

DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/21_2018

УДК 550.4:552.578.061.32(571.51)

Баженова Т.К., Шапиро А.И., Васильева В.Ф.Акционерное общество «Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт» (АО «ВНИГРИ»), Санкт-Петербург, Россия, ins@vnigri.ru

АЛИФАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ НЕФТЕГАЗОМАТЕРИНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ И НАФТИДОПРОЯВЛЕНИЙ ЗАПАДА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Рассматриваются алифатические углеводороды – нормальные алканы и изопренаны – нефтегазоматеринских отложений и нафтидопроявлений рифея, венда кембрия из разрезов скважин и обнажений запада Сибирской платформы. Описываются катагенетические изменения фракции нормальных алканов; углеводороды син- и эпибитумоидов - в сравнительном плане. Устанавливается источник углеводородов эпибитумоидов.

Ключевые слова: алифатические углеводороды, нефтегазоматеринские отложения, нафтидопроявления, рифей, венд, кембрий, катагенез органического вещества, Сибирская платформа.

Изучение углеводородного (УВ) состава син - и эпибитумоидов запада Сибирской платформы региона в последние годы проводилось в рамках оценки УВ потенциала и его реализации с целью отдельного прогноза его нефте- и газоносности. На первом этапе (2011-2013 гг.) оценивалась территория междуречья рр. Подкаменной Тунгуски и Ангары (Байкитская антеклиза и Катангская седловина); на втором этапе (2014-2016 гг.) оценке подверглась вся территория Красноярского края в пределах Сибирской платформы. Исследовались алифатические УВ нефтегазоматеринских отложений рифея, венда, нижнего – среднего кембрия и нафтидопроявлений из разрезов 30 глубоких скважин Байкитской антеклизы, Катангской седловины, Ангарской зоны складок, южного борта Курейской (Тунгуской) и Присяяно-Енисейской синеклиз. Коллекция включала образцы из обнажений нефтегазоматеринских формаций рифея, нижнего-среднего кембрия и силура и битумных скоплений зоны идиогипергенеза (Туруханский и Игарский районы, Нижнеенисейский плакантиклинорий).

Исследования проводились на групповом и индивидуальном уровнях (нормальные (н-алканы) и изопреноидные алканы). Индивидуальный УВ состав изучался методом высокоэффективной газожидкостной хроматографии, состав насыщенных фракций битумоидов - на хроматографе Кристалл-5000.2 с использованием пламенно-ионизационного детектора, высокоэффективной кварцевой капиллярной колонки L - 30 м, d - 0,32 мм со слоем неподвижной жидкой фазы НР-1 0,25 мкл. Условия проведения анализа: начальная температура составляла 40°С, конечная - 300°С, скорость программирования - 5°С

в минуту, температура инжектора - 280°C, детектора - 290°C. Хроматограф снабжён компьютеризированной системой обработки аналитических данных. Определение относительного содержания УВ и расчёт геохимических показателей осуществлялись по площадям пиков по программе Хроматэк. Препаративное выделение хлороформного битумоида и его фракций проводилось по методике, принятой во ВНИГРИ для изучения рассеянного органического вещества (ОВ) горных пород и битумов. [Руководство по анализу..., 1966]

Весь массив исследований УВ состава включает: в разрезах скважин – 105 определений в синбитумоидах и 28 в эпибитумоидах; в обнажениях – 15 определений в синбитумоидах и 5 в эпибитумоидах.

Результаты исследований первого этапа (2011-2013 гг.) опубликованы в монографии «Эволюция нефтегазообразования и нефтегазонакопления на юго-западе Сибирской платформы» [Эволюция нефтегазообразования..., 2015]. В статье рассматривается весь массив данных.

Литологический облик изучаемых нефтегазоматеринских формаций – известняки и доломиты (последние преобладают), в разной степени глинистые; мергели и доломитовые мергели; в ванаварской свите V₁₋₂ и некоторых формациях рифея – аргиллиты и карбонатные аргиллиты. Наиболее распространённым типом нефтегазоматеринской породы рифея и венда Запада Сибирской платформы является **доломитовый мергель**. В разрезах венда степень глинистости в материнских породах уменьшается стратиграфически снизу вверх. В наиболее обогащённой сингенетичным ОВ – в составе вендских отложений – оскобинской свите отмечаются гнездовидные выделения ангидрита. В этой же свите впервые в морских нефтегазоматеринских отложениях встречены **обогащённые сингенетичным сапропелевым ОВ глинистые песчаники**. Прослои материнских пород в составе E₁₋₂ представлены глинистыми доломитами.

По биоценотическому составу ОВ материнских отложений рифея – венда – кембрия представляет собой альгопланктон (цианеи и акритархи), иногда с небольшой примесью альгобентоса, то есть относится к классу сапропелитов, подклассу альгосапропелитов (АС). Неокисленные в диагенезе разности ОВ диагностируются при концентрации $C_{нк} \geq 0,5\%$ на породу; при меньшей концентрации $C_{нк}$ (тот же биоценотический состав) ОВ относится к классу оксисорбосапропелитов (ОСС). Нефтегазоматеринскими породами (и формациями) являются разности с концентрацией $C_{нк} > 0,1\%$ для карбонатов и $> 0,2\%$ для глинистых пород (при средних грациях катагенеза).

Суммарная осреднённая доля УВ в синбитумоидах скважин для типа АС равна 54,96% (19,87–83,98%); для типа ОСС – 41,92% (11,30–68,30%). В каждом типе в целом более

высокими значениями отличаются синбитумоиды рифея и базальной ванаварской свиты венда. На этих стратиграфических уровнях, в отличие от оскобинской, катангской и собинской свит венда и относительно обогащённых ОБ прослоев в нижнем кембрии, материнские породы литологически более однородны и не содержат ангидрита.

Метаноафтеновая фракция (МНУВ) в тех же синбитумоидах в процентах на УВ в среднем для типа АС составляет 83,05% (51,30–95,30%); для типа ОСС - 77,08% (47,41–92,11%). «Возрастные» и литологические особенности для МНУВ те же, что и для суммы УВ. Доля МНУВ в УВ, синбитумоиде и ОБ в целом отвечает не только литологическим особенностям вмещающих ОБ пород, определившим трансформацию ОБ и соответственно долю и состав рождавшихся УВ в стадию диагенеза, но и степень катагенеза ОБ. Прежде чем рассмотреть какие-либо катагенетические изменения УВ фракции, необходимо уточнить: в силу возраста вмещающих отложений и соответственно современной и/или палеоглубины погружения вся исследованная коллекция располагается в интервале градаций катагенеза $МК_2^1$ – $АК_{2-3}$ (максимальные палеоглубины 2,4–5,5 км) и лишь единичные образцы попадают в интервал конца градации $МК_1$ (2,25–2,40 км). Во всём исследуемом интервале катагенеза доля МНУВ в УВ обоих типов ОБ никакой видимой тенденции не проявляет; единственно, что можно заметить, что немногочисленные значения МНУВ 90% и выше встречаются либо на «главном пике» главная фаза нефтеобразования (ГФН) (2,8–3,2 км; $МК_2^2$), либо в «суперостаточных» битумоидах на градациях $МК_4$ и выше (> 4 км). В то же время, доля

МНУВ в ОБ ($\beta_{C_{нк}}^{МНУВ} = \frac{\beta_{C_{к}}^{ХБА} \cdot \sum УВ^{ХБА} \cdot МНУВ}{10^4} \%$) в исследуемом интервале катагенеза испытывает явную тенденцию к снижению, что, естественно связано с эмиграцией УВ (рис. 1). В ГФН максимальные значения $\beta_{C_{нк}}^{МНУВ}$ - 6–7%. Глубже градации $МК_3$ (> 3,8 км) $\beta_{C_{нк}}^{МНУВ}$ - не выше 2%, а в апокатагенезе (> 4,4 км) - не выше 0,5%.

Среди идентифицированных УВ синбитумоидов ведущая роль принадлежит н-алканам с числом углеродных атомов C_{15} – C_{36} .

В незначительном количестве идентифицируются и низкомолекулярные н-алканы (до C_{14}), чаще - от 0 до 2,5%; в редких случаях - до 4–6%, что и понятно, так как образцы проходили экстракцию с отгонкой растворителя и сушку битумоидов до постоянного веса; в этом случае величина н-алканов до C_{14} генетического смысла не имеет. Изопренаны составляют незначительную часть идентифицированных УВ. В их составе преобладают УВ до C_{20} , в наибольших концентрациях – норпристан, пристан и фитан (C_{18} – C_{20}).

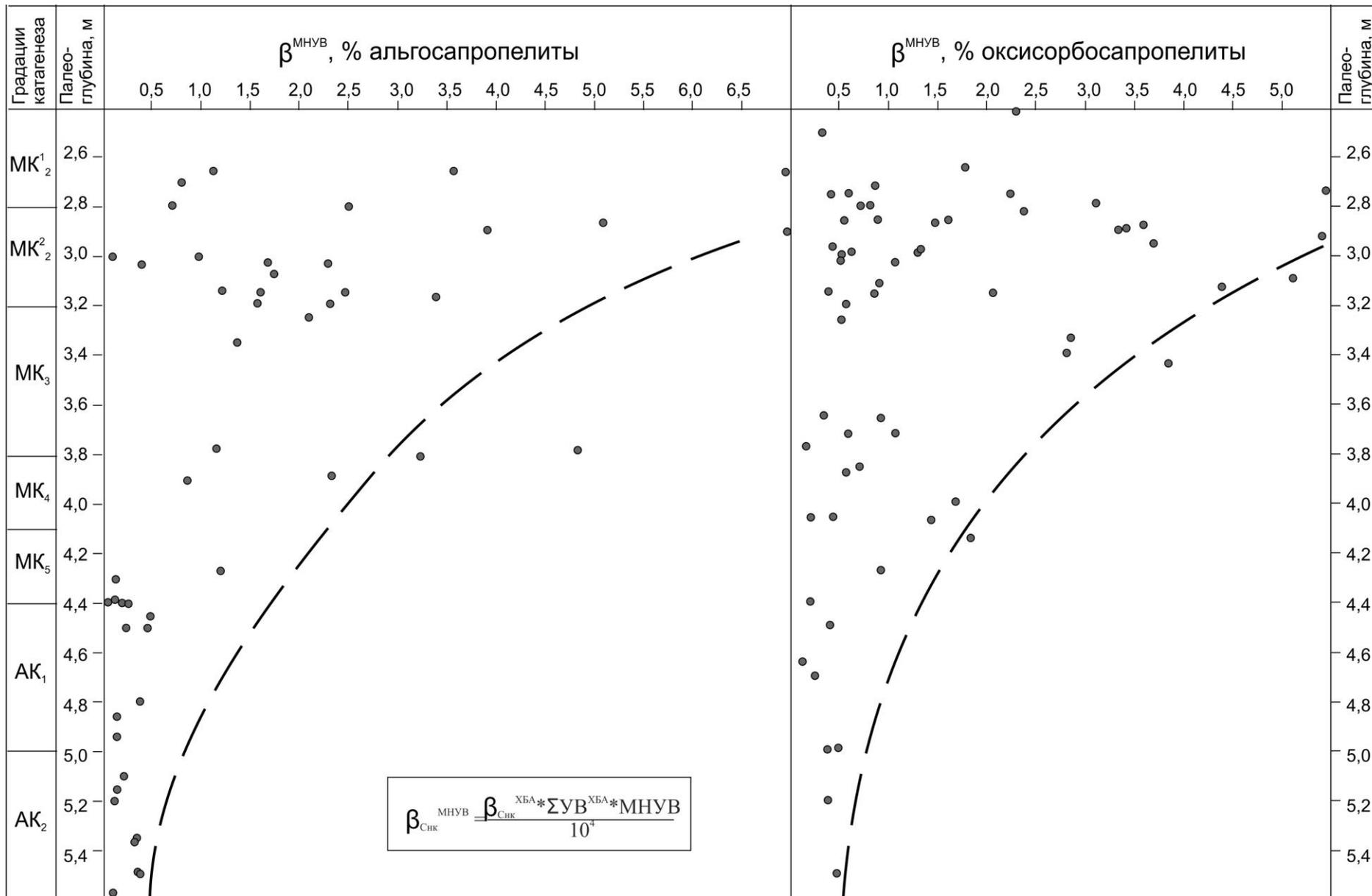


Рис. 1. Изменение значений $\beta^{\text{МНУВ}}$ (%) в катагенезе органического вещества (R, V, ϵ_{1-2} ; Сибирская платформа)

Коэффициент нечётности *n*-алканов в области $C_{15} - C_{19} < 1$; в области $C_{25} - C_{29} > 1$. Образцы *n*-алканов рифея и венда наряду с общими чертами имеют и различия. Основные различия между УВ рифея и венда – идентификация в составе разветвлённых алканов венда 12-, 13-монометилалканов, которые в рифейских УВ в видимых концентрациях не обнаруживаются. Существуют различия и в характере распределения *n*-алканов: в рифейских образцах наблюдается плавное распределение, «пилообразное» встречается реже; в образцах венда, напротив, преобладающим является «пилообразное» распределение. Характер распределения *n*-алканов практически не зависит от типа ОБ (то есть от концентрации $C_{нк}$ в породах) и почти не зависит от катагенеза. Только в рифейских образцах высокого катагенеза ОБ (МК₄–АК) явно преобладают чётные *n*-алканы (Чункинская скв. 282, Майгунская скв. 275). На рис. 2-4 представлены хроматограммы и гистограммы распределения *n*-алканов. На хроматограммах венда соответствующим значком показано присутствие 12-, 13-монометилалканов.

