

УДК 550.4:552.578.061.32:551.72(470.13)

Баженова Т.К., Богословский С.А., Шапиро А.И., Васильева В.Ф., Рогозина Н.А.Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт» (ФГУП «ВНИГРИ»), Санкт-Петербург, Россия, ins@vnigri.ru

ОРГАНИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ ОСАДОЧНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ВЫЧЕГОДСКОГО ПРОГИБА (РУССКАЯ ПЛИТА) И ЕГО ГЕОТЕРМИЧЕСКАЯ ИСТОРИЯ

Рассматриваются геохимические особенности и геохимическая (катагенетическая, геотермическая) история осадочного выполнения Вычегодского прогиба. Показано, что вендские отложения не являлись нефтегазопроизводившими. Нефтегазоматеринские пачки выявлены в разрезе карбонатной толщи верхнего рифея на востоке прогиба; процессы генерации углеводородов в них осуществлялись во время всех этапов погружения.

Ключевые слова: катагенез, геотермический градиент, битумоиды, углеводороды, венд, верхний рифей, Вычегодский прогиб, Русская плита.

Вычегодскому прогибу «не везло». И хотя история его исследований насчитывает уже не одно десятилетие, его всегда преследовал рок «побочности», «попутности», т.е. им обычно занимались не как самостоятельным объектом, а попутно с каким-либо другим «более важным», – Мезенской синеклизой («аппендиксом» которой он является), рифейскими и/или вендскими отложениями Русской плиты в целом и т.п. В то же время интерес к нему, как к возможно нефтегазоносному объекту, не угасал. Площадь его не велика – порядка 30 тыс. км². В его пределах пробурено 3 глубоких скважины, вскрывших рифейские отложения, и ещё десяток скважин глубиной 1300–1900 м, вскрывших отложения венда. Во многих скважинах были отмечены незначительные нафтидопроявления в виде насыщения пород-коллекторов – песчаников и карбонатов – венда и палеозоя в количестве от десятых долей до первых % на породу.

Надо сказать, что систематических геохимических исследований в Вычегодском прогибе не проводилось; отрывочные сведения о содержании $C_{нк}$ и битумоидов в породах, о составе нафтидопроявлений встречаются в отчетах ООО «ТП НИЦ» (г. Ухта), ИГ Коми филиала УРО РАН (г. Сыктывкар) и некоторых других организаций, а также в некоторых публикациях.

Содержание данной статьи основано на исследовании геохимии разрезов трёх глубоких скважин – Серёговская-1; Сторожевская-1 и Кельтменкая-1. Несмотря на неполноту разрезов (как обычно в глубоких скважинах), нам удалось выявить основные черты геохимии отложений и в общих чертах воссоздать их геохимическую (катагенетическую) историю.

Приведенный в статье геолого-геохимический очерк не претендует на исчерпывающую характеристику всех вопросов органической геохимии данного района и тем более на прогнозную оценку его нефтегазоносности – для этого пока недостаточно материала. Цель статьи – на основании исследованных нами разрезов – определить историко-геохимические взаимоотношения выполняющих прогибов осадочных комплексов, наметить в их составе нефтегазопроизводившие интервалы, чтобы в дальнейшем – с накоплением данных – непосредственно подойти к количественной раздельной прогнозной оценке его возможной нефтегазоносности.

Вскрытые скважинами разрезы охватывают отложения от верхней перми (в скв. Серёговская-1 – от нижнего триаса) до рифея включительно (фундамент не вскрыт ни одной скважиной); при этом на вендских отложениях залегают отложения верхнего девона (в скв. Серёговская-1 – среднего карбона). Суммарная мощность палеозоя составляет 1100–1300 м. Отложения верхнего венда в составе редкинских и котлинских горизонтов наиболее полно представлены в самой восточной, скв. Кельтменская-1, их мощность 1577 м. К западу мощность сокращается, вероятно, за счет размыва – до 1178 м в скв. Сторожевская и 889 м – в скв. Серёговская-1; в этих двух скважинах, вероятно, отсутствует котлинский горизонт (падунская и мезенская свиты), а присутствует только редкинский (усть-пинезская свита). На западе, в скв. Серёговской-1 усть-пинезскую свиту подстилает мощная (1465 м) толща красноцветных обломочных пород, по аналогии с Мезенской синеклизой относимая к уфтыгской свите. Мы её датируем ранним вендом, а не рифеем, как некоторые другие исследователи, ибо именно в её основании находится «главное несогласие»: в Мезенской синеклизе она залегает на различных горизонтах рифея и на фундаменте. В скв. Сторожевская-1 вероятны «остатки» уфтыгской свиты в несколько м; в скв. Кельтменская-1 она отсутствует. Собственно рифейские отложения вскрыты скв. Серёговская-1 на 453 м; скв. Сторожевская – на 1292 м; скв. Кельтменская – на 1995 м. Разрезы скв. Серёговская и Сторожевская обычно сопоставляются с таковыми Мезенской синеклизы, что вполне справедливо. В скв. Серёговская-1 под уфтыгской свитой залегает красноцветная терригенная толща с прослоями сероцветных карбонатно-терригенных пород, относимая к дорогорской свите, т.к. на других уровнях красноцветов в рифейских разрезах всего северо-востока Русской плиты нет. Вскрытый разрез рифея в скв. Сторожевская-1 подразделяется на 3 близкие по мощности части: верхние 450 м представлены сероцветами глинисто-карбонатными породами, условно относимыми к няфтинской свите R_3 . Подстилающие 400 м – обломочная красноцветная толща – дорогорская свита R_2 , а ещё ниже, до забоя, – сероцветная терригенная толща – пезская свита R_2 . В скв. Кельтменская-1 весь вскрытый рифейский разрез представлен сероцветной карбонатной толщей – известняками и

доломитами, в той или иной мере глинистыми, реже мергелями. Геологи Ухты и Сыктывкара подразделяют разрез на вапольскую и ышкемесскую свиты, поскольку в Мезенских скважинах подобной толщи нет. Но вапольская свита была описана на возвышенности Джежим-парма (южном продолжении Тиманского кряжа), т.е. в северо-восточном обрамлении прогиба и представлена она бело-розовыми массивными доломитами. Породы подобного типа встречаются в верхней половине Кельтменского разреза в виде отдельных пачек. Что касается ышкемесской свиты, то на р. Ышкемес (там же, на Джежим-парме) имеется единственное очень небольшое обнажение темноцветных глинисто-карбонатных пород, которые – судя по катагенезу – относятся не к рифею, а, вероятно, к девону, а темноцветные терригенные породы высокого катагенеза встречаются только в виде щебёнки на дне рек, т.е. никакого стратотипа свиты на Джежим-парме нет.

Что же такое Кельтменский карбонатный разрез? Вероятно, этот разрез представляет самую верхнюю часть рифейских отложений региона в целом, т.е. в Мезенских скважинах именно эта часть разреза была размыта в предвендское время, что обусловило наличие катагенетического несогласия в Мезенских скважинах [Баженова и др., 2002]. В Кельтменском рифейском разрезе удалось выделить две наиболее темноцветные пачки терригенно-карбонатных пород – в верхней его части и в нижней половине, – относительно обогащённые ОВ. Самую нижнюю часть Кельтменского разреза мы сопоставляем с няфтинской свитой скв. Сторожевская-1.

На основании корреляции разрезов с учётом региональных данных о катагенезе ОВ в разрезах севера Русской плиты (Московской и Мезенской синеклиз) воссоздадим катагенетическую историю осадочного выполнения Вычегодского прогиба и далее на этом фоне рассмотрим геохимические особенности отложений. История эта иллюстрируется палеопрофилями (рис. 1–4).

Предварительно сделаем одно вероятное допущение: доразмывные мощности рифея и верхнего венда от скважины к скважине, т.е. примерно вдоль прогиба оставались постоянными.

Этап 1. К концу рифея подошва карбонатной толщи (кровля дорогорской свиты) находилась на глубине примерно 2400 м (вскрытая её мощность 1995 м, до подошвы ещё примерно 100 м и порядка 300 м было над современной её кровлей, т.к. седиментационный цикл не может закончиться карбонатами, над ними непременно должна быть какая-либо толща эмерсивной фазы). В соответствии с геотермоградиентом $5^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ (в отличие от рифейских авлакогенов, градиент в пределах «плитного рифея», судя по всему, не превышал таковой в раннем-начале среднего палеозоя) [Баженова, 2002; Баженова и др., 2000]; температура в подошве карбонатной толщи составляла 120°C , что соответствовало границе

граций катагенеза $МК_1/МК_2^1$. В подошве нижней темноцветной пачки на глубине 1790 м $t^0 \approx 90^\circ\text{C}$; в подошве верхней пачки (490 м) $t^0 \approx 25^\circ\text{C}$, что отвечало соответственно началу грации $МК_1$ и грации $ПК_1$. В кровле пезской свиты (2800 м) $t^0 - 140^\circ\text{C}$ (граница $МК_2^1/МК_2^2$).

