные геохимические критерии позволяют заключить, что ископаемое органическое вещество в пределах Индигино-Зырянского прогиба формировалось в условиях континентального осадконакопления и субокислительных обстановках диагенеза. Концентрации органического вещества в глинистых породах мела и кайнозоя варьируют весьма значительно, составляя в среднем для изученной коллекции 3.5 % (без учета двух «ураганных» проб). Появление и расцвет покрытосеменных растений в кайнозое сказались и на составе углеводородов-биомаркеров ископаемого органического вещества широким присутствием олеаненов. Судя по геохимическим параметрам биомаркеров, палеоген-неогеновые отложения так и не достигли термодинамических условий «главной зоны нефтеобразования» и, по-видимому, должны быть исключены из количественных оценок перспектив нефтеносности Индигино-Зы-

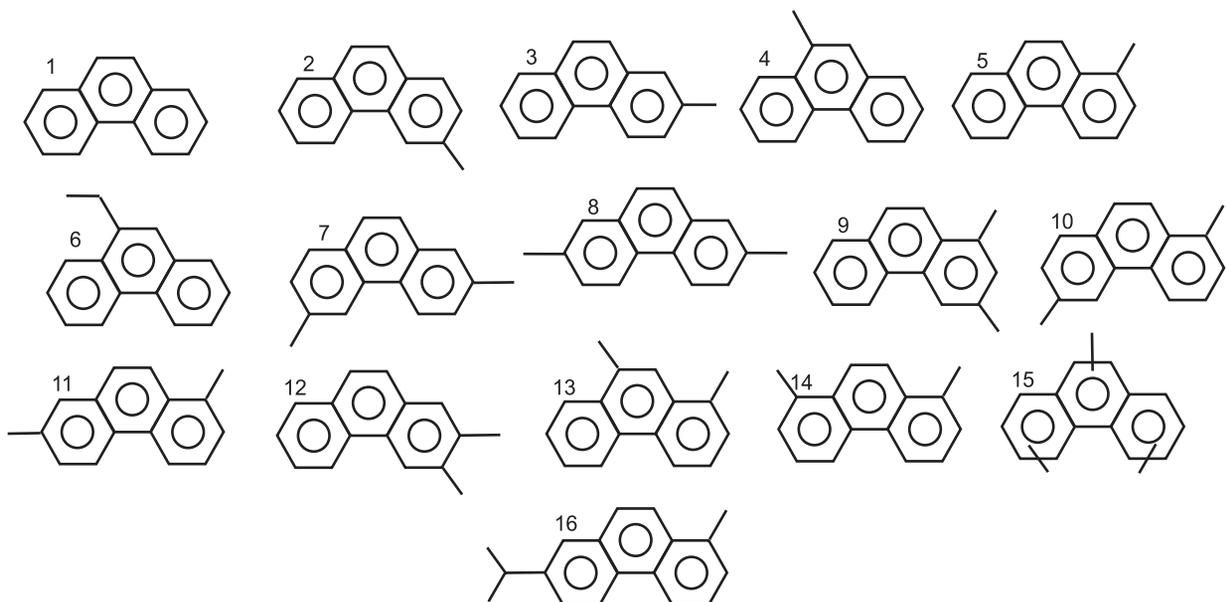
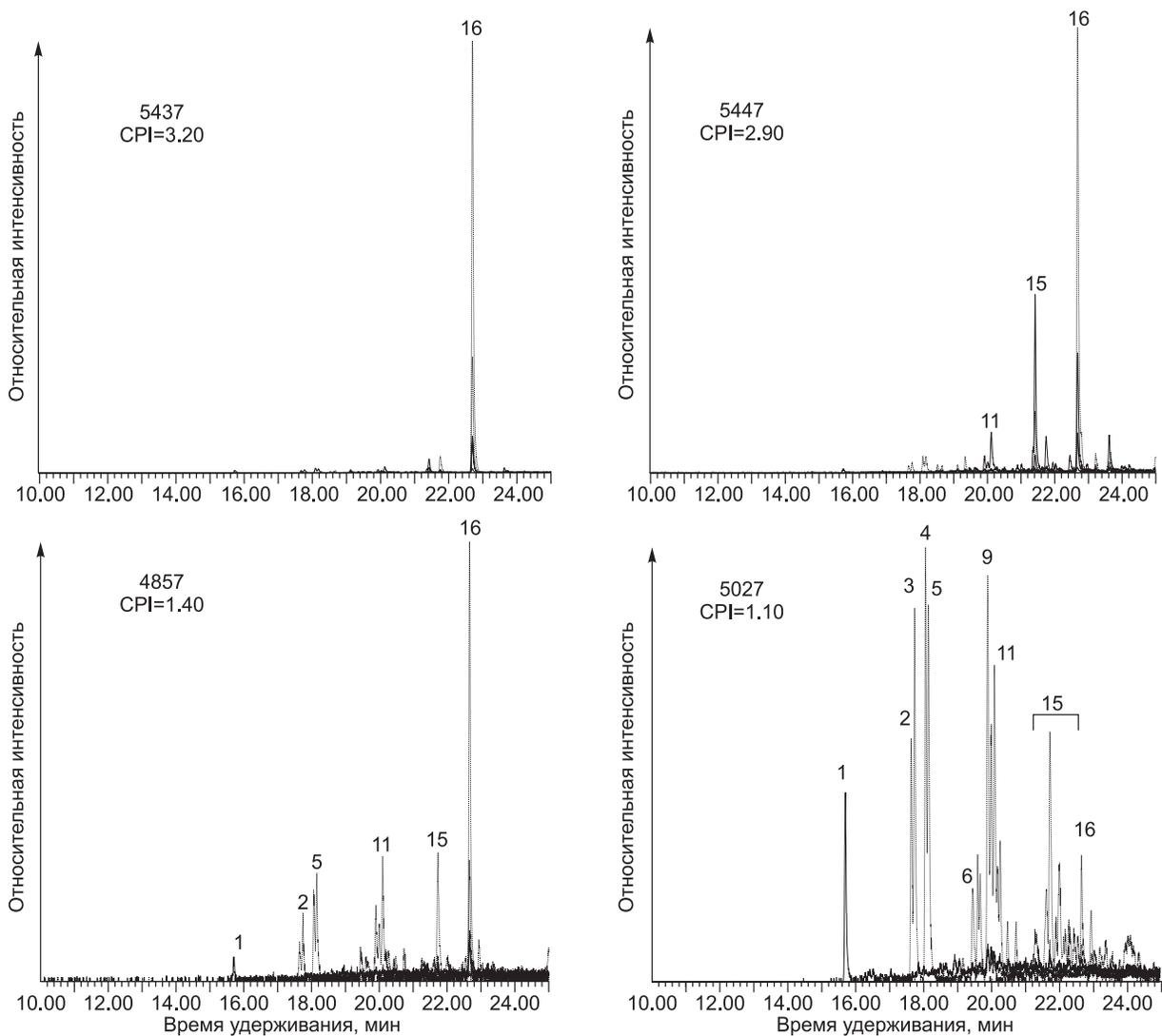