В табл. 1 представлены статистические характеристики основных геохимических параметров алифатических УВ синбитумоидов материнских отложений из разрезов скважин; выборка 105 обр.: рифей - 23 обр.; ванаварская свита ($V_{1-2} vn$) – 7 обр.; оскобинская и её аналог чистяковская свита ($V_2 osk-čst$) – 38 обр.; катангская + собинская свиты ($V_2 kt+sb$) – 32 обр.; $Є_{1-2}$ – 5 обр. Образцы разделены по типам (АС; ОСС). В случае малой выборки модельное значение параметра, естественно, отсутствует (см. табл. 1). Представлены следующие параметры: фракционный состав *n*-алканов (без фракций до C_{14});

$$\frac{\sum \text{изопр.}}{\sum \text{n-алкан.}}; \quad Ki = \frac{Pr+Ph}{nC_{17} + nC_{18}}; \quad Pr/Ph. \quad \text{Во фракционном составе n-алканов по}$$

статистическим параметрам на всех стратиграфических уровнях заведомо преобладает фракция $C_{15} - C_{20}$; при довольно широком разбросе значений статистические характеристики (\bar{x} ; me ; mo) имеют значение $< 50\%$ только в двух случаях из 10: в ОСС типе - $V_2 osk$ (me - 48,88%; mo - 45,03%) и ОСС типе - $Є_{1-2}$ (\bar{x} - 46,07%; me - 41,69%). Наибольшие значения характерны для рифея и ванаварской свиты $V_{1-2} vn$ ($> 60\%$), причём в обоих типах ОБ, в ОСС типе снижаются незначительно. В $V_2 osk$ и $V_2 kt+sb+tt$ значения \bar{x} , me , mo составляют в основном от 50 до 60%. Изменения основной фракции *n*-алканов по стратиграфическим уровням материнских отложений имеют ту же тенденцию, что и значения всей МН-фракции (в % на УВ), – о чём говорилось выше, – и, вероятно, то же объяснение.

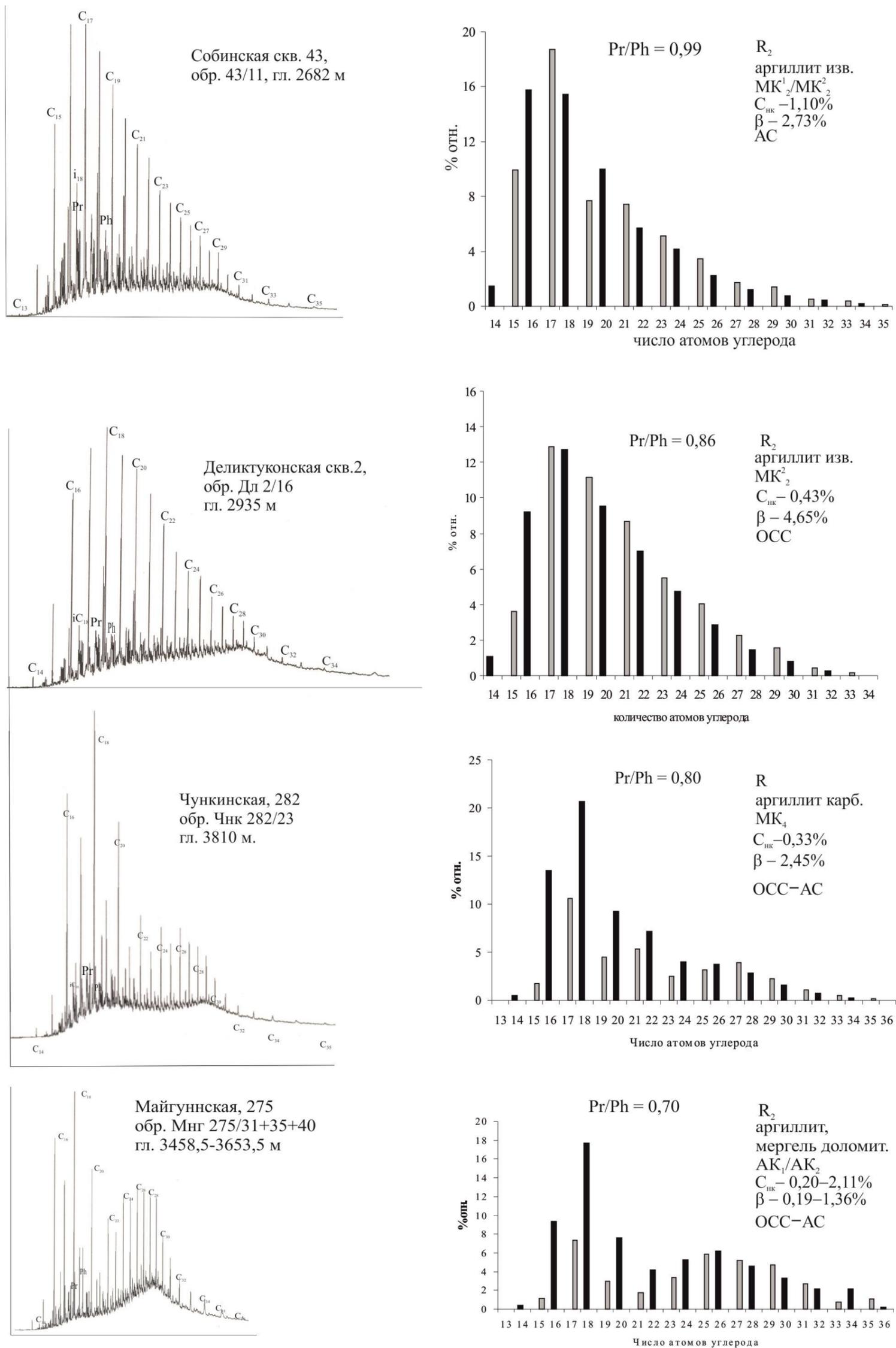


Рис. 2. Хроматограммы и молекулярно-массовое распределение нормальных алканов синбитумоидов рифейских отложений

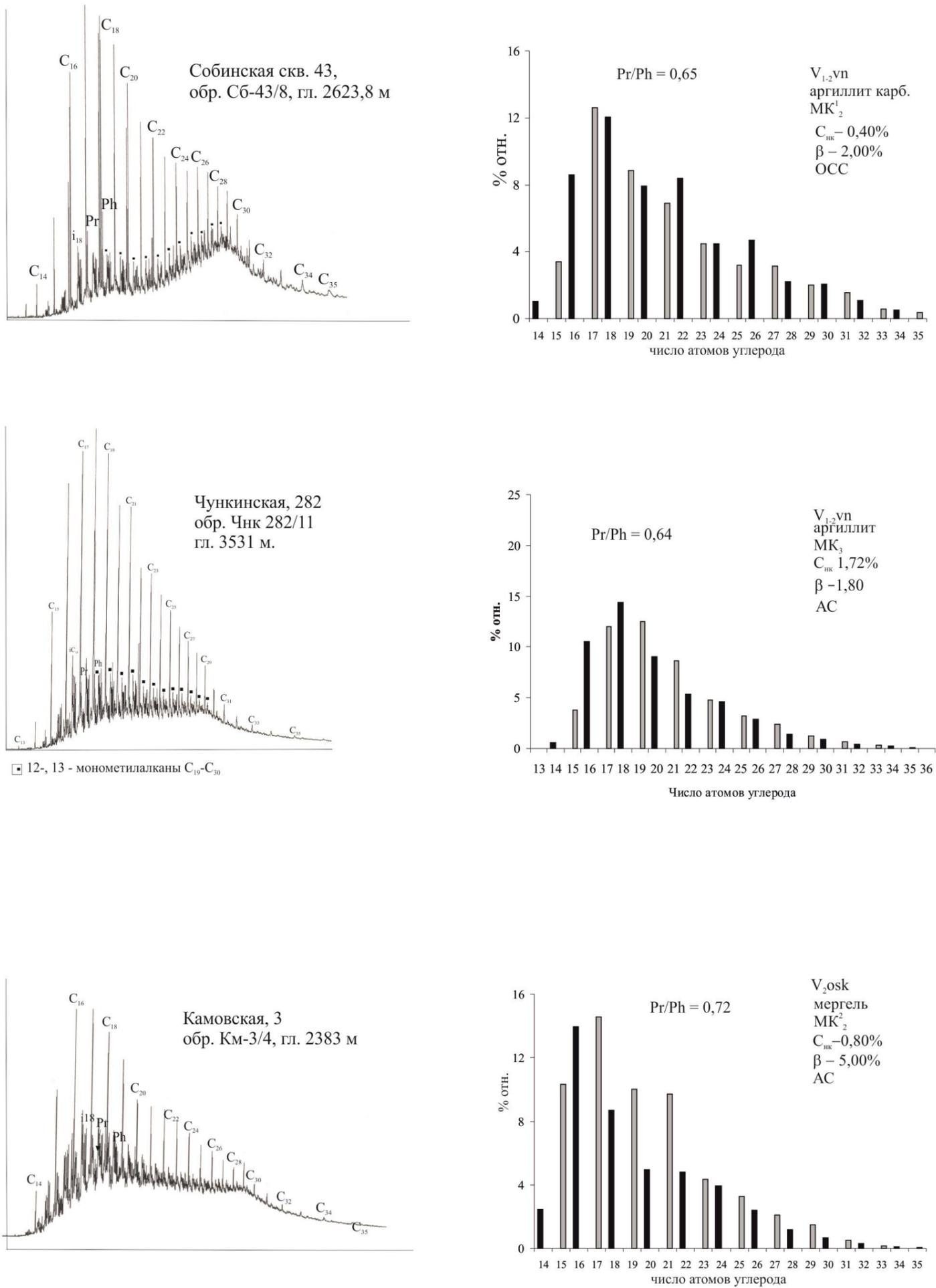


Рис. 3. Хроматограммы и молекулярно-массовое распределение нормальных алканов синбитумоидов вендских отложений

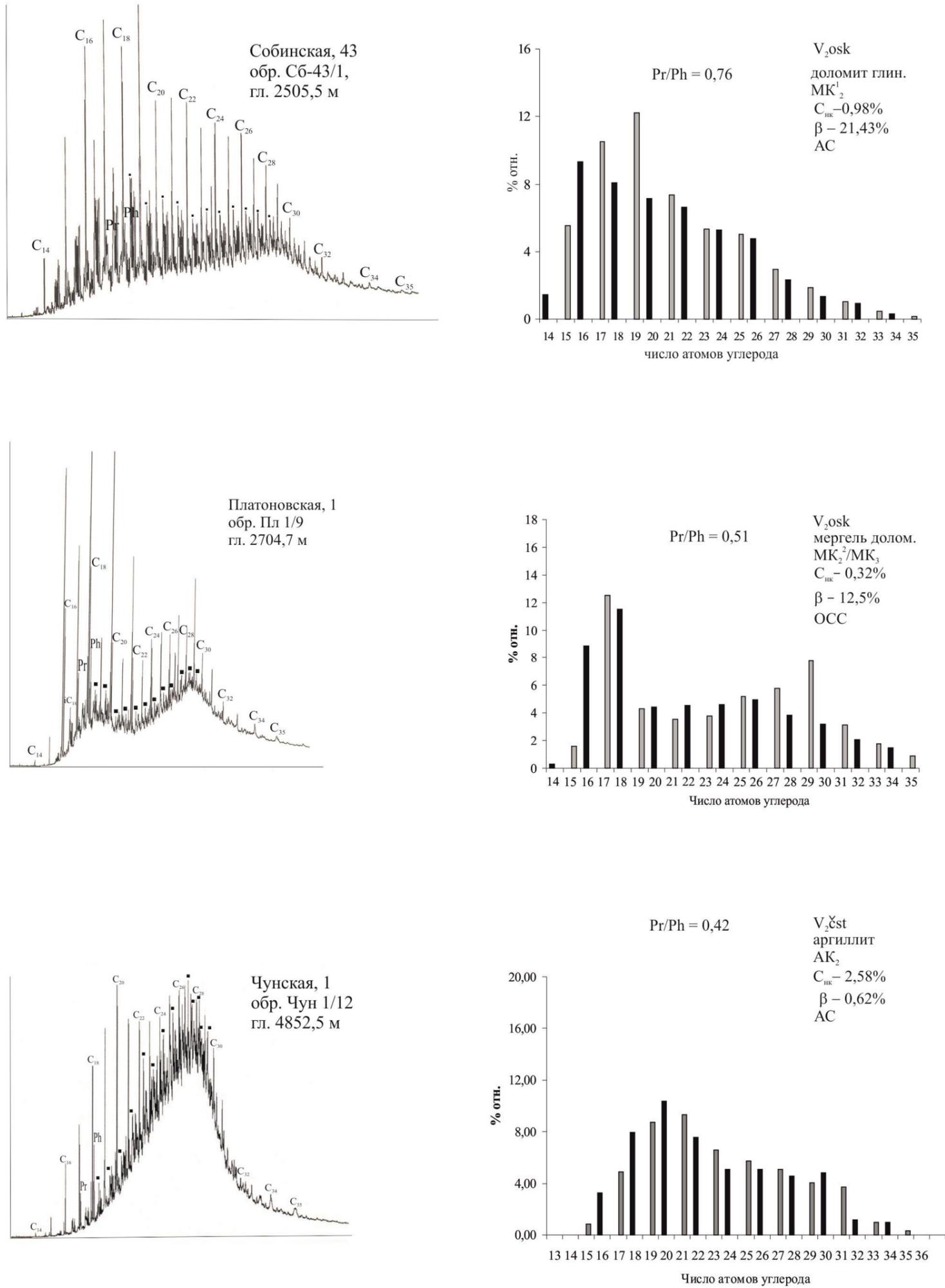


Рис. 4. Хроматограммы и молекулярно-массовое распределение нормальных алканов синбитумоидов вендских отложений

Таблица 1

Статистические характеристики основных геохимических параметров алифатических углеводородов синбитумоидов материнских отложений