В результате к концу рифея процессы генерации углеводородов (УВ) уже происходили в пезской свите R_2 и едва начались в нижней темноцветной пачке карбонатной толщи R_3 .

Предвендский размыв был далеко неодинаков в разных частях прогиба. Наибольший подъем и денудацию испытал район скв. Серёговская-1, где карбонатная толща была «срезана» полностью. В районе скв. Сторожевская-1 от неё осталось 450 м, а в ареале скв. Кельтменская-1 была эродирована лишь 300-метровая эмерсивная «верхушка» (рис. 1).

Этап 2. В раннем венде, – вероятно, в связи с усилившейся инверсией Тиманской миогеосинклинали – происходило накопление обломочной красноцветной уфтыгской свиты. Максимальное накопление (до 1,5 км) имело место в районе предшествующего максимального подъёма и размыва (вероятно, в результате изостатической компенсации), что превратило Серёговское поднятие в Серёговскую впадину. В более восточных районах прогиба накопление уфтыгской свиты если и имело место, то в небольших масштабах и в начале позднего венда она была эродирована.

В позднем венде на всей площади прогиба (как и в пределах всей северной половины Русской плиты) накопилась терригенная глинисто-обломочная существенно сероцветная толща редкинских и котлинских горизонтов (усть-пинезской, мезенской и падунской свит) мощностью ~ 1650 м (максимальная сохранившаяся мощность в скв. Кельтменская-1 1577 м). В соответствии с сохранившимся градиентом $5^\circ\text{C}/100$ м температуры и соответствующие им грации катагенеза на границах свит и упомянутых тёмных пачек карбонатной толщи R_3 распределялись следующим образом (сверху вниз): в основании V_2 (1650 м) $\sim 83^\circ\text{C}$ (начало $МК_1$); в основании верхней темноцветной пачки на глубине 1840 м (490 м этапа 1 – 300 м размыва + 1650 м V_2) $\sim 92^\circ\text{C}$ (также начало $МК_1$); в основании нижней пачки на глубине 3140 м (1790 м этапа 1 – 300 м размыва + 1650 м V_2) – 157°C (конец $МК_2^2$); таким образом, в районе скв. Кельтменская-1 температуры к концу V_2 по сравнению с рифеем возросли, катагенетическое несогласие отсутствует, процессы генерации УВ продолжались в нижней темноцветной пачке и начались в верхней. Что касается не вскрытой в этом районе пезской свиты R_2 , то она могла к концу V_2 находиться на глубине 4100–4200 м ($МК_5$) и процессы генерации жидких УВ в ней уже закончились и происходили процессы генерации УВ-газа.

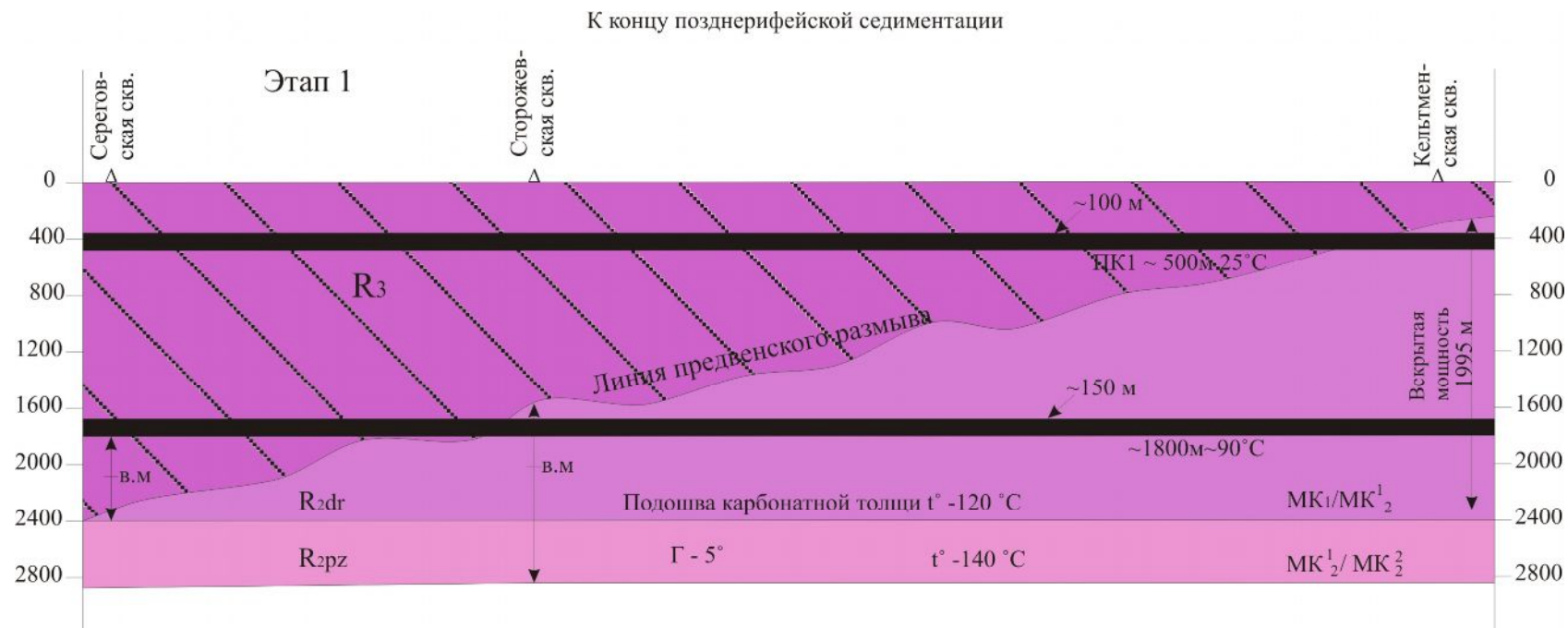


Рис. 1. Геологическая и геотемпературная ситуация к концу позднерифейской седиментации

В районе скв. Сторожевская-1 подошва карбонатной толщи R_3 (няфтинской свиты) к концу V_2 оказалась на глубине 2100 м (450 м – «остаток» R_{3nf} + 1650 м V_2), при $t^0 = 105^\circ\text{C}$, т.е. температура снизилась, процессы генерации УВ прекратились и возникло хотя и незначительное, но всё-таки катагенетическое (геотермическое) несогласие, равное 15°C (в точке контакта R/V , т. е. на поверхности размыва, прежняя температура составляла 98°C).

В районе скв. Серёговская-1, как уже упоминалось, карбонатная толща R_3 размыта полностью, однако «взамен» 2400 м R_3 накопилось 3115 м (1465 м V_{1uf} + 1650 м V_2), т.е. температура в кровле размытого рифея возросла со 120°C до 156°C , т.е. катагенетическое несогласие не возникло и процессы генерации УВ продолжались (рис. 2–3).

Этап 3. Как уже упоминалось, на вендских отложениях здесь залегают отложения либо D_3 – P_2 (Кельтма, Сторожевск), либо C_2 – T_1 (Серёгово). Вероятно, осадки триаса были развиты на площади всего прогиба, поэтому временем окончания погружений здесь является триас. В связи с этим наращиваем мощность до максимальной в скв. Серёговская-1 на 200 м, в скв. Сторожевская и Кальтменская – на 550 м. Как показали наши исследования [Баженова, 2002; Баженова и др., 2000], геотермический градиент в пределах Русской плиты снизился на границе раннего и среднего девона с $5^\circ\text{C}/100$ м до $\sim 3,8^\circ\text{C}/100$ м. Это значение градиента, вероятно, имело место до конца триаса, а в юре произошло дальнейшее его снижение.

Итак, к концу триаса, к концу погружений в районе скв. Серёговская-1 температуры распределились следующим образом: в подошве V_2 на глубине 2225 м (889 м – «остаток» V_2 + 1336 м C_2 – T) $t^0 \sim 85^\circ\text{C}$, т.е. почти не изменилась по сравнению с концом V_2 (начало $МК_1$); в кровле рифея, т.е. в подошве V_{1uf} на глубине 3690 м $t^0 \sim 140^\circ\text{C}$, т.е. снизилась на 16°C и процессы генерации УВ прекратились. Температуры к концу триаса сравнивались с вендскими в верхней части уфтыгской свиты, а в толще V_2 они были несколько выше и вялые процессы генерации в палеозое-триасе там протекали.