Рис. 7. Синтетические масс-хроматограммы (m/z 178 + 192 + 206 + 220 + 234) распределения фенантреновых углеводородов в зависимости от значений CPI в кайнозойских и меловых отложениях ИЗП.

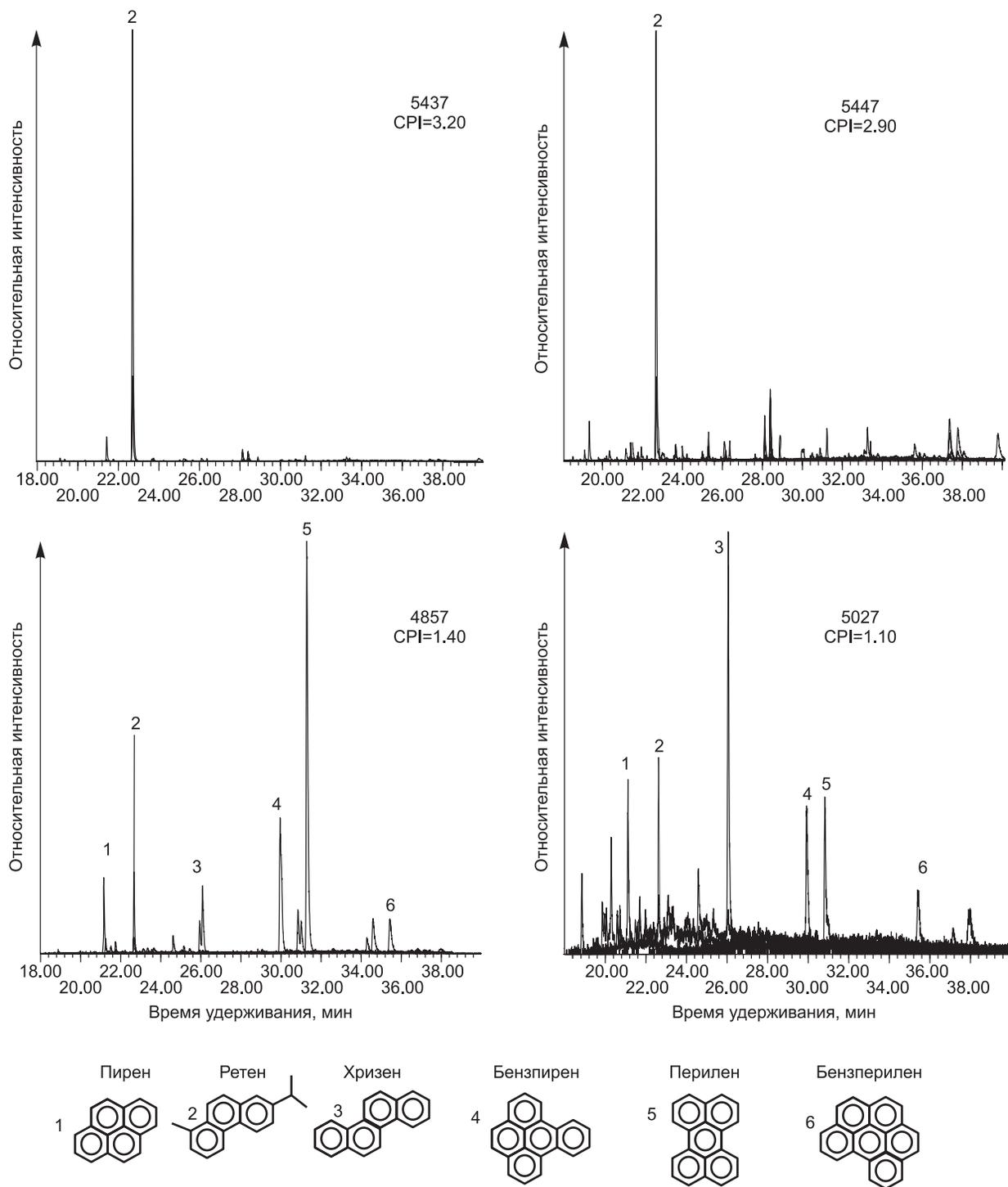


Рис. 8. Синтетические масс-хроматограммы (m/z 202 + 219 + 228 + 252 + 276 + 290) распределения полициклических конденсированных ароматических углеводородов в зависимости от значений CPI в кайнозойских и меловых отложениях ИЗП.

рянского прогиба. Вместе с тем кайнозойские глинистые толщи могут играть роль хороших изолирующих горизонтов для мигрирующих флюидов из более древних, в том числе меловых отложений.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ № 10-05-00705 «Эволюция молекул-биомаркеров органического вещества различных генетических типов на стадиях седиментогенеза и катагенеза».

ЛИТЕРАТУРА

Вассоевич Н.Б., Корчагина Ю.И., Лопатин Н.В., Чернышев В.В. Главная фаза нефтеобразования // Вестн. МГУ. Сер. геол., 1969, № 6, с. 3—27.

Гайдук В.В., Гриненко О.В., Имаев В.С. Перспективы нефтегазоносности Индигино-Зырянского прогиба / Геологические и экономические аспекты освоения нефтегазовых ресурсов Якутии, Якутск, ЯФ СО АН СССР, 1988, с. 85—91.

Гайдук В.В., Сюдюков И.Ш., Гриненко О.В., Имаев В.С. Строение и нефтегазоносность кайнозойского Индигино-Зырянского прогиба / Тектоника и нефтегазоносность Якутии. Якутск, ЯНЦ СО АН СССР, 1989, с. 75—87.

Иванов В.В., Семенов Г.А., Гаврилов Б.П. Литолого-битуминералогическая характеристика юрских и меловых отложений Индигино-Зырянского прогиба // Проблемы нефтегазоносности Северо-Востока СССР. Магадан, 1973, с. 108—129.

Каширцев В.А., Конторович А.Э., Москвин В.И., Данилова В.П., Меленевский В.Н. Терпаны нефтей озера Байкал // Нефтехимия, 2006, т. 46, с. 243—250.