Возраст, тип ОБ, кол-во обр.		Рифей (R)		Ванаварская свита (V _{1-2 vn})		Оскобинская свита (V _{2 osk})		Катангская + собинская + тэтэрская св. (V _{2 kt-sb})		Кембрий (C _{1os} ; C _{2lt})	
		АС-12 диапазон; \bar{x} ; m_e ; m_o	ОСС-11 диапазон; \bar{x} ; m_e ; m_o	АС-3 диапазон; \bar{x} ; m_e	ОСС-4 диапазон; \bar{x} ; m_e	АС-21 диапазон; \bar{x} ; m_e ; m_o	ОСС-17 диапазон; \bar{x} ; m_e ; m_o	АС-5 диапазон; \bar{x} ; m_e	ОСС-27 диапазон; \bar{x} ; m_e ; m_o	АС-2 диапазон; \bar{x}	ОСС-3 диапазон; \bar{x} ; m_e
Фракционный состав н-алканов, %	C ₁₅ -C ₂₀	27,64-80,59; 61,51; 64,47; 65,70	38,42-82,05; 60,36; 60,30; 63,99	50,05-68,15; 60,15; 62,24;	20,40-76,70; 55,90; 63,24	22,06-80,53; 54,65; 58,57; 56,32	22,51-90,43; 51,65; 48,88; 45,03	44,66-72,47; 55,81; 51,36	22,38-76,43; 55,28; 56,09; 55,91	47,53-63,69; 55,61	23,96-72,55; 46,07; 41,69
	C ₂₁ -C ₂₅	9,34-31,12; 19,56; 18,30; 15,60	13,38-34,82; 23,90; 22,33	19,96-30,71; 25,41; 22,56	19,12-27,44; 22,28; 22,33	10,28-55,54; 27,90; 26,67; 20,05	5,91-49,21; 27,68; 21,79; 16,05	13,62-30,01; 23,63; 24,95;	12,24-42,44; 27,08; 27,21; 23,16	18,09-20,88; 19,48	15,47-29,13; 24,48; 28,86
	C ₂₆ -C ₃₀	1,87-35,34; 13,40; 10,38	3,01-25,16; 12,21; 12,84	6,53-15,12; 10,16; 8,83	3,18-29,45; 12,93; 9,55	3,34-27,18; 12,82; 10,44; 8,02	2,40-28,19; 15,47; 15,08; 16,85	8,69-25,09; 15,92; 13,82	1,19-31,02; 12,97; 12,73; 17,23	7,84-27,10; 17,47	8,04-30,46; 20,40; 22,70
	> C ₃₀	0,06-9,03; 3,06; 2,66; 0,32	0,39-8,01; 2,75; 2,40; 2,17	1,14-3,29; 2,08; 1,81	0,76-28,13; 8,51; 2,57	0,50-8,72; 3,30; 2,60; 2,06	0,64-12,01; 4,73; 3,56; 3,63	2,52-4,91; 3,66; 3,59	0,10-8,89; 3,62; 3,48; 3,95	1,88-7,10; 4,49	2,85-15,30; 8,08; 6,09
$\frac{\sum \text{изопр.}}{\sum \text{н-алкан.}}$		0,08-0,28; 0,16; 0,14; 0,13	0,09-0,33; 0,18; 0,14; 0,14	0,10-0,11; 0,10; 0,10	0,07-0,38; 0,24; 0,20	0,08-0,31; 0,17; 0,17; 0,16	0,07-0,32; 0,17; 0,18; 0,16	0,12-0,28; 0,16; 0,13	0,08-0,34; 0,17; 0,15; 0,13	0,15-0,25; 0,20	0,06-0,30; 0,15; 0,10
$Ki = \frac{Pr + Ph}{nC_{17} + nC_{18}}$		0,09-0,72; 0,30; 0,26	0,12-0,71; 0,33; 0,23; 0,24	0,15-0,18; 0,16; 0,16	0,27-0,80; 0,55; 0,54	0,08-0,74; 0,39; 0,37; 0,36	0,17-0,66; 0,45; 0,47; 0,37; 0,65	0,19-0,65; 0,34; 0,29	0,16-0,97; 0,44; 0,32; 0,25	0,39-0,46; 0,43	0,26-0,58; 0,38; 0,29
Pr/Ph		0,60-1,34; 0,99; 0,93	0,53-1,43; 0,83; 0,83; 0,87	0,64-1,09; 0,84; 0,80	0,65-1,00; 0,83; 0,87	0,23-1,20; 0,79; 0,77; 0,81	0,37-1,27; 0,84; 0,88; 0,86	0,68-1,10; 0,89; 0,90	0,14-1,67; 0,83; 0,78; 0,58	0,88-1,09; 0,99	0,50-1,48; 0,87; 0,64

Значения наиболее высокомолекулярной фракции *n*-алканов (> C₃₀) колеблются в широких пределах (0,06–28,13%) без особой тенденции изменения по стратиграфическим уровням, хотя наибольшие средние значения отмечаются в типе ОСС ϵ_{1-2} (\bar{x} – 8,08%; *me* – 6,09%; при очень малой выборке – всего 3 обр.). Фракции C₂₁–C₂₅ и C₂₆–C₃₀ количественно занимают промежуточное положение. Общий разброс значений фракции C₂₁–C₂₅ составляет 5,91–55,54% (оба значения характеризуют оба типа ОВ оскобинской свиты V₂; во фракции C₂₆–C₃₀ – от 1,87 до 35,34% (оба значения АС тип рифея). Диапазон значений \bar{x} во фракции C₂₁–C₂₅ изменяется от 19,48% (АС ϵ_{1-2}) до 27,90% (АС V₂ osk); во фракции C₂₆–C₃₀ – от 10,16% (АС V₁₋₂vn) до 20,40% (ОСС ϵ_{1-2}). Зримой тенденции «возрастного» изменения этих «промежуточных» фракций не наблюдается, хотя значения в рифее и ванаварской свите V₁₋₂ в целом несколько ниже, чем в ангидритсодержащих свитах венда и кембрия.

Отношение $\frac{\sum \text{изопр.}}{\sum \text{n-алкан.}}$ во всей выборке колеблется от 0,07 до 0,38 (оба значения V₁₋₂

vn; ОСС тип). Диапазон средних значений изменяется от 0,10 до 0,24; преобладают значения 0,14–0,17. Возрастной тенденции не наблюдается.

На рис. 5-9 показан характер катагенетических изменений фракционного состава *n*-алканов по возрастам отложений и типам ОВ (в случаях, где количество определений обеспечивало катагенетические построения для обоих типов ОВ R и V₂ osk и для типа V₂ kt+sb). Для синбитумоидов рифея АС типа ОВ построения охватывают диапазон палеоглубин 2,6–5,0 км (МК₁¹–АК₁) (см. рис. 5). Выше уже говорилось, что фракция до C₁₄ по условиям её «получения» генетического смысла не имеет и во всех случаях её поведение можно не рассматривать. Её изменения варьируют в диапазоне от 2-7% на этапе ГФН до 0,5% в апокатагенезе (см. рис. 5). Значения этой фракции во всех случаях лишь «продвигают» положение кривой C₁₅–C₂₀, которое изменяется от 88% на уровне МК₁¹ с падением до 65% на МК₁¹; затем наступает возрастание до 82% в начале МК₃, затем постепенное снижение до 53% на границе АК₁/АК₂. Максимальное значение фракции C₂₆–C₃₀ соответствует концу мезокатагенеза и апокатагенезу. Фракция > C₃₀ возрастает в апокатагенезе. Вероятно, такое распределение фракций определяется опережающей эмиграцией более лёгких *n*-алканов, начиная с градации МК₃.

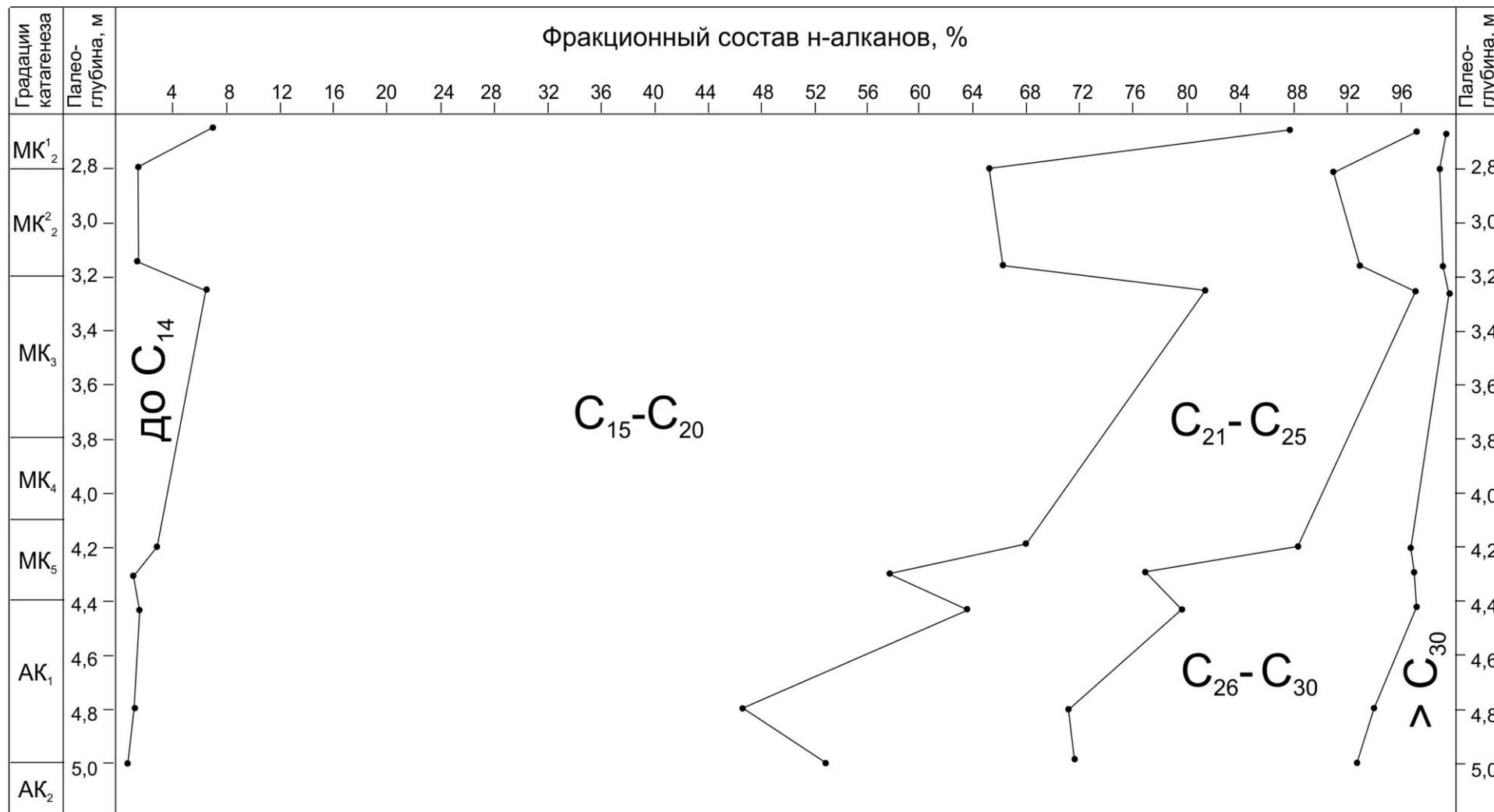


Рис. 5. Трансформация фракционного состава нормальных алканов синбитумоидов в катагенезе (рифей; альгосапропелиты)

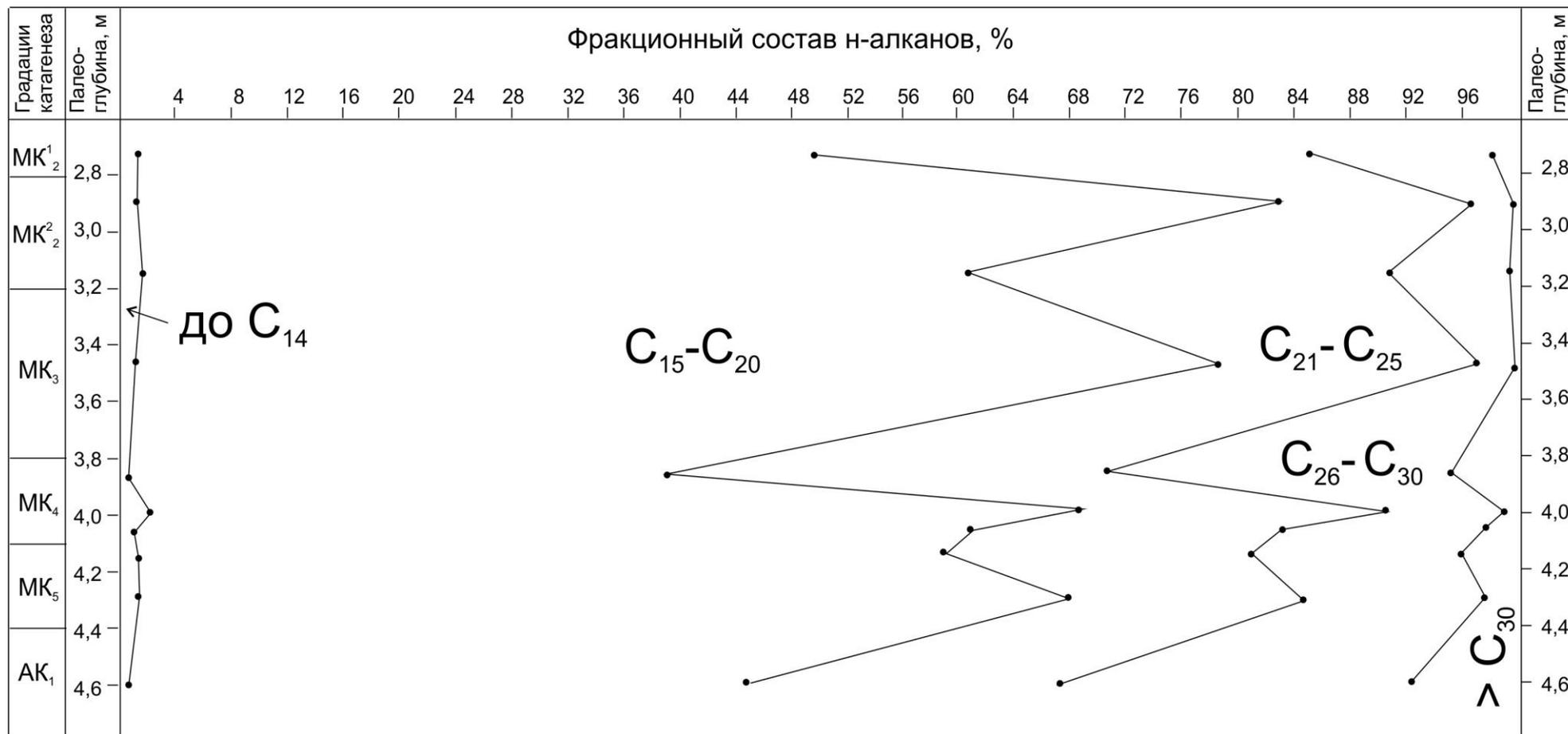


Рис. 6. Трансформация фракционного состава нормальных алканов синбитумоидов в катагенезе (рифей; оксисорбосапропелиты)