В районе скв. Сторожевская-1 температура на границе рифей/венд к концу погружений на глубине 3000 м (1178 м – «остаток» V_2 + 1822 м D_3 – T) составила 114°C , т.е. увеличилась по сравнению с концом V_2 ; в подошве R_{3nf} на глубине 3450 м температура оказалась равной 131°C , т.е. также возросла по сравнению с концом V_2 и концом рифея; возникшее в конце V_2 катагенетическое несогласие на границе R/V таким образом исчезло и процессы генерации УВ ненадолго возобновились до снижения в юре теплового потока и незначительного подъёма.

В районе скв. Кельтменская-1 к концу погружений температура на границе рифей/венд на глубине ~ 3460 м составила 132°C , т.е. – несмотря на снижение градиента – существенно возросла.

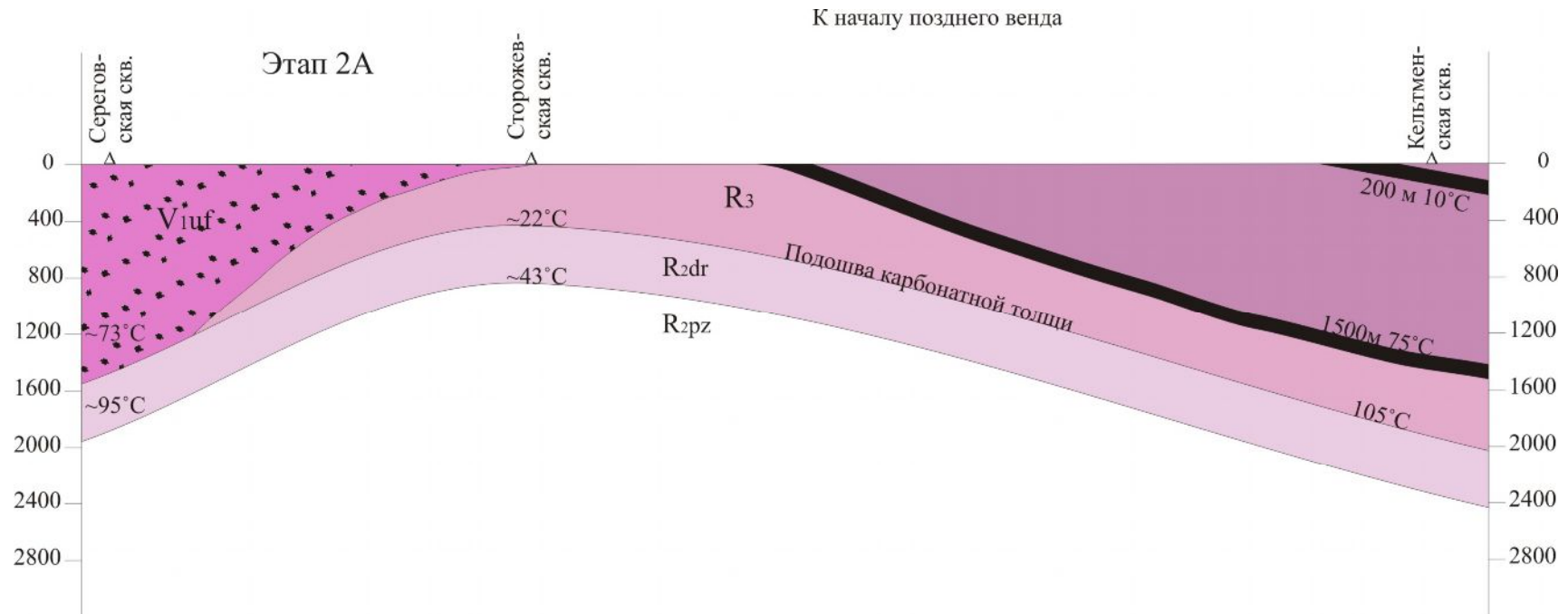


Рис. 2. Геологическая и геотемпературная ситуация к началу позднего венда

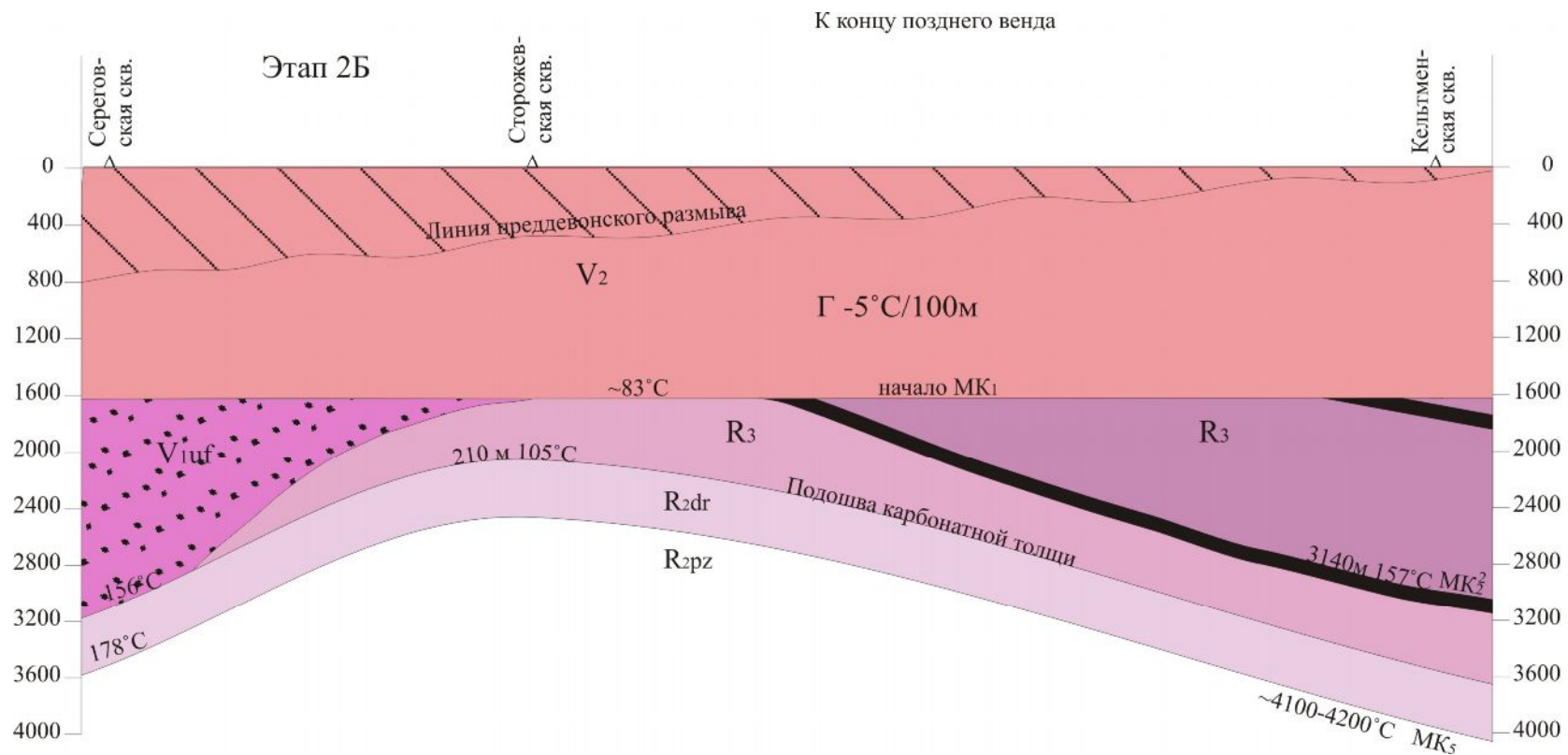


Рис. 3. Геологическая и геотемпературная ситуация к концу позднего венда

В основании верхней темноцветной пачки на глубине 3650 м температура возросла по сравнению с концом венда с 92°C до 139°C (от начала МК₁ до конца МК₂¹); в основании нижней пачки (4950 м) увеличение температуры произошло от 157°C до 188°C (от конца МК₂¹ до конца МК₃). Таким образом, в районе скв. Кельтменская-1 генерация УВ происходила на всех этапах погружения, прерываясь в эпохи перерывов и размыва (рис. 4).

Итак, максимальные температуры и соответственно градации катагенеза на нижней границе V₂ с запада на восток изменялись следующим образом: 85°C (начало МК₁) в скв. Серёговская-1; 114°C (конец МК₁) в скв. Сторожевская-1 и 132°C (МК₂¹) в скв. Кельтменская-1.

Описание геохимических особенностей разреза будем производить сверху вниз – от молодых к древним, в нашем случае – от «простого к сложному». Распределение С_{нк} и битумоидов в разрезах глубоких скважин представлено на рис. 5–7.