Каширцев В.А., Конторович А.Э., Москвин В.И. Биомаркеры в органическом веществе палеогеновых отложений юга Западной Сибири (Омское Прииртышье) // Нефтехимия, 2008, т. 48, с. 269—276.

Конторович А.Э., Неручев С.Г. Катагенез рассеянного органического вещества и нефтегазообразование // Проблемы нефтегазоносности Сибири. Новосибирск, Наука, 1971, с. 51—69.

Конторович А.Э., Богородская Л.И., Липницкая Л.Ф. Рассеянные углеводороды в юрских отложениях Западно-Сибирской низменности // Докл. АН СССР, 1965, т. 162, № 2, с. 428—431.

Работнов В.Т., Хенвин Т.И., Фролов В.И. Масштабы газообразования в угленосных отложениях Индигино-Зырянского прогиба (Северо-Восток СССР) // Геология и разведка газовых и газоконденсатных месторождений: реф. сб. ВНИИЭгазпрома, 1974, № 4, с. 16—20.

Сюдюков И.Ш., Гайдук В.В. Историко-генетические предпосылки нефтегазоносности Индигино-Зырянского прогиба // Нефтегазоносность и вопросы освоения месторождений нефти и газа Якутии: сборник научных трудов. Якутск, 1990, с. 39—49.

Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефтей. М., Мир, 1981, 499 с.

Черский Н.В. Перспективы нефтегазоносности северо-востока Якутской АССР // Геология газовых месторождений, М., ГОСИНТИ, 1959, с. 26—62.

Чочиа Н.Г., Баранова З.Е., Вольнов Д.А. Перспективы нефтегазоносности Зырянского прогиба // Тектоника и нефтегазоносность востока СССР. Л., 1972, с. 133—150.

Alexander R., Kagi R., Noble R. Identification of the bicyclic sesquiterpenes, drimane, and eudesmane in petroleum // J. Chem. Soc., Chemical Communications, 1983, p. 226—228.

Bendoraitis J.G. Hydrocarbons of biogenic origin in petroleum-aromatic triterpenes and bicyclic sesquiterpenes // Advances in Organic Geochemistry. Edition Technip, Paris, 1974, p. 209—224.

Ekweozor C.M., Okogun J.I., Ekong D.E.U., Maxwell J.M. Preliminary organic geochemical studies of samples from the Niger Delta (Nigeria) // Chem. Geol., 1979, v. 27, p. 29—37.

Grantham P.G., Posthuma J., Baak A. Triterpanes in a number of Far-Eastern crude oils // Advances in Organic Geochemistry 1981 New York, J. Wiley and Sons, 1983, p. 675—683.

Otto A., Simoneit D.R.T. Chemosystematics and diagenesis of terpenoids in fossil conifer species and sediment from the Eocene Zeitz formation, Saxony, Germany // Geochim. Cosmochim. Acta, 2001, v. 65, p. 1715—1728.

Peters K.E., Moldovan J.M. The biomarker guide. New Jersey, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1993, 363 p.

Philp R.P., Gilbert T.D., Friedrich J. Bicyclic sesquiterpenoids and diterpenoids in Australian crude oils // Geochim. Cosmochim. Acta, 1981, v. 45, p. 1173—1180.

Riva A., Caccialanza P.G., Quagliaroli F. Recognition of 18 β (H)-oleanane in several crudes and Tertiary-Upper Cretaceous sediments. Definition of a new maturity parameter // Org. Geochem., 1988, v. 13, p. 671—675.

Saito H., Suzuki N. Distribution and sources of hopanes, hopanoic acids and hopanols in Miocene to recent sediments from ODP Leg 190, Nankai Trough // Org. Geochem., 2007, v. 38, p. 671—675.

Simoneit B.R.T. Cyclic terpenoids of the geosphere // Biological markers in the sedimentary record / Ed. R.B. Johns, New York, Elsevier, 1986, p. 43—99.

Ten Haven H.L., Rullkötter J. The diagenetic fate of taraxer-14-ene and oleanene isomers // Geochim. Cosmochim. Acta, 1988, v. 52, p. 2543—2548.

Whitehead E.V. The structure of petroleum pentacyclanes // Advances in Organic Geochemistry 1973 / Eds. B. Tissot, F. Biener, Editions Technip, Paris, 1974, p. 225—243.

Рекомендована к печати 15 декабря 2011 г.

А.Э. Конторовичем

Поступила в редакцию

22 августа 2011 г.