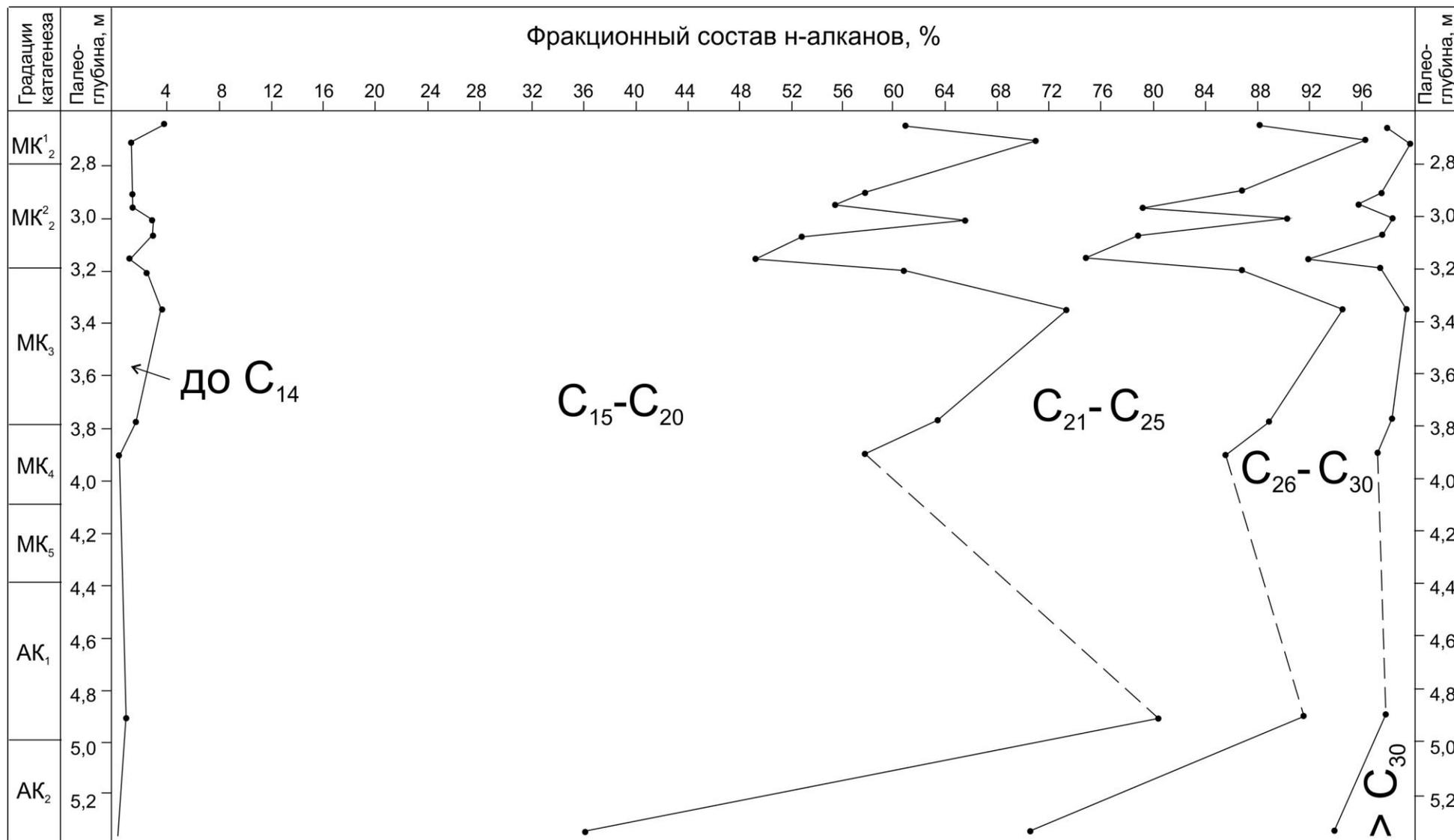


Рис. 7. Трансформация фракционного состава нормальных алканов синбитумоидов в катагенезе (V2osk; альгосапропелиты)

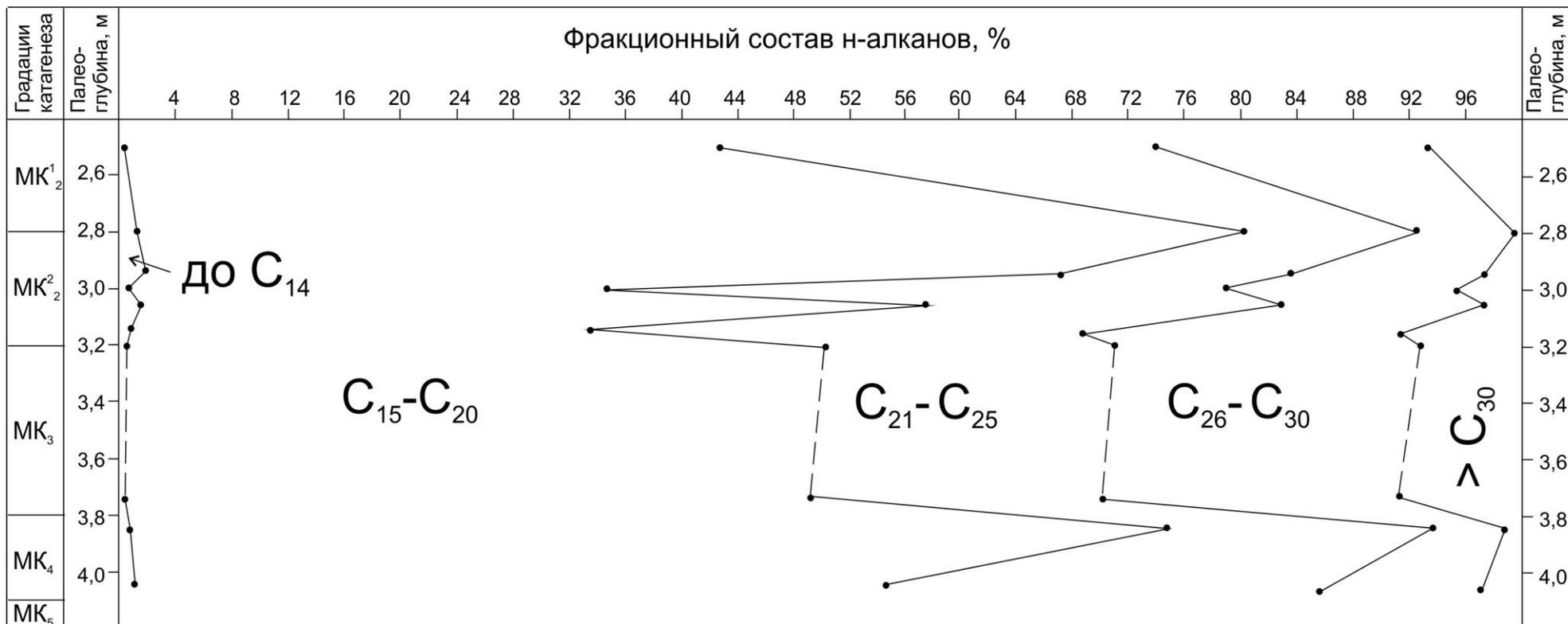


Рис. 8. Трансформация фракционного состава нормальных алканов синбитумоидов в катагенезе (V2osk; оксисорбосапроелиты)

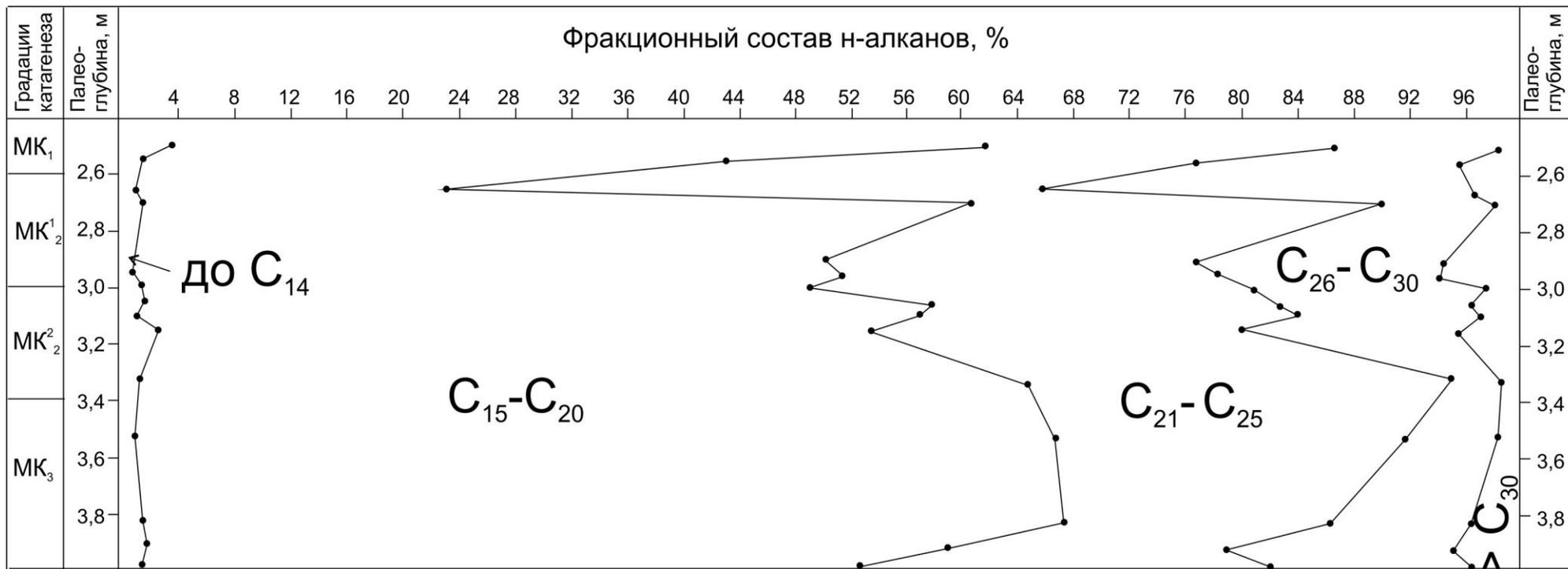


Рис. 9. Трансформация фракционного состава нормальных алканов синбитумоидов в катагенезе (V2kt - V2sb; оксисорбосапропелиты)

Характер катагенетических изменений *n*-алканов ОСС типа рифея (см. рис. 6; диапазон палеоглубин 2,75–4,6 км; конец МК₁¹–АК₁) на рисунке более дифференцированный, что обусловлено бóльшим количеством палеоглубинных значений. Отмечается параллельность кривых, фиксирующих положение фракции С₂₁–С₂₅, и возрастание фракции С₂₆–С₃₀ и > С₃₀ в апокатагенезе. В отличие от АС типа, в ОСС типе рифея проявилось резкое снижение С₁₅–С₂₀ от середины МК₃ до начала МК₄, но в АС типе на этом уровне отсутствуют значения. Глубже отмеченного снижения (до 39%) в ОСС типе наблюдаются два пика возрастания С₁₅–С₂₀ до 64–65% на МК₄–МК₅, что обусловлено восстановительными процессами остаточных битумоидов на фоне эмиграции.

Изменение фракционного состава *n*-алканов V₂ оск АС типа можно проследить от МК₁¹ (2,65 км) до МК₄ (3,9 км). Дифференцированная кривая на ГФН с общей тенденцией снижения С₁₅–С₂₀ от 70% (2,7 км) до 49% (3,15 км), затем пик на МК₃ (3,35 км), затем снижение до 58% на МК₄ (3,9 км) («наработка» более лёгких УВ на фоне эмиграции). Глубже, почти до конца АК₁ (4,9 км) значения отсутствуют. На глубине 4,9 км отмечается увеличение до 80%, а далее на АК₂ (5,35 км) – падение до 36%. На этом уровне до своих максимальных значений возрастают фракции С₂₁–С₂₅ (34%) и С₂₆–С₃₀ (24%). В типе ОСС исследованные образцы располагаются в интервале 2,5–3,2 км (МК₁¹–МК₁¹), затем в интервале 3,75–4,05 (конец МК₃–конец МК₄). Первый, ГФН интервал представляет собой три последовательно снижающихся пика значений С₂₁–С₂₀ – 80% (2,8 км); 56% (3,05 км) и 50% (3,2 км). Во втором интервале наблюдается единственный пик 75% (3,85 км; начало МК₄) (см. рис. 8). На рис. 9 отображены катагенетические изменения фракционного состава *n*-алканов самых молодых вендских свит – катангской и собинской в сумме. Все образцы относятся к типу ОСС; интервал палеоглубин – 2,3–3,8 км (конец МК₁–МК₃). Здесь отсутствуют данные по конечным градациям мезокатагенеза и апокатагенезу, но впервые проявлена градация МК₁, в нижней своей части первым ГФН-овским пиком генерации УВ значением С₁₅–С₂₀ 62%. На границе МК₁–МК₁¹ наблюдается характерный «эмиграционный» спад (до точки С₁₅–С₂₀ 23%). Ниже до конца МК₃ (3,8 км) система пиков от 58 до 67% с небольшими спадами до 50–54%. Эмиграция и генерация УВ фракции С₂₁–С₂₅ согласуются с таковыми фракции С₁₅–С₂₀, фиксируемые положением кривых (см. рис. 9).