Самыми «молодыми» из исследованных нами образцов оказались два образца желтоватых доломитов московского яруса С₂ с небольшим нефтенасыщением (скв. Серёговская-1, 1015–1090 м). Этот стратиграфический уровень в случае морских фаций никогда не бывает обогащённым ОВ. В одном из образцов весь С_{нк} представлен вторичным битумом (мальтой) в количестве 0,176% на породу. Элементный и групповой состав битумоида соответствует этому классу нафтидов (масел 56,87%; табл. 1). В другом образце битумоида много меньше (0,005%) и он более окислен (масел 40,61%; табл. 1). Для этих вторичных битумоидов характерно низкое содержание изопреноидов (Σ изопреноидов/ Σ н-алканов 0,06 и 0,12; табл. 2). Распределение нормальных алканов в этих образцах представлено на рис. 8–9. Для них характерно относительно небольшое количество лёгких н-алканов (до С₂₀; табл. 3.12.9.2); групповой максимум соответствует н-С₂₁–н-С₂₅), в более окисленном образце группа н-С₂₆–н-С₃₀ почти равна предыдущей (табл. 2); однако интересно, что в этом образце содержание н-С₁₅–н-С₂₀ выше, нежели в менее окисленном (табл. 2; рис. 9). Вероятно, подобное распределение в значительной мере обусловлено криптогипергенными процессами.

При описании разрезов глубоких скважин других вторичных проявлений нами встречено не было. Видимо, те насыщенные интервалы, что отмечались в литературе, были выбраны до нас.

В скв. Сторожевская-1 в интервале 1000–1005 м был встречен прослой темно-коричневого мергеля D_{3dm}, настоящего доманикита очень низкой степени зрелости, что подтверждают его пиролитические характеристики: S₁ – 0,91 мг/г; S₂ – 34,42 мг/г; HI – 524 мг/г. Содержание С_{нк} в нём 7,09%, синбитумоида 0,83%, $\beta_{\text{Снк}}^{\text{ХБА}}$ – 11,71%.

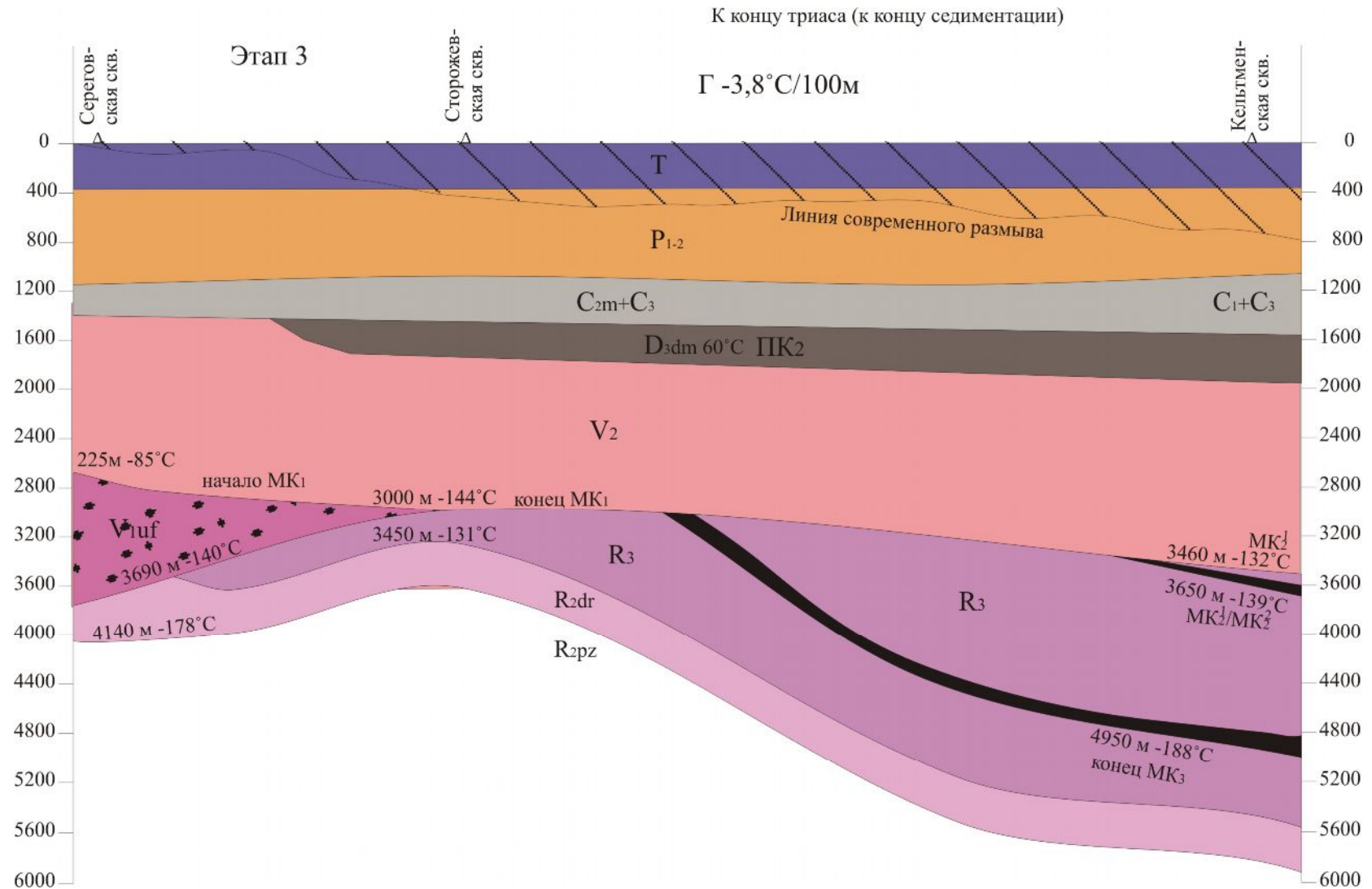


Рис. 4. Геологическая и геотемпературная ситуация к концу триаса









	Песчаники		Известняки
	Алевролиты		Доломиты
	Аргиллиты		Глинистые известняки
	Мергели		Глинистые доломиты
	Глины		

Рис. 5. Распределение $C_{нк}$ и битумоидов (по данным люм. анализа) в разрезе скв. Сереговская-1