Поскольку на рис. 5–9 фракции *n*-алканов различного молекулярного веса даются в относительных процентах, то положение и соотношение этих фракций на катагенетической шкале отражают процессы внутри самой совокупности *n*-алканов и никак не характеризует их количество в битумоиде, в ОВ или в породе. Однако изменение соотношений отдельных

фракций так или иначе обусловлено процессами эмиграции (в которых опережающая роль принадлежит более лёгким УВ – с одной стороны, а с другой – восстановительными процессами и генерацией лёгких УВ в остаточных битумоидах.

В табл. 1 также приводятся значения коэффициента $K_i = \frac{Pr + Ph}{nC_{17} + nC_{18}}$; диапазон конкретных значений по всей выборке изменяется от 0,08 (V_2 osk, тип АС) до 0,97 (V_2 kt-sb тип ОСС); диапазон средних значений \bar{x} по стратиграфическим подразделениям и типам ОВ – от 0,16 ($V_{1-2}vn$, тип АС) до 0,55 ($V_{2}vn$; тип ОСС).

Различие значений K_i по типам ОВ ярко проявлено в $V_{1-2} vn$ (в типе ОСС выше); в других подразделениях венда статистические значения K_i в типе ОСС ненамного выше, нежели в АС: в рифее разница значений K_i по типам ОВ не отмечается; в кембрии – при очень малой выборке – в типе АС – K_i выше, чем в ОСС (см. табл. 1).

В литературе можно встретить суждения, что величина K_i должна изменяться в процессе катагенеза в сторону уменьшения, что якобы обусловлено большей способностью к эмиграции изопренанов по сравнению с н-алканами с той же температурой кипения. На рис. 10 представлены эти изменения. В типах АС и ОСС эта тенденция не проявилась; не отмечается она и ни в одном из стратиграфических подразделений. Для рифея типа АС слегка намечается увеличение значений K_i с возрастанием катагенеза (см. рис. 10).

Отношение Pr/Ph по всей выборке образцов из скважин колеблется в диапазоне 0,14 (V_2 kt-sb; тип ОСС) – 1,67 (то же), то есть в V_2 kt-sb (тип ОСС) самый большой разброс значений этой величины, но в этом подразделении и типе и максимальная выборка (27 обр.). В каждом подразделении и типе ОВ максимальная величина составляет $\geq 1,00$, но все статистические параметры – \bar{x} ; m_e ; $m_o < 1,00$ (0,58–0,99) (см. табл. 1). Из всей выборки (105 обр.) значения ≥ 1 имеют 27 обр. (25,7%). Суждение о том, что отношение Pr/Ph > 1 указывает на окислительную обстановку в осадке, в данном случае не подтверждается, поскольку все породы, из которых извлекался битумоид, являются материнскими, тем более, что половина образцов со значениями Pr/Ph > 1 относится к типу АС с содержанием $C_{нк}$ в породах 0,5–5%.

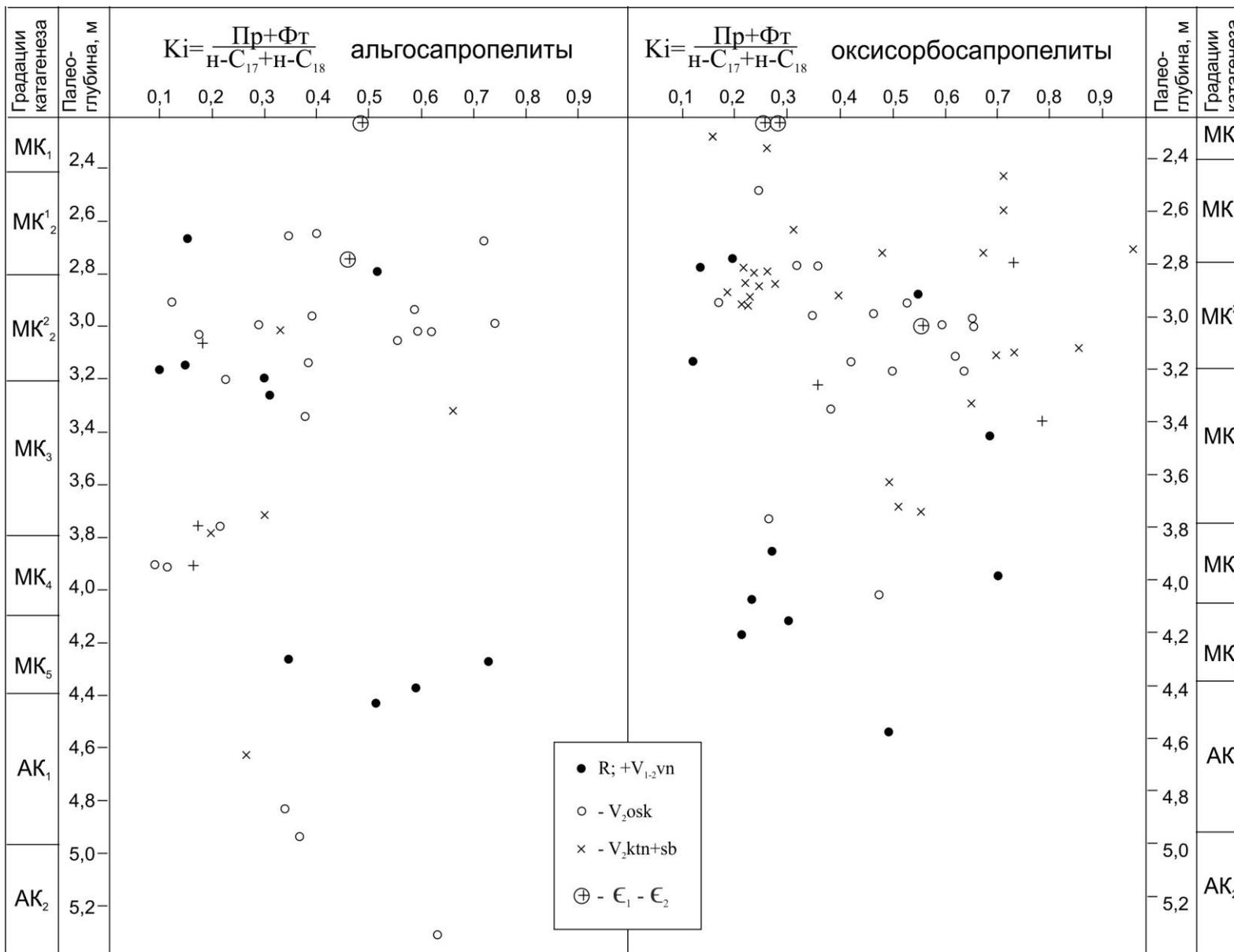


Рис. 10. Изменение параметра K_i с глубиной погружения отложений

Н-алканы эпилитумоидов изучены в 12 скважинах (табл. 2), всего - 28 образцов. Нафтидопроявления представляют собой либо насыщение коллектора – песчаника (V_{1-2vn} , V_2ktn) или кавернозного доломита (R , ϵ_{1os}), либо примазки по трещинам и заполнение отдельных каверн. Все обнаруженные битумы (аналитически эпилитумоиды), кроме одного, асфальтеновой жилки в рифее скв. Кординская 2 (палеогипергенез эпохи предвендского размыва), с позиций классификации (В.А. Успенский) представляют собой нефти, в той или иной мере окисленные после подъема керна; к тому же прошедшие через экстракцию, отгонку растворителя и сушку до постоянного веса. Суммарное содержание УВ в эпилитумоидах изменяется в широком диапазоне – 32,84–83,83%; содержание МНУВ в УВ - 51,88–99,03%. Диапазон н-алканов в них и характер их распределения практически идентичен таковым в синбитумоидах (рис. 11, 12). В подавляющей части эпилитумоидов обнаружены 12-, 13-монометилалканы, вне зависимости от возраста вмещающих пород, за исключением Собинской скв. 43 (V_{1-2vn}) и Придутьской скв. 1 (ϵ_{1os}). Вероятно, источник УВ для эпилитумоидов (как и для нефтяных месторождений Байкитской антеклизы и Катангской седловины) смешанный – и рифейский, и вендский, но в случае идентификации 12-, 13-монометилалканов вендские УВ преобладают, а в случае отсутствия этого показателя главенствует рифей.

Таблица 2

Фракционный состав нормальных алканов эпилитумоидов из разрезов скважин

Геол. возраст	Площади бурения, скважины	Кол-во обр.	Осреднённый фракционный состав н-алканов, %				
			До C_{14}	$C_{15}-C_{20}$	$C_{21}-C_{25}$	$C_{26}-C_{30}$	$> C_{30}$
R	Шушукская, 1 Абракупчинская, 1	3	0,86	60,72	28,42	7,90	2,10
V_{1-2vn}	Аргишская, 273; Шуншунская, 1; Собинская, 43; Придутьская, 1	7	1,01	60,82	26,87	8,60	2,70
$V_2 osk$	Кординская, 1; Салаирская, 2	3	1,17	42,67	36,52	15,62	4,02
$V_2 kt-sb$	Шушукская, 1; Абаканская, 2; Платоновская, 1; Придутьская, 3; Абракупчинская, 2	6	0,39	60,07	22,52	13,05	3,97
ϵ_{1os}	Аргишская, 273; Сейсморазведочная, 1; Придутьская, 3; Майгуннская, 275;	6	0,55	54,52	24,56	15,42	4,95
ϵ_{1os}	Придутьская, 1	3	–	1,27	7,87	53,22	37,64

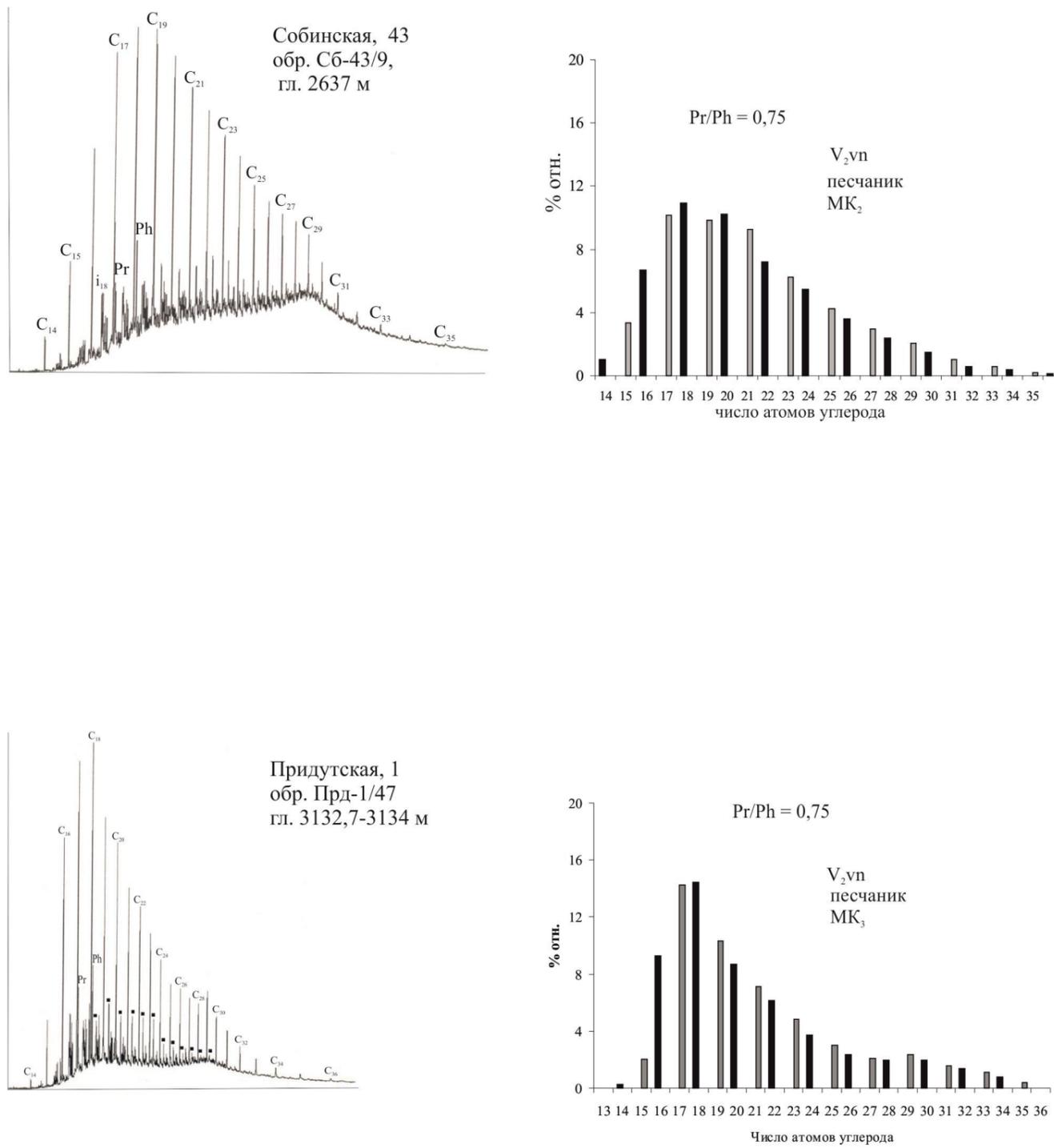


Рис. 11. Хроматограммы и молекулярно-массовое распределение нормальных алканов эпигенетических битумоидов вендских отложений