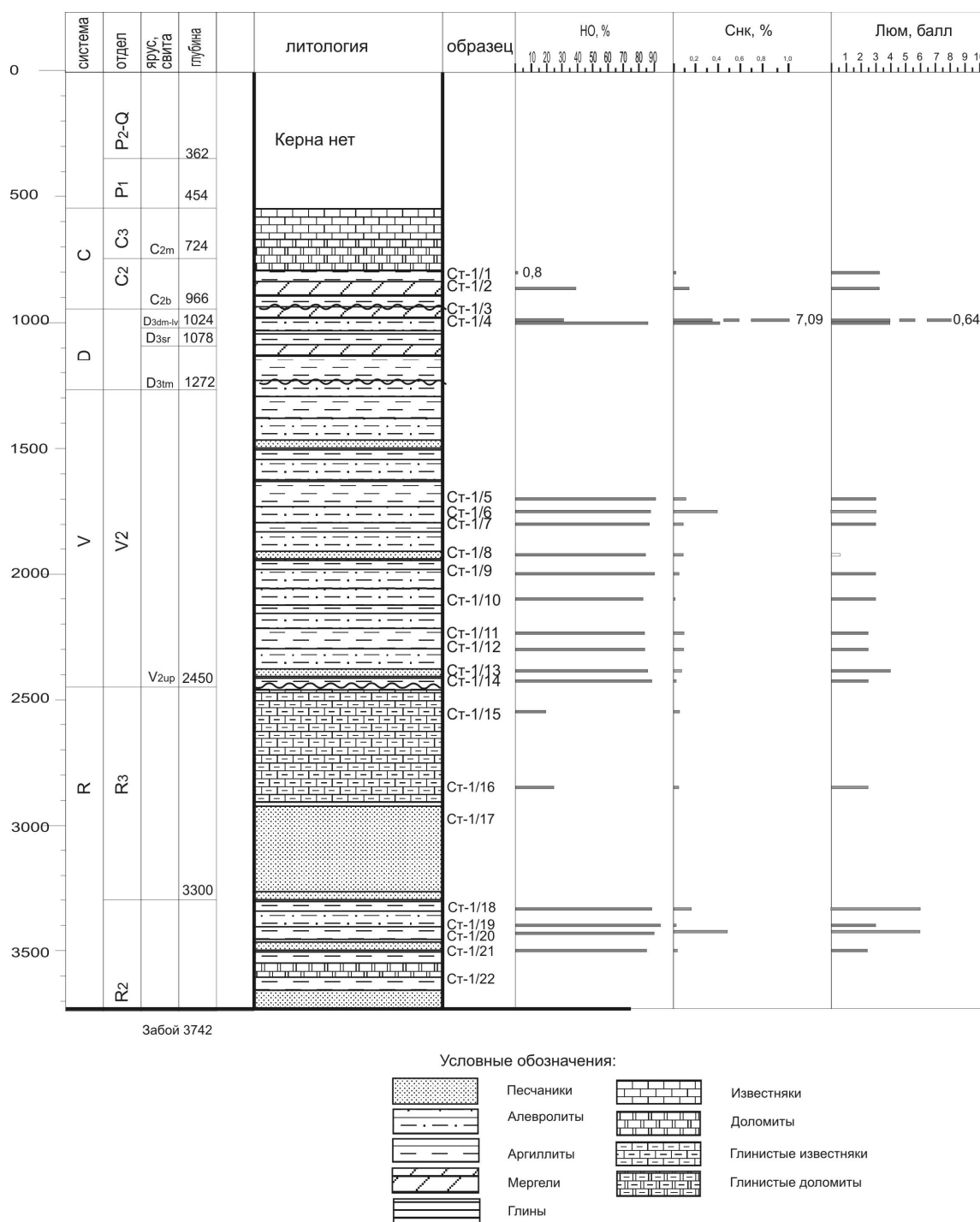


Рис. 6. Распределение $C_{нк}$ и битумоидов (по данным люм. анализа) в разрезе скв. Сторожевская-1

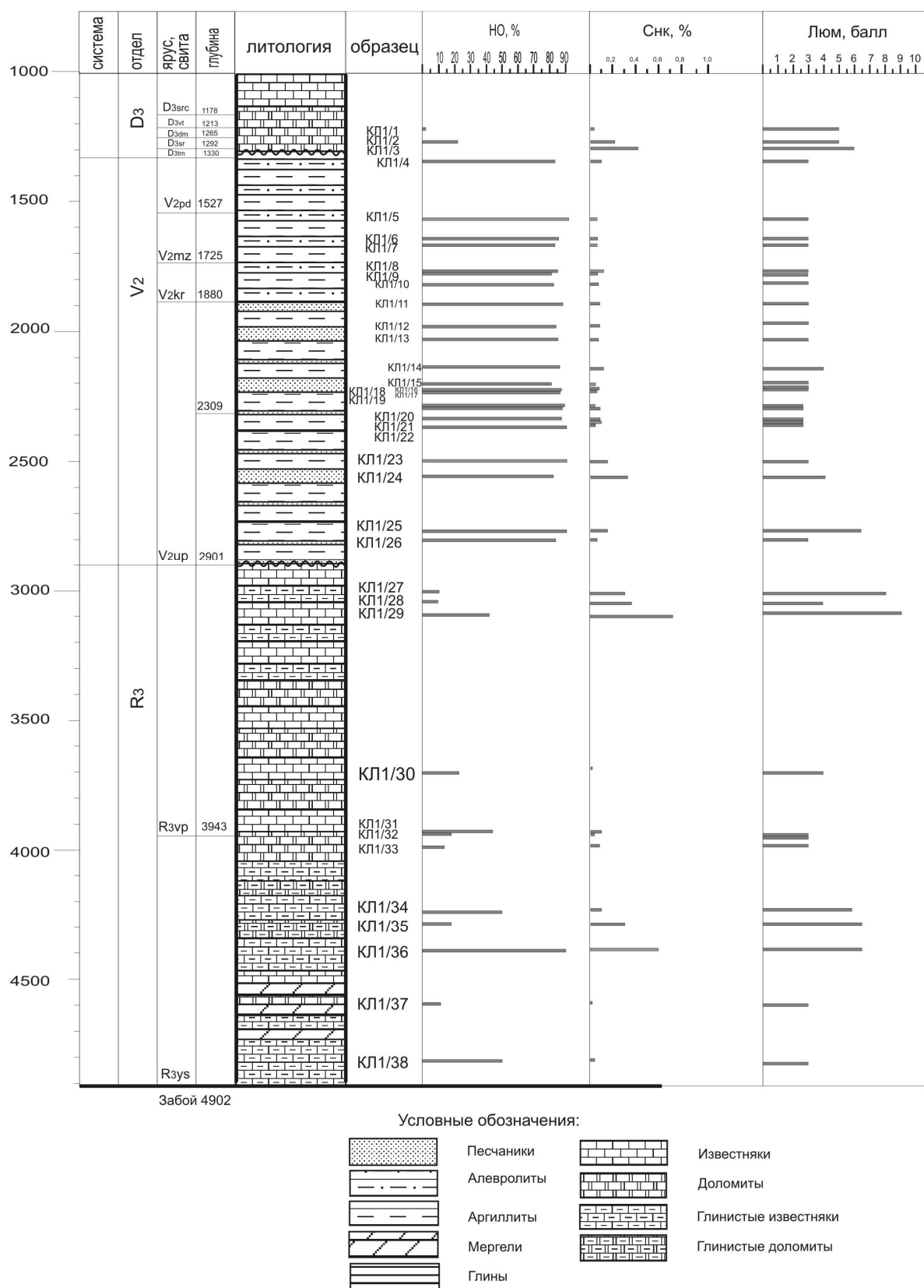


Рис. 7. Распределение S_{nc} и битумоидов (по данным люм. анализа) в разрезе скв. Кельтменская-1

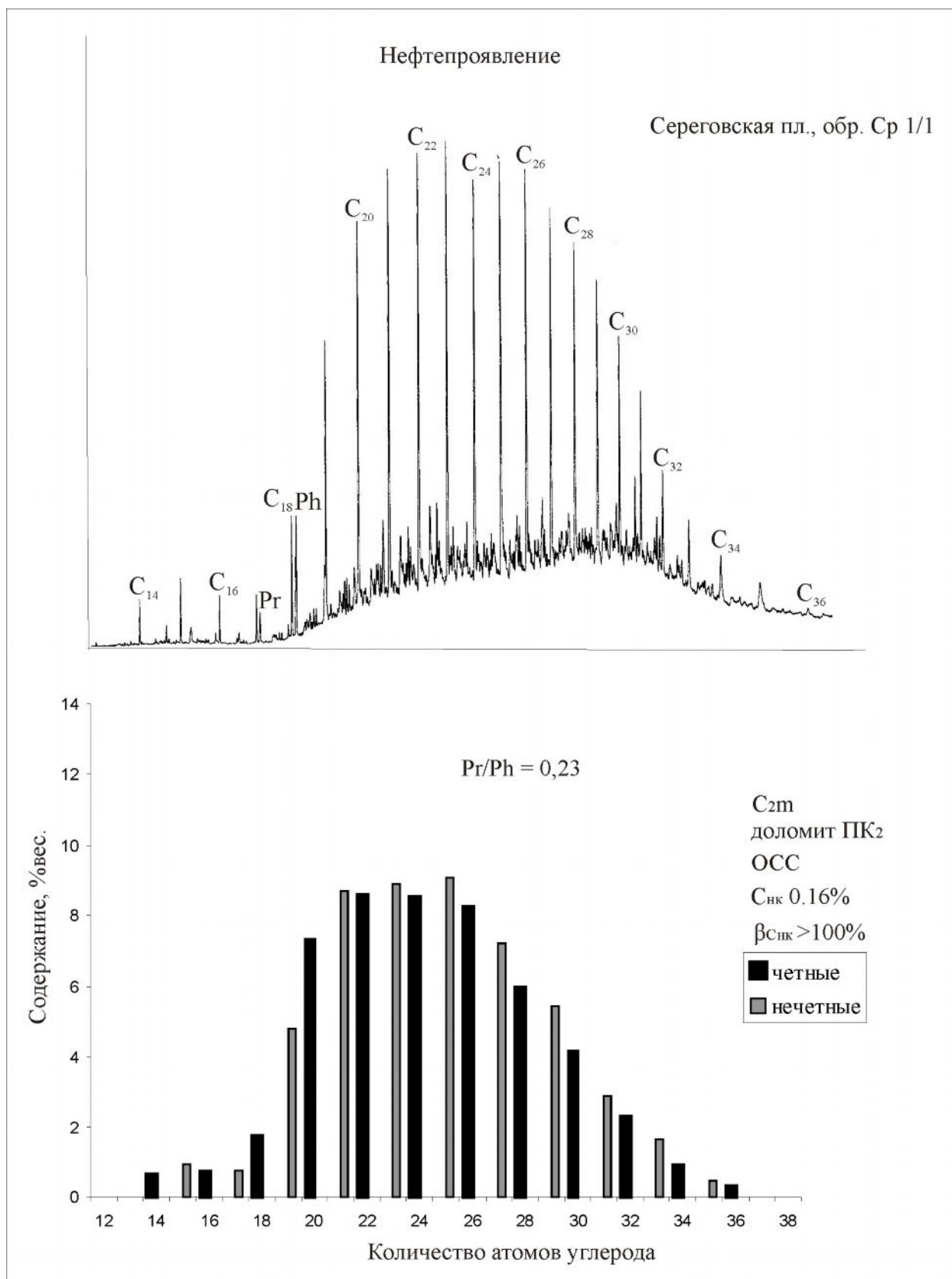


Рис. 8. Хроматограмма и распределение нормальных алканов; Сереговская пл., скв. 1, гл. 1015,0–1022,0 м, C_{2m}; битумоид вторичный

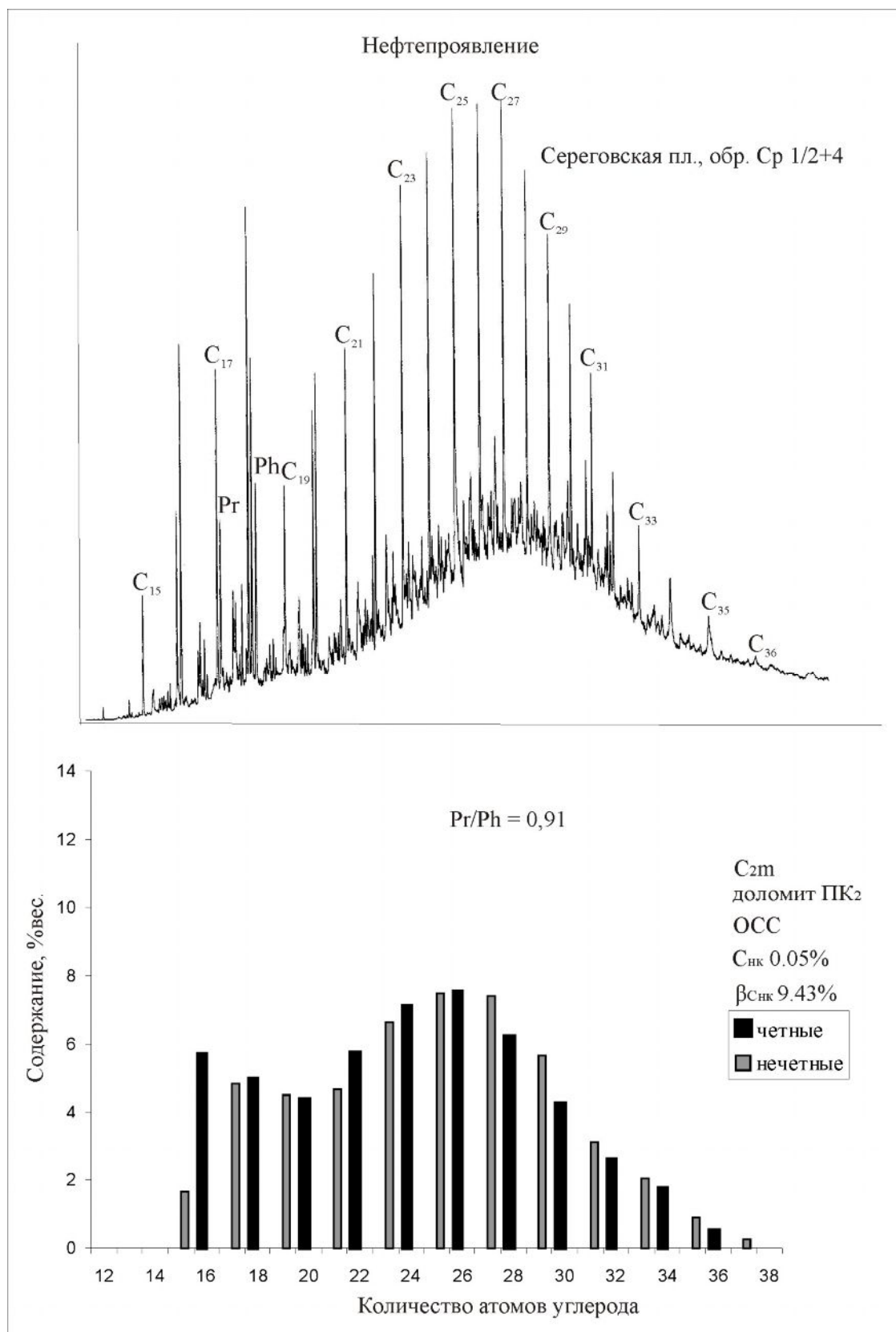


Рис. 9. Хроматограмма и распределение нормальных алканов; Сереговская пл., скв. 1, гл. 1050,0–1090,0 м, C_{2m}; битумоид вторичный

Значение β слишком велико для такой степени зрелости, но битумоид наполовину представлен асфальтенами, а масел всего 5,67%. Среди УВ 54,84% падает на насыщенную фракцию, а ароматическая фракция состоит из моно- и биаренов поровну при отсутствии полиаренов (табл. 1); последнее характерно для высокоасфальтенистых синбитумоидов невысокой степени преобразованности. Для образца характерно высокое содержание изопреноидов (Σ изопреноидов/ Σ н-алканов - 0,72; табл. 2). Распределение нормальных алканов ступенчатое, не плавное, с максимумом н-С₁₇ и групповым максимумом н-С₁₅–н-С₂₀ (рис. 10), т.е. в целом н-алканы довольно лёгкие. В образце были определены низкокипящие УВ (НКУВ), среди которых идентифицированы нафтенy С₇–С₈, арены С₈, арены С₉, н-алканы только С₁₀, т.е. среди НКУВ обнаружены наиболее «тяжелые» их представители, что также характерно для низкой зрелости ОВ.

Обнаружение и исследование образца доманиковой формации D₃ с низкокзрелым ОВ (~ПК₂) весьма интересно с научной точки зрения. Дело в том, что в пределах самого Тимано-Печорского бассейна не известны доманиковые отложения D₃, ОВ которых находилось бы на подстадии протокатагенеза, – самым «низкокзрелым» здесь является ОВ начала градации МК₁, – в связи с чем при моделировании процессов генерации ОВ в доманике за начало отсчёта приходилось принимать расчётную условную величину. Заменить доманику D₃ иным низкокзрелым домаником или доманикоидом нельзя в силу специфичности доманикового ОВ альго-зоогенного, либо существенно зоогенного биоценотического состава. Теперь, можно сказать, начало найдено, но хорошо бы в этом образце получить кероген и, соответственно, его состав. Однако подобные исследования ныне – увы! – почти нигде не выполняются. Но это так, к слову.

В скв. Кельтменская-1 на семилукском уровне нами были встречены только известняки с содержанием С_{нк} – 0,07%. В то же время по данным КамНИИГиКС на этом уровне был отобран «сланец», с содержанием С_{нк} – 1,84% и пиролитическими характеристиками S₁ – 0,12 мг/г; S₂ – 7,06 мг/г; НI – 384 мг/г (сообщение С.В. Сенина, ТП НИЦ, Ухта). Вероятно, доманиковые фации в семилукское время заходили отдельными «языками» в пределы Вычегодского прогиба, однако мощность их невелика, а зрелось ОВ слишком низка и они не могли быть источником УВ для данного района.

В сероцветной терригенной формации V₂ содержание С_{нк} колеблется от первых сотых до первых десятых долей, очень редко до 0,5–0,7%, в среднем не выше 0,2%. Содержание битумоидов крайне низкое – по данным люминесцентного анализа – 0,001÷0,004%, по данным экстракции – 0,004÷0,007% (рис. 5–7).