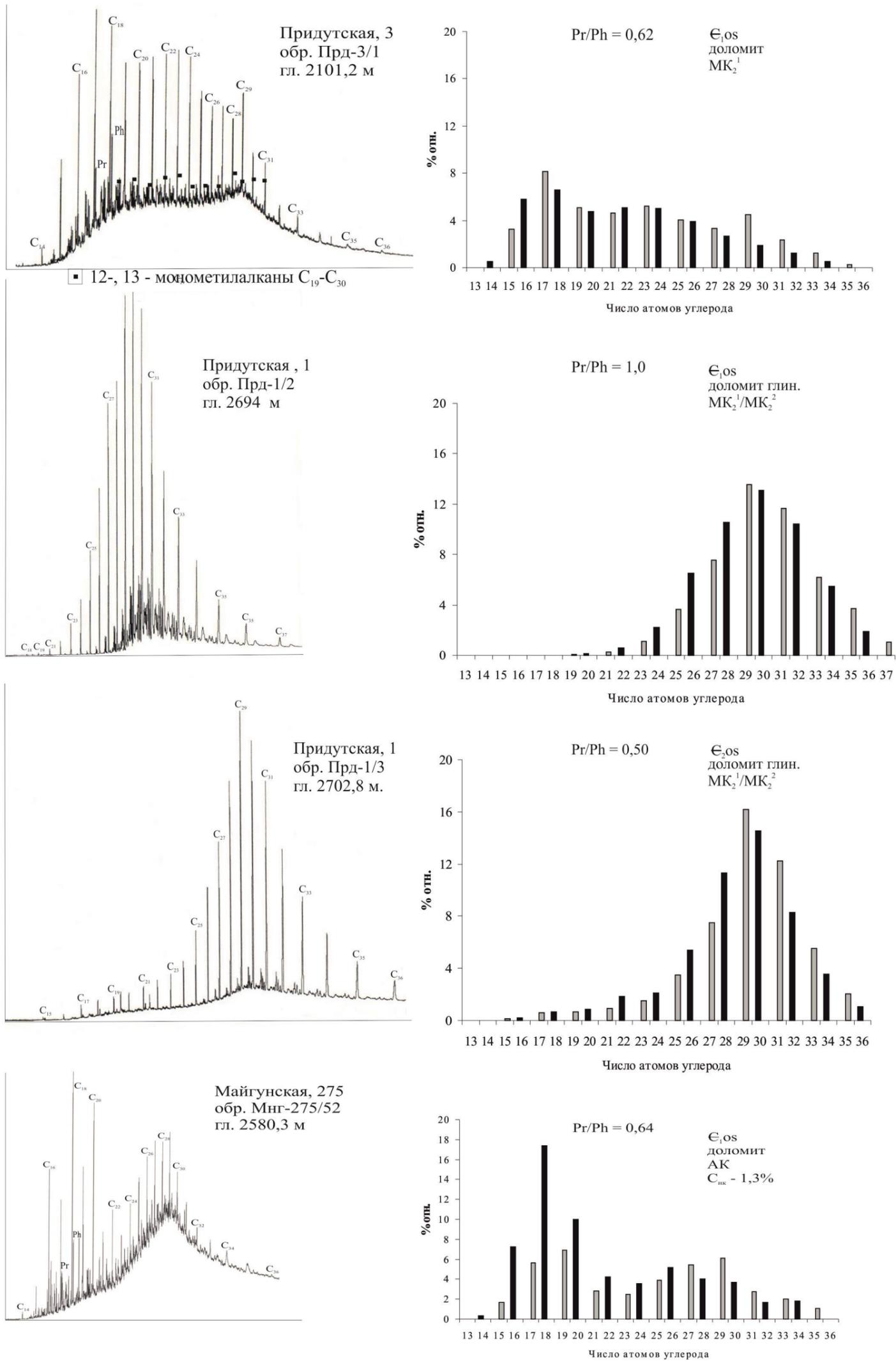


Рис. 12. Хроматограммы и молекулярно-массовое распределение нормальных алканов эпигенетических битумоидов кембрийских отложений

В табл. 2 представлен фракционный состав н-алканов, осреднённый по возрастам. Значение фракций, прошедших через осреднение, различались незначительно – на первые единицы процента. По всем скважинам и стратиграфическим подразделениям, за исключением ϵ_{10s} Придутской скв. 1, фракционный состав н-алканов эпибитумоидов практически идентичен таковому синбитумоидов. Как и в синбитумоидах, наиболее «лёгкими» низкомолекулярными оказываются н-алканы рифея и ванаварской свиты венда. В н-алканах ϵ_{10s} Придутской скв. 1 при отсутствии УВ до C_{14} содержание фракции C_{15} – C_{20} – всего 1,27%, УВ > C_{30} – 37,64%. Первенствует фракция C_{26} – C_{30} (53,22%) (см. табл. 2). Здесь осреднены значения по трём образцам и различия между ними несущественны. В двух образцах из трёх фракция C_{15} – C_{20} составляет < 1%. Интересно, что во всех трёх образцах не обнаружены изопренаны; 12-, 13-монометилалканы в них также не идентифицируются. При таком «тяжёлом» молекулярном составе н-алканов придутских эпибитумоидов ϵ_{10s} содержание УВ в них и МНУВ в УВ практически не отличается от прочих эпибитумоидов и синбитумоидов (УВ – 35,4 ÷ 83,02%; МНУВ – 35,09 ÷ 96,51%). В образце с наименьшим содержанием УВ и МНУВ состав н-алканов не отличается от такового в двух других образцах. Вмещающие породы придутских эпибитумоидов – пористо-кавернозные доломиты с включениями ангидрита, аналогичные вмещающим породам ϵ_{10s} других скважин (см. табл. 2). Возможно, специфика н-алканов ϵ_{10s} Придутской скв. 1 обусловлена особенностями выветривания в керне.

В начале статьи отмечалось, что массив данных из обнажений включает 15 определений УВ состава синбитумоидов материнских пород и 5 эпибитумоидов из залежей битумов. Коллекция материнских пород представлена стрельногорским разрезом среднего–верхнего рифея (р. Нижняя Тунгуска; стрельногорская, сухотунгусинская, деревнинская, нижнетунгусская свиты – 6 обр.); одним образцом шунтарской свиты R_3 (Ангаро-Питский синклинорий Енисейского кряжа): шумнинской свиты ϵ_{1-2} Игарского района (рр. Кулюмбе и Сухариха) – 6 образцов. Все образцы рифея и кембрия принадлежат подстадии апокатагенеза. Суммарное содержание УВ в синбитумоидах рифея составляет 11,59–43,52%; МНУВ – 88,24–93,62%; в синбитумоидах ϵ_{1-2} \sum УВ – 28,73–59,79%; МНУВ – 88,24–93,44%, то есть синбитумоиды отличаются очень высокой долей метано-нафтеновых УВ; полициклическая ароматика присутствует только в трёх образцах из тринадцати.

В рифее и кембрии присутствуют оба типа ОВ – АС и ОСС. Молекулярный состав н-алканов в обоих типах ОВ – от C_{13} – C_{14} до C_{36} – C_{37} . Молекулярно-массовое распределение н-алканов в рифее и кембрии «пилообразное», в типе АС – одномодальные с резко выделяющимися индивидуальными максимумами C_{16} , C_{18} , реже C_{17} (рис. 13, 14), в типе ОСС – либо двумодальные, либо без выраженной моды.

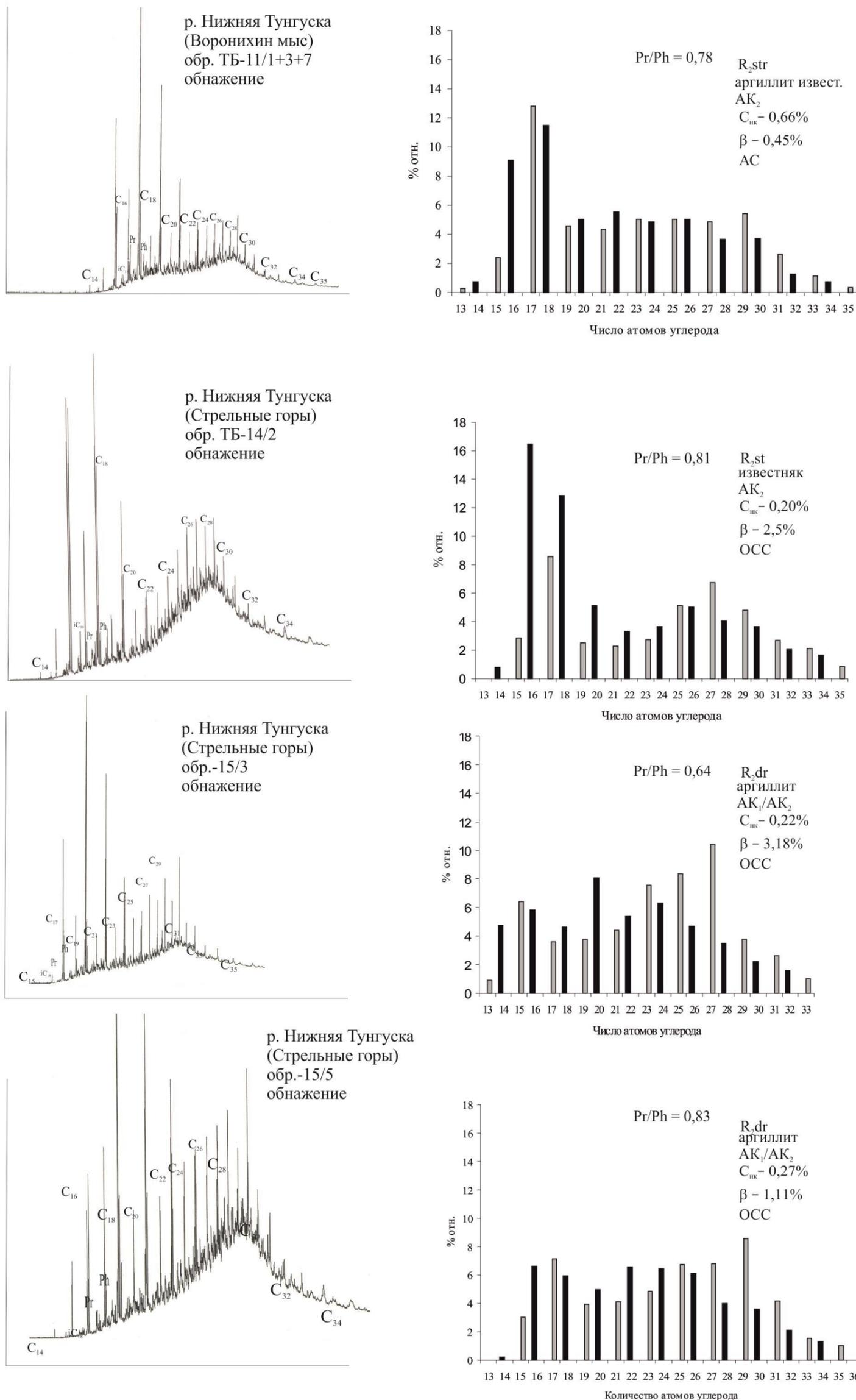


Рис. 13. Хроматограммы и молекулярно-массовое распределение нормальных алканов сингенетических битумоидов из обнажений рифейских отложений

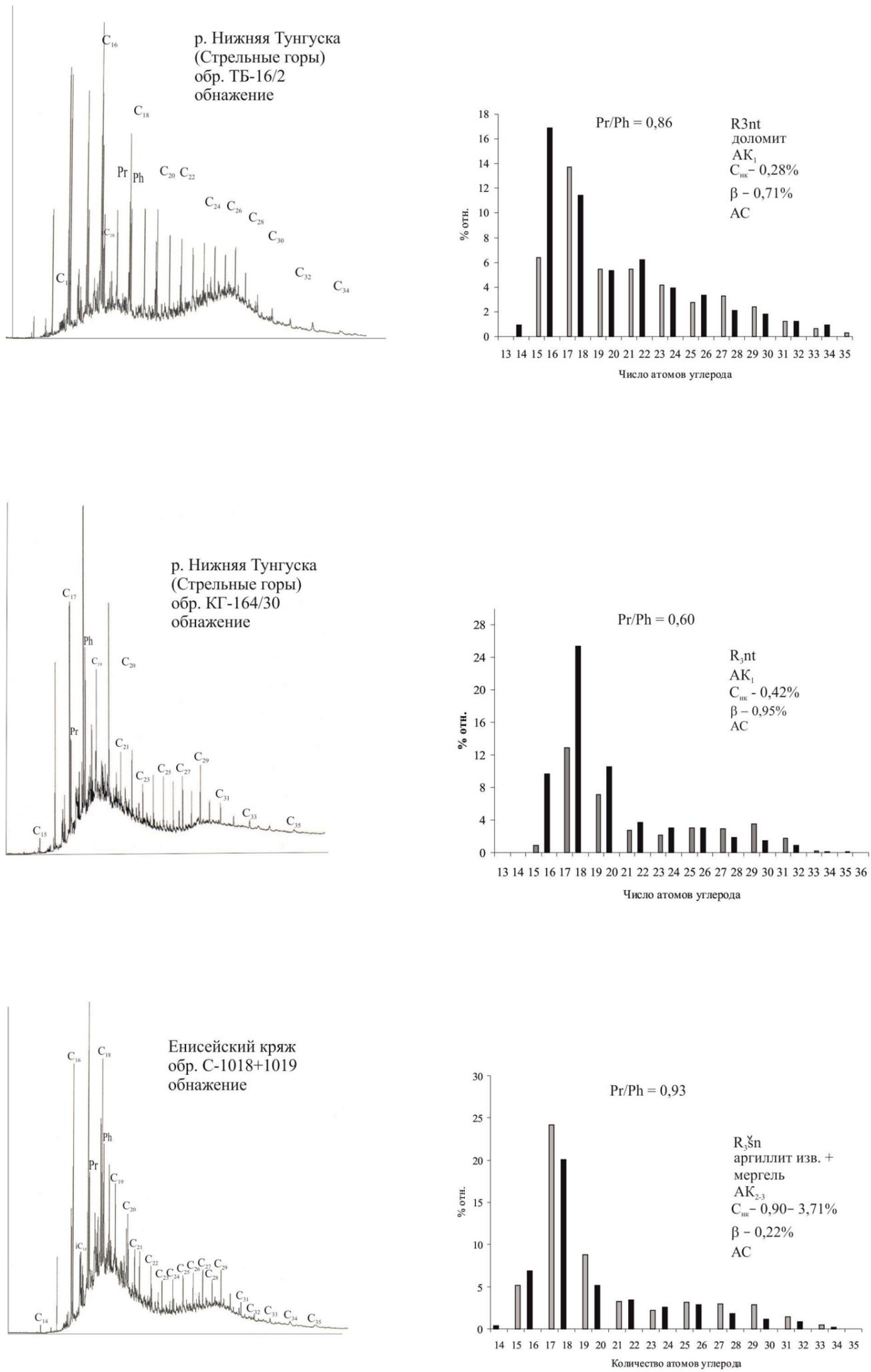


Рис. 14. Хроматограммы и молекулярно-массовое распределение нормальных алканов сингенетических битумоидов из обнажений рифейских отложений

В образцах рифея 12-, 13-монометилалканы не обнаружены; в образцах кембрия они идентифицированы в УВ р. Сухарихи, но не выявлены в УВ р. Куюмбе, где катагенез ОВ среди образцов кембрия наиболее высокий (АК₂). Поскольку разветвлённые алканы более подвижны, нежели нормальные, можно предположить, что отсутствие 12-, 13-монометилалканов в куюмбинских УВ связано с почти исчерпывающей эмиграцией при наиболее высоком катагенезе ОВ. Однако изопрены в этом образце обнаруживаются.