Таблица 1

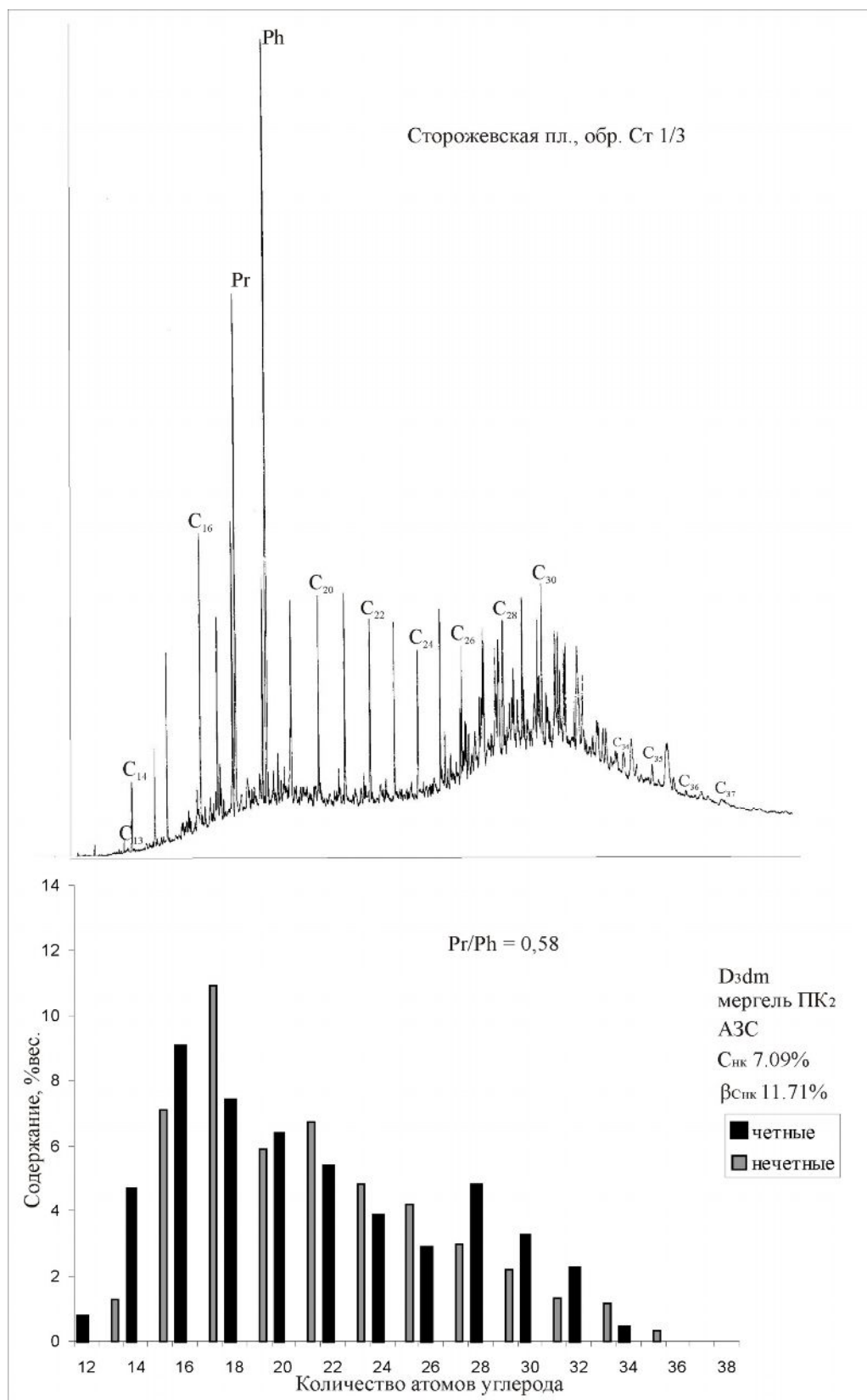
Выход битумоида и его состав

Площадь	Скв. Сергеевская-1			Скв. Сторожевская-1					Скв. Кельтменская-1		
№ образца	Ср-1/1	Ср-1/2+3+4	Ср-1/15+17+18	Ст-1/3	Ст-1/5+8	Ст-1/15	Ст-1/18	Ст-1/20	Кл-1/11+20	Кл-1/24	Кл-1/28
Глубина, м	1015-1022	1050-1056 1056-1063 1083-1090	3490-3499 3653-3659 3764-3767	1000-1005	1732-1737 1921-1926	2549-2554	3348-3359	3445-3450	1896-1903 2347-2354	2559-2566	3044-3049
Возраст	C _{2m}	C _{2m}	R _{2dr}	D _{3dm}	V _{2up}	R ₃	R _{2pz}	R _{2pz}	V _{2up}	V _{2up}	R ₃
Литология	доломит	доломит	мергель	мергель	аргиллит	известняк глинист.	аргиллит	аргиллит алевр.	аргиллит	аргиллит	известняк глинист.
Градация катагенеза ОВ	ПК ₂	ПК ₂	МК ₃	ПК ₂	МК ₁	МК ₁ /МК ₂ ¹	МК ₂ ²	МК ₃	МК ₁	МК ₁ /МК ₂ ¹	МК ₂ ¹ /МК ₂ ²
НОП	1,10	3,50	ср. 62,77	32,9	ср. 87,9	21,8	89,3	91,0	ср. 89,2	83,6	10,2
С _{нк}	0,155	0,053	ср. 0,083	7,09	0,09	0,04	0,18	0,462	ср. 0,122	0,339	0,380
Выход битумоида, %	на породе	0,176	0,005	0,004	0,830	0,007	0,005	0,006	0,006	0,004	0,005
	на С _{нк}	113,55	9,43	4,82	11,71	7,78	12,50	3,33	1,30	3,28	1,47
Элементы состава битумоид а, % вес.	С	83,80			74,96						84,26
	Н	11,93			8,36						11,73
	N	0,28			2,47						0,11
	S	1,01			5,78						0,22
	O	2,98			8,43						2,68
Н/С ат		1,71			1,34						1,67
Групповой состав битумоида, % вес.	масла	56,87	40,61	42,08	5,67	46,51	40,17	27,03	14,79		67,72
	бенз. смолы	8,94	6,67	5,45	8,59	2,33	5,98	14,05	5,88		11,33
	спиртобенз. смолы	30,41	42,42	42,57	36,38	36,63	40,17	36,22	59,80		15,07
	асфальтены	3,78	10,30	9,90	49,36	14,53	13,68	22,70	19,53		5,88
УВ состав масел, % вес.	метано-нафтен.	77,04	71,64	74,12	54,84	83,75	85,11	70,00	23,33		88,14
	моноаромат.	13,90	28,36	21,18	22,58	16,25	14,89	14,00	56,67		7,41
	биаромат.	9,06	-	4,70	22,58	-	-	4,00	10,00		4,45
	полиаромат.	-	-	-	-	-	-	12,00	10,00		-
насыщенные УВ ароматические УВ		3,36	4,76	2,86	1,21	5,15	5,72	2,33	0,30		7,43

Таблица 2

Геохимические параметры углеводородного состава насыщенных УВ (нормальные и изопреноидные алканы)

Площадь		Скв. Сергеевская-1			Скв. Сторожевская-1				Скв. Кельтменская-1	
№ образца		Ср-1/1	Ср-1/2+3+4	Ср-1/15+17+18	Ст-1/3	Ст-1/5+8	Ст-1/15	Ст-1/18+20	Кл-1/11+20+24	Кл-1/28
Глубина, м		1015-1022	1050-1056 1056-1063 1083-1090	3490-3499 3653-3659 3764-3767	1000-1005	1732-1737 1921-1926	2549-2554	3348-3359 3445-3450	1896-1903 2347-2354 2559-2566	3044-3049
Возраст		C ₂ m	C ₂ m	R ₂ dr	D ₃ dm	V ₂ up	R ₃	R ₂ pz	V ₂ up	R ₃
Литология		доломит	доломит	мергель	мергель	аргиллит	известняк глинист.	аргиллит	аргиллит	известняк глинист.
Групповой состав н-алканов, % отн.	до C ₁₄	0,64	-	1,55	6,70	-	-	-	2,35	4,94
	C ₁₅ -C ₂₀	16,25	26,12	55,55	46,78	42,01	35,74	44,69	44,49	52,44
	C ₂₁ -C ₂₅	43,71	31,69	22,08	24,99	34,03	32,12	22,88	25,22	28,17
	C ₂₆ -C ₃₀	30,95	31,04	15,88	16,05	17,95	22,65	23,42	21,41	11,03
	> C ₃₀	8,46	11,14	4,94	5,47	6,00	9,50	9,02	6,53	3,41
Групповой состав изопренанов, % отн.	до C ₁₈	7,11	16,40	13,24	22,56	13,18	12,19	9,30	12,61	36,78
	C ₁₉ -C ₂₀	50,23	62,89	70,46	75,29	71,67	65,32	72,77	68,34	34,91
	> C ₂₀	42,65	20,70	16,29	2,15	15,14	22,50	17,93	19,06	28,31
Соотношения	$\Sigma_{\text{н}} (C_{12}-C_{20}) / \Sigma_{\text{н}} (C_{21}-C_{30})$	-	-	1,50	1,30	-	-	-	1,00	1,46
	$\Sigma_{\text{н}} (C_{15}-C_{20}) / \Sigma_{\text{н}} (C_{21}-C_{30})$	0,22	0,42	1,46	1,14	0,81	0,65	0,97	0,95	1,34
	$\Sigma_{\text{н}} (C_{16}-C_{22}) / \Sigma_{\text{н}} (C_{23}-C_{29})$	0,61	0,71	2,47	2,02	1,64	1,27	1,43	1,49	2,25
	nC ₁₇ /nC ₁₈	0,44	0,97	1,12	1,48	0,81	1,20	1,01	0,99	1,08
	nC ₁₇ /nC ₂₅	0,08	0,65	3,85	2,61	1,32	1,31	2,62	1,81	3,16
	CPJ ₁	1,05	0,90	0,91	1,14	0,94	1,04	0,81	0,82	1,06
	CPJ ₂	1,02	1,00	1,19	0,82	1,09	1,32	1,37	1,29	1,05
	$\Sigma i (\text{до } C_{20}) / \Sigma i (C_{21}-C_{25})$	1,34	3,83	5,14	45,51	5,60	3,44	4,58	4,25	2,53
	iC ₁₈ /iC ₁₉ +iC ₂₀	0,14	0,17	0,16	0,14	0,30	0,11	0,13	0,10	0,87
	Пр/н-C ₁₇	0,79	0,75	0,80	1,83	0,65	0,50	0,34	0,46	0,13
	Фит/н-C ₁₈	1,52	0,81	1,28	4,65	1,02	1,11	0,61	0,66	0,18
	$K_i = \frac{\text{Пр+Фит}}{\text{nC}_{17}+\text{nC}_{18}}$	1,15	0,78	1,04	3,24	0,84	0,81	0,48	0,56	0,15
	$\Sigma \text{изопр} / \Sigma \text{н-алк.}$	0,06	0,12	0,36	0,72	0,18	0,16	0,17	0,18	0,10
	Пристан/Фитан	0,23	0,91	0,70	0,58	0,95	0,54	0,57	0,69	0,76