Величина $\frac{\sum \text{изопр.}}{\sum \text{н-алкан.}}$ равна 0,25, далеко не самая низкая в высококатагенезированных

образцах. В образце R₃ñ Енисейского кряжа при катагенезе ОВ АК₂₋₃ эта величина ещё выше – 0,40. Вероятно, причина видимого отсутствия 12-, 13-метилалканов в образце С₁₋₂ ñм р. Кулюмбе иная, не связанная с эмиграцией.

В табл. 3 представлен фракционный состав н-алканов образцов рифея и кембрия из обнажений с высококатагенезированным ОВ. Во всех образцах выявлен «полный набор» фракций. Несмотря на то, что все образцы зафиксированы на подстадии апокатагенеза, диапазон значений каждой фракции более широк по сравнению с н-алканами разрезов скважин. «Главная» фракция С₁₅–С₂₀ доминирует не во всех случаях; её диапазон в рифее – 28,90–70,27%, в кембрии – 37,84–57,40% (см. табл. 3). Значения фракции высокомолекулярных н-алканов (> С₃₀) не слишком велики: 3,00–10,43% в рифее и 0,56–7,84% в кембрии (см. табл. 3). Различия во фракционном составе, вероятно, прежде всего определяются различиями в катагенезе: хотя все образцы побывали в зоне апокатагенеза, разница их максимальных палеоглубин и соответственно палеотемператур – до 1,8 км (4,4–6,2 км) и 90°С (220–310°С). В апокатагенезе происходит восстановление жидких УВ и их последняя эмиграция. Большинство образцов рифея и кембрия представлены карбонатами, от гипергенеза их защищает травертиновая корка. В двойном образце аргиллитов деревнинской свиты рифея (R₂ dr), где минимальное содержание и фракции до С₁₄ (0,13%), и фракции С₁₅–С₂₀ (28,90%), не исключено влияние гипергенеза.

Таблица 3

Фракционный состав нормальных алканов синбитумоидов из обнажений (нефтегазоматеринские формации; рифей; кембрий; силур)

Номер п/п	Геол. возраст	Адрес	Кол-во образцов	Градация катагенеза ОБ	Вмещающая порода	Тип ОБ	Фракционный состав н-алканов, %					$\frac{\sum \text{изопр.}}{\sum \text{н-алкан.}}$
							до C ₁₄	C ₁₅ –C ₂₀	C ₂₁ –C ₂₅	C ₂₆ –C ₃₀	> C ₃₀	
1	R ₂ str	р. Нижняя Тунгуска; Воронихин мыс	1	AK ₁	аргиллит известков.	АС	1,02	45,40	24,77	22,69	6,12	0,13
2	R ₂ st	р. Нижняя Тунгуска; Стрельные горы	1	AK ₂	известняк слабоглинист.	ОСС	0,81	48,43	17,18	24,21	9,37	0,10
3	R ₂ dr	Там же	2	AK ₁ /AK ₂	аргиллиты слабоизвестков.	ОСС	0,13	28,90	29,03	31,21	10,73	0,13
4	R ₃ nt	Там же	2	AK ₁	доломиты глини.-извест.	ОСС	0,47	62,76	20,05	12,87	3,85	0,23
5	R ₃ šn	Енисейский кряж	1	AK ₂₋₃	мергель	АС	0,42	70,27	14,59	11,72	3,00	0,40
6	Є ₁₋₂ šm	р. Кулюмбе	1	AK ₂	известняк глинистый	АС	0,34	57,40	36,27	5,43	0,56	0,25
7	Є ₁₋₂ šm	р. Сухариха	1	AK ₁	известняк глинистый	АС	1,94	54,84	15,65	20,74	6,83	0,17
8	Є ₁₋₂ šm	Там же	2	AK ₁	мергель	ОСС	0,23	37,87	26,63	30,79	8,48	0,16
9	Є ₁₋₂ šm	Там же	2	AK ₁	мергель	АС	0,60	48,94	18,59	24,03	7,84	0,17
10	S ₁ l ²	р. Прав. Аттырдыа	2	ПК ₃ /МК ₁	горючий сланец	АС	0,36	77,10	15,58	4,64	2,32	0,13

Наряду с рифейскими и кембрийскими образцами Туруханского и Игарского районов (Нижнеенисейского плакантиклинория) УВ изучены в двух образцах нижнего силура (S_1^2) из разреза р. Правый Аттырдах, район сочленения Курейской (Тунгусской) синеклизы с Анабарской антеклизой. Образцы представляют собой горючие сланцы чёрного цвета ($C_{нк}$ 17,57–25,37%; градация катагенеза – начало МК₁. Углепетрографический состав ОВ в этих образцах, к сожалению, не был изучен, но судя по элементному составу керогена и сибитумоидов, а также по чёрному цвету при малом катагенезе ОВ, существенную долю в ОВ этих образцов составляют донные бурые водоросли Phaeophita. Суммарное содержание УВ в битумоидах невелико (13,16–32,56%), МНУВ – 34,20–50,77%, что также свидетельствует о не чисто альгопланктонной природе ОВ. Распределение н-алканов «пилообразное» одномодальное с индивидуальным максимумом C_{17} . Подавляющая часть во фракционном составе принадлежит фракции $C_{15}–C_{20}$ (70,80–83,39%; \bar{x} – 77,10%). «Необычно» низким содержанием отличается фракция $C_{26}–C_{30}$ (2,92–6,37%; \bar{x} – 4,64%); фракция $> C_{30}$ тоже мала (1,22–3,41%; \bar{x} – 2,32%). Существенная примесь донных бурых водорослей в ОВ должна увеличить количество высокомолекулярных н-алканов, но при малом катагенезе генерация УВ донными альгами, вероятно, ещё не осуществляется в полной мере. Отношение пристан/фитан в УВ $S_1^2 > 1$: 1,08–1,56.

УВ состав вторичных битумоидов (эпибитумоидов) изучен в битумных залежах р. Сухой Тунгуски (Большесухотунгусинская антиклиналь, нижнетунгусская свита R_3 и платоновская свита V_2) и р. Нижней Тунгуски (гребневидная антиклиналь у Вороновского разлома), костинская свита ϵ_{1-2}). Геологический возраст и состав вмещающих пород, условия залегания битумов, их классификационная принадлежность и фракционный состав н-алканов отражены в табл. 4.

Битумные залежи р. Сухой Тунгуски с поверхности представлены асфальтитами с низким суммарным содержанием УВ (10,36–18,78%); доля МНУВ в УВ – относительно высокая (64,66–67,22%); полиароматические УВ отсутствуют. Распределение н-алканов – плавное, одномодальное; групповой максимум в обоих образцах $C_{20}–C_{24}$ (рис. 16). Во фракционном составе н-алканов максимум в обоих случаях представляет фракция $C_{21}–C_{25}$ (55,62–66,68%); фракция до C_{14} в одном случае отсутствует (R_{3nt}), в другом – 0,18% ($V_2 pl$); фракция $> C_{30}$ невелика 1,19–3,12% (см. табл. 4); $\frac{\sum \text{изопр.}}{\sum \text{н-алкан.}}$ – 0,28–0,40; пристан/фитан 0,04–0,09; 12-, 13-монометилалканы не обнаружены.

Таблица 4

Фракционный состав нормальных алканов эпибитумоидов из битумных залежей зоны идиогипергенеза

Геол. возраст вмещающих отложений	Геологические условия залегания битумов	Фракционный состав n-алканов, %					Классификационная принадлежность (по В.А. Успенскому)
		до C ₁₄	C ₁₅ –C ₂₀	C ₂₁ –C ₂₅	C ₂₆ –C ₃₀	> C ₃₀	
R _{3nt} нижнетунгусская свита	р. Сухая Тунгуска; ядро Большесухотунгусинской антиклинали; заполнение трещин в биогермных известковых доломитах	–	22,15	66,68	9,98	1,19	асфальтит
V ₂ p ₁ платоновская свита	р. Сухая Тунгуска; западное крыло той же антиклинали; заполнение трещин и пор в водорослевых доломитах	0,18	32,17	55,62	8,91	3,12	асфальтит
Є ₁₋₂ kst костинская свита	р. Нижняя Тунгуска, выше Воронихина мыса; западное крыло Голаерской антиклинали; насыщение скрытых трещин в доломитах на контакте с дайкой долерита	0,33	53,01	28,05	14,22	4,39	окислен. нефть
Є ₁₋₂ kst костинская свита	р. Нижняя Тунгуска у Вороновского разлома; насыщение пор, каверн и трещин в доломитах	4,19	32,94	34,73	28,14	–	асфальтит
Є ₁₋₂ kst костинская свита	То же с меньшей степенью выветривания	0,04	19,58	30,81	37,10	12,47	асфальт

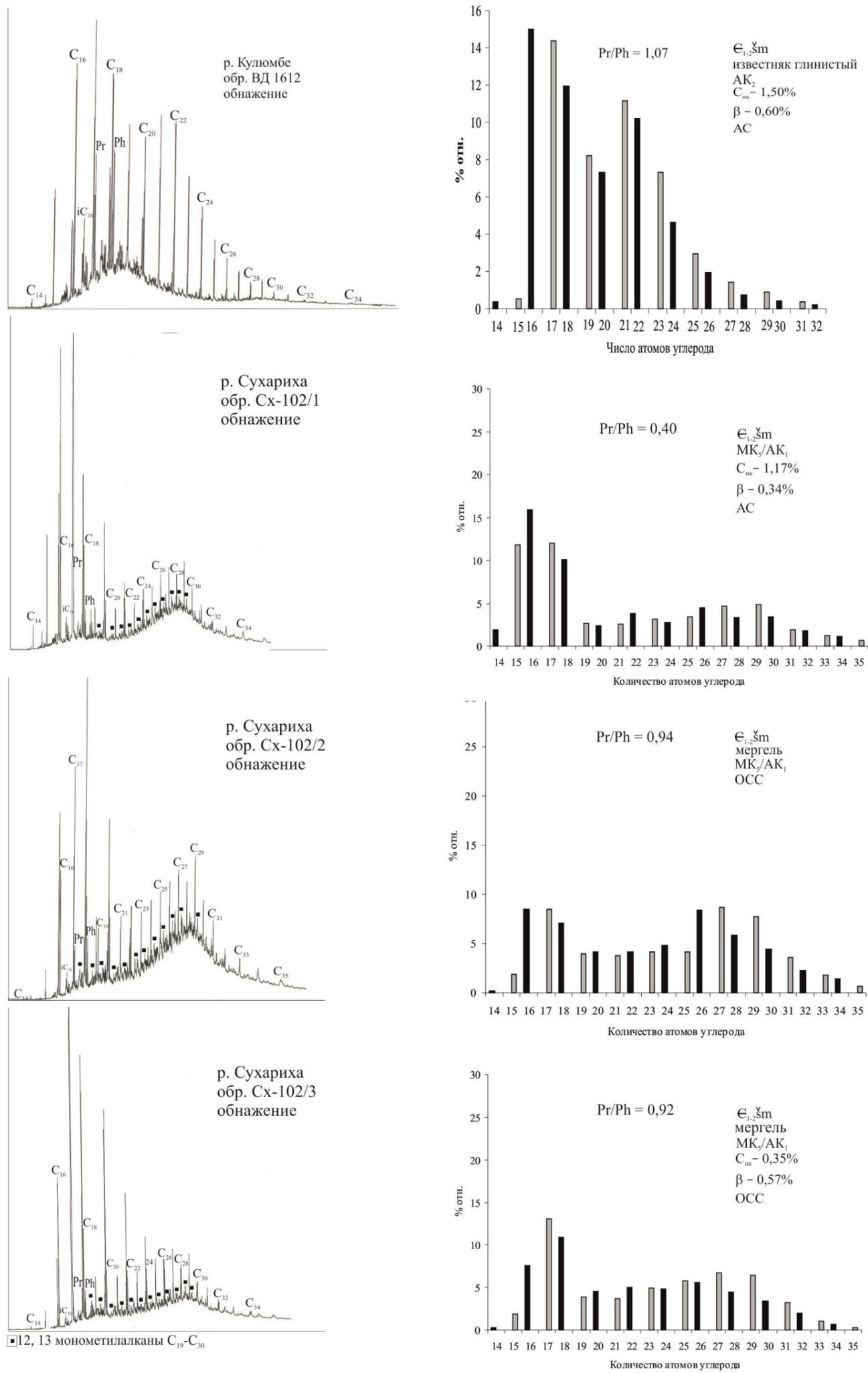


Рис. 15. Хроматограммы и молекулярно-массовое распределение нормальных алканов сингенетических битумоидов из обнажений кембрийских отложений

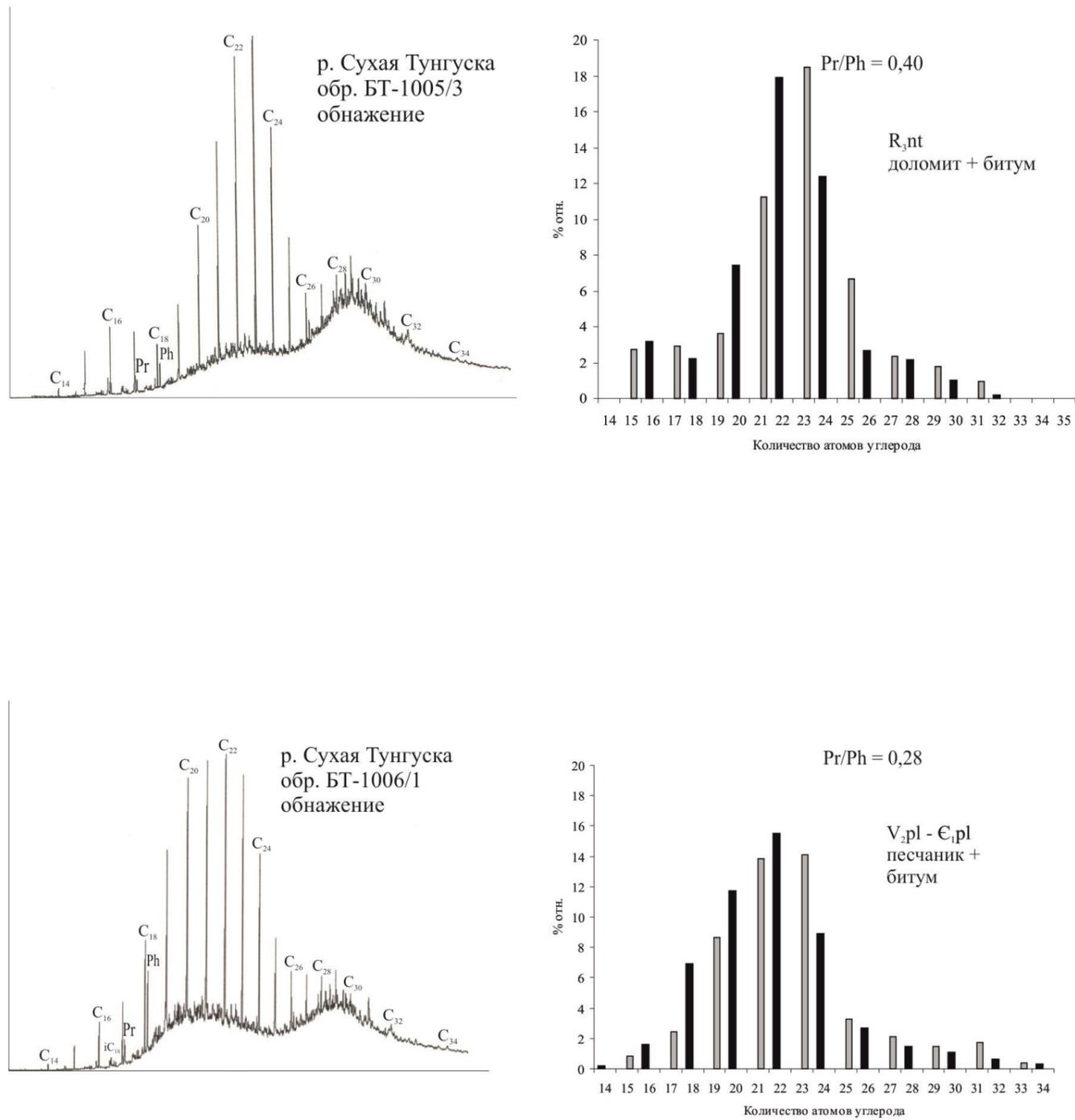


Рис. 16. Хроматограммы и молекулярно-массовое распределение нормальных алканов эпигенетических битумоидов из обнажений рифея (R₃nt) и венда (V₂pl)

Образцы из битумной залежи р. Нижней Тунгуски у Вороновского разлома (Є₂ kst) представляют собой асфальт и асфальтит с суммарным содержанием УВ 10,71–38,46% и МНУВ 27,90–56,67% соответственно; высококонденсированная ароматика отсутствует. Распределение н-алканов - «пилообразное»; диапазон н-алканов в асфальтите - C₁₃–C₂₈, причём на C₂₈ приходится индивидуальный максимум; в асфальте диапазон н-алканов - C₁₄–C₃₆, индивидуальный максимум - C₂₇ (рис. 17). В асфальтите алканов сохранилось немного, на хроматограмме всё «забивает» нефтеный «горб» (см. рис. 17). Интересно, что в асфальте фракционный состав н-алканов более «тяжёлый» по сравнению с таковым асфальтита, – фракция > C₃₀ в асфальтите отсутствует, а фракция до C₁₄ несколько выше асфальта (4,19% против 0,04%) (см. табл. 4). В нижнетунгусских битумах по сравнению с

сухотунгусскими ниже значения величины $\frac{\sum \text{изопр.}}{\sum \text{н-алкан.}}$ (0,06–0,09 против 0,28–0,40), но выше величины отношения пристан/фитан (0,75–0,73 против 0,04–0,09); 12-, 13-монометилалканы в нижнетунгусских битумах также не фиксируются.

Здесь же, чуть выше по р. Нижней Тунгуске, на западном крыле Голоярской антиклинали в скрытых трещинах в известковых доломитах на контакте с дайкой долеритов обнаружены битумы в виде окисленной нефти. Визуально они фиксируются в виде полосчатой светлорыжевой окраски в светлых карбонатных породах. Поскольку эти битумы непосредственно не подвержены выветриванию (идиогипергенезу), в них фиксируется высокое суммарное содержание УВ (70,74%); МНУВ составляет 60,91%. Диапазон н-алканов - C₁₄–C₃₅; распределение - плавное, одномодальное, индивидуальный максимум - C₁₇ (см. рис. 17). Во фракционном составе н-алканов максимум приходится на C₁₅–C₂₀ (53,01%); содержание фракции до C₁₄ – 0,33%, фракции > C₃₀ – 4,39% (см. табл. 4).

Важным результатом изучения УВ битумных залежей Туруханского района является установление отсутствия в них в фиксируемых количествах – 12-, 13-монометилалканов, что свидетельствует о том, что генетическим источником этих битумов являются рифейские нефтегазоматеринские формации, в первую очередь нижнетунгусская свита R₃. В данном районе вендские и кембрийские материнские формации отсутствуют; они появляются севернее – в Игарском и Норильском районах и южнее – в бассейнах рр. Подкаменной Тунгуски и Ангары. Непромышленные (а скорее всего недоразведанные) залежи УВ в венде–кембрии Курейско–Летнинского вала Туруханского района, так или иначе, генетически связаны также с рифеем.

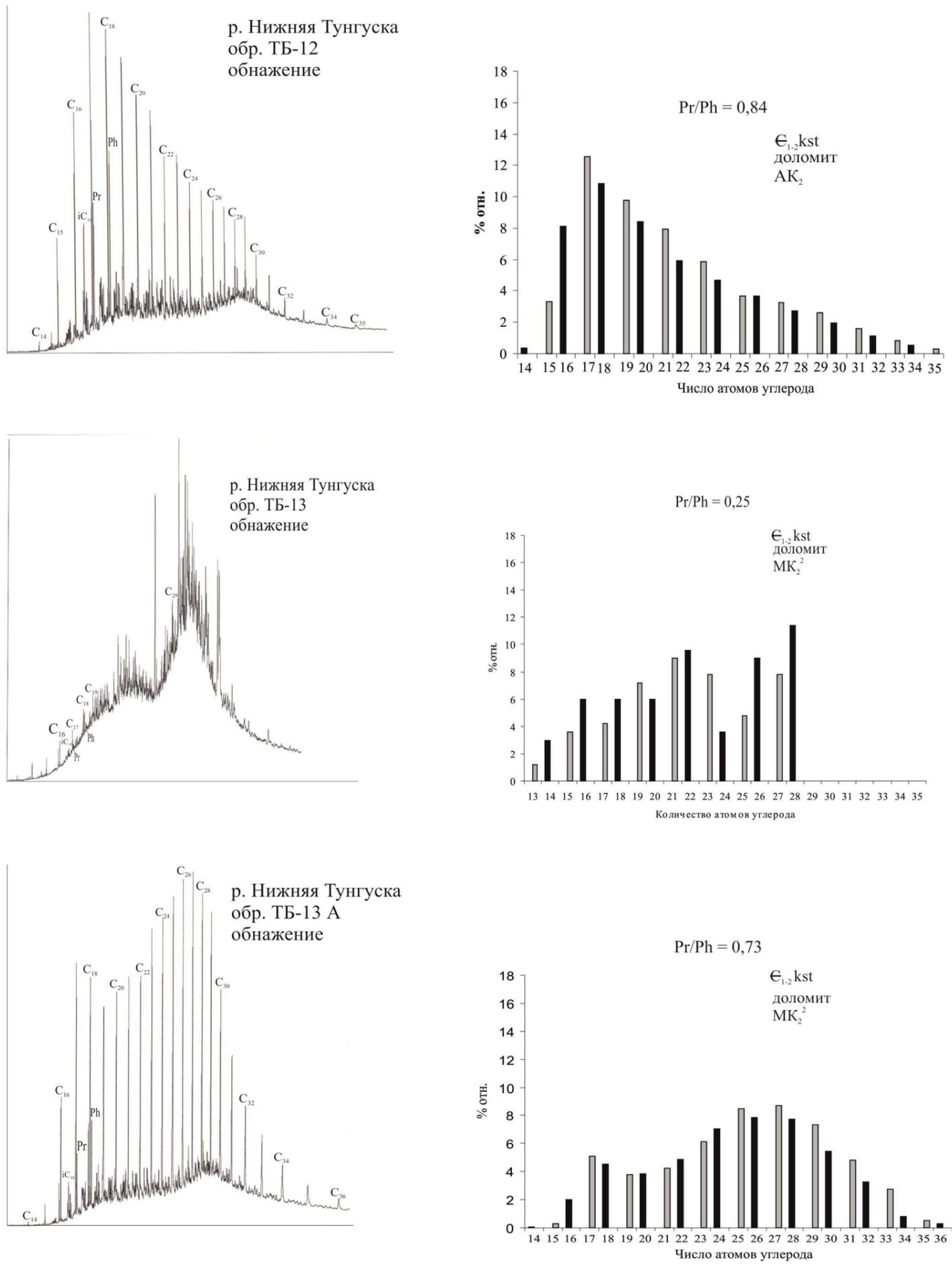


Рис. 17. Хроматограммы и молекулярно-массовое распределение нормальных алканов эпигенетических битумоидов из обнажений кембрийских отложений (€1-2 kst)

Литература

Руководство по анализу битумов и рассеянного органического вещества горных пород / Ред. В.А. Успенский, К.Ф. Родионова, А.И. Горская, А.К. Шишкова. - Л.: Недра, 1966. – 316 с.

Эволюция нефтегазообразования и нефтегазонакопления на юго-западе Сибирской платформы / Т.К. Баженова, А.И. Шапиро, В.Ф. Васильева, Н.Б. Вишневская, Л.И. Климова, Н.Т. Кунаева, Н.А. Рогозина, Г.В. Туренкова. – СПб: ВНИГРИ, 2015. - 146 с.

Bazhenova T.K., Shapiro A.I., Vasilyeva V.F.

All Russia Petroleum Research Exploration Institute (VNIGRI), St. Petersburg, Russia, ins@vnigri.ru

ALIFATIC HYDROCARBONS OF OIL AND GAS SOURCE ROCKS AND OF OIL SHOWS IN THE WESTERN SIBERIAN PLATFORM

Aliphatic hydrocarbons studied - normal alkanes and isoprenanes – from source rocks and oil shows of Riphean, Vendian and Cambrian sections (wells and outcrops) of the western part of the Siberian Platform. Catagenetic changes in the fraction of normal alkanes are described; hydrocarbons of syn- and epibitumoids are compared. The source of epibitumoids hydrocarbons was supposed.

Keywords: *aliphatic hydrocarbons, source rocks, oil show, Riphean, Vendian, Cambrian, organic matter catagenesis, Siberian Platform.*

References

Evolutsiya neftegazobrazovaniya i neftegonakopleniya na yugo-zapade Sibirskoy platformy [Petroleum genesis and accumulation in the south-west of the Siberian Platform area]. T.K. Bazhenova, A.I. Shapiro, V.F. Vasil'eva, N.B. Vishnevskaya, L.I. Klimova, N.T. Kunaeva, N.A. Rogozina, G.V. Turenkova. St. Petersburg: VNIGRI, 2015, 146 p. (Trudy VNIGRI)

Rukovodstvo po analizu bitumov i rasseyannogo organicheskogo veshchestva gornykh porod [Analysis guide of bitumen and dispersed organic matter of rocks]. Editor V.A. Uspenskiy, K.F. Rodionova, A.I. Gorskaya, A.K. Shishkova. Leningrad, Nedra, 1966, 316 p.

© Баженова Т.К., Шапиро А.И., Васильева В.Ф., 2018