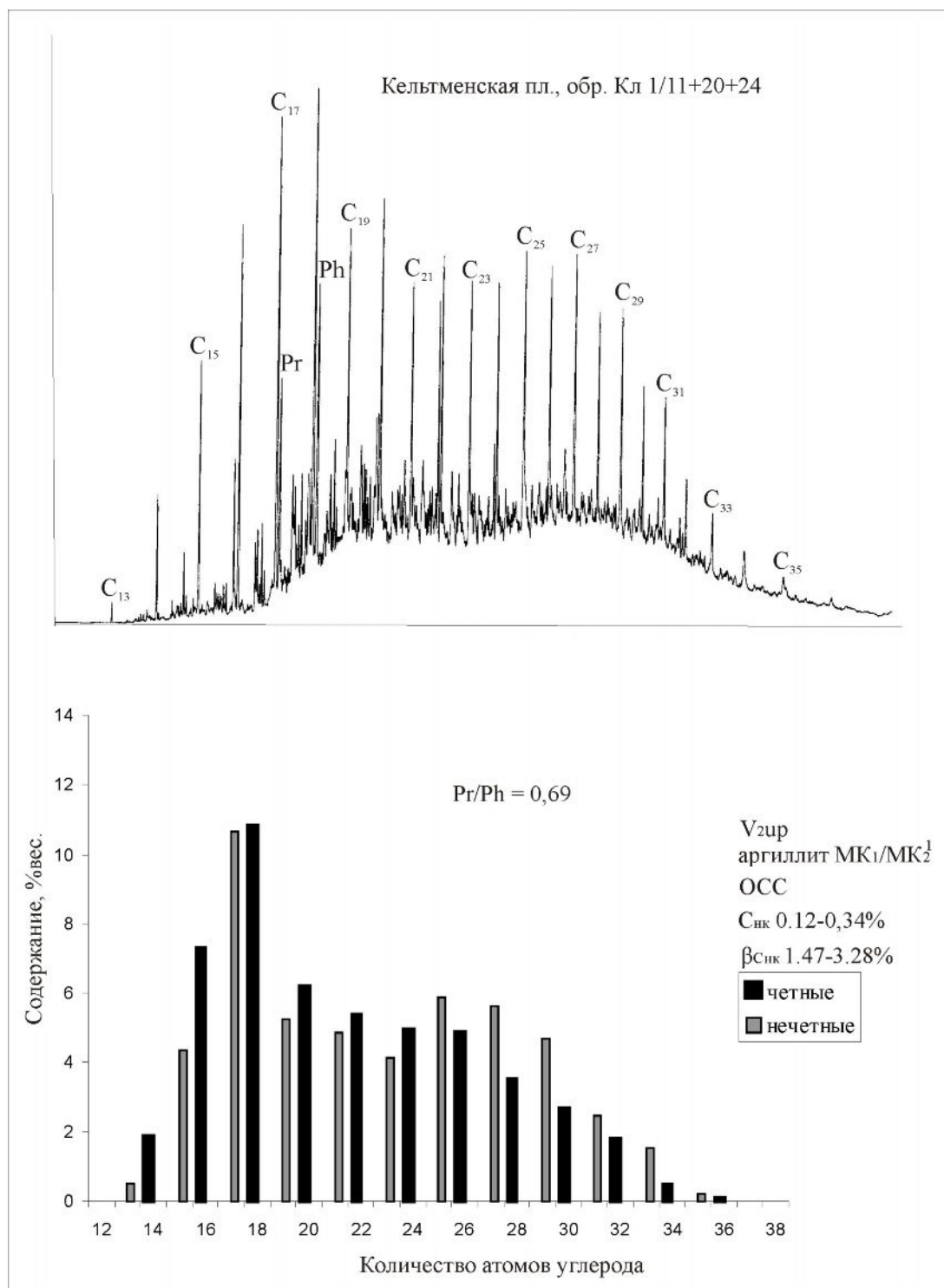


**Рис. 10. Хроматограмма и распределение нормальных алканов;
Сторожевская пл., скв. 1, гл. 1000,0–1005,0 м, D_{3dm}; синбитумоид**

Пиролитические характеристики также весьма «убогие» – НІ редко достигает 100 мг/г. При этом надо сказать: все эти характеристики в пределах 1 км с глубиной не меняются.

Если учесть, что катагенез ОВ в V_2 не выше $МК_1$ (только в низах V_2 Кельтменского разреза $МК_2^1$), то приходится констатировать, что столь низкая битуминозность и столь низкий остаточный потенциал ОВ обусловлены не катагенезом, а изначальными свойствами ОВ и прежде всего его низкой исходной липидностью, а также диагенетической окисленностью. И действительно, ОВ в породах V_2 представлено почти нацело донными бурыми водорослями; их плёнки в породах часто видны невооруженным глазом. Породы V_2 не представляют собой чистых аргиллитов, а являются, как правило, трёхкомпонентными, «мусорными» (песок, алевроит, глина в разных количественных соотношениях). Планктонная составляющая ОВ в таких породах, вероятно, была окислена в диагенезе. Таким образом, те незначительные количества битумоидов, что содержатся в породах, являются исходными, а не остаточными и никакой их эмиграции не было и быть не могло, т.е. отложения V_2 Вычегодского прогиба не являются материнскими, в отличие от своих возрастных аналогов более южных районов Русской плиты [Баженова, 2002; Баженова и др., 2000] и в какой-то мере Мезенской синеклизы.

Мы располагаем двумя детальными анализами синбитумоидов V_2 из сборных проб скв. Кельтменская-1 и скв. Сторожевская-1 (табл. 1–2). Надо сказать, что при идентичном катагенезе ОВ ($МК_1$) пробы существенно различаются между собой и по групповому, и по углеводородному составу, и по характеру распределения нормальных алканов (рис. 11–12). Битумоид скв. Кельтменская-1 при содержании $C_{нк}$ в породах 0,12–0,34% и концентрации битумоидов 0,004–0,005% содержит всего 14,79% масел, в отличие от Сторожевского битумоида, в котором 46,51% масел (при среднем содержании $C_{нк}$ в породах 0,09% и синбитумоидов 0,007%). В Кельтменском битумоиде насыщенная фракция составляет 23,33%, а в Сторожевском – 83,75%; при этом в последнем ароматика представлена только моноаренами, а в Кельтменском битумоиде присутствуют все три ароматические фракции (табл. 1). Распределение нормальных алканов в Кельтменском битумоиде ступенчатое, а в Сторожевском плавное; при идентичных индивидуальных и групповых максимумах в Кельтменском образце несколько больше n -алканов выше $n-C_{25}$ (табл. 2, рис. 11). Так или иначе, Кельтменский битумоид тяжелее Сторожевского аналога. В обеих пробах в незначительных количествах были обнаружены НКУВ, где преобладают нефтены и арены, концентрация n -алканов C_6 – C_{10} минимальная. Вышеприведенное сравнение двух вендских битумоидов позволяет предположить, что в ОВ Сторожевского образца ощутима доля планктона, что и отразилось на битуминологических и углеводородных характеристиках.



**Рис. 11. Хромотограмма и распределение нормальных алканов;
Кельтменская пл., скв. 1, гл. 1896–1903; 2347–2354 м., V_{2up}; синбитумоид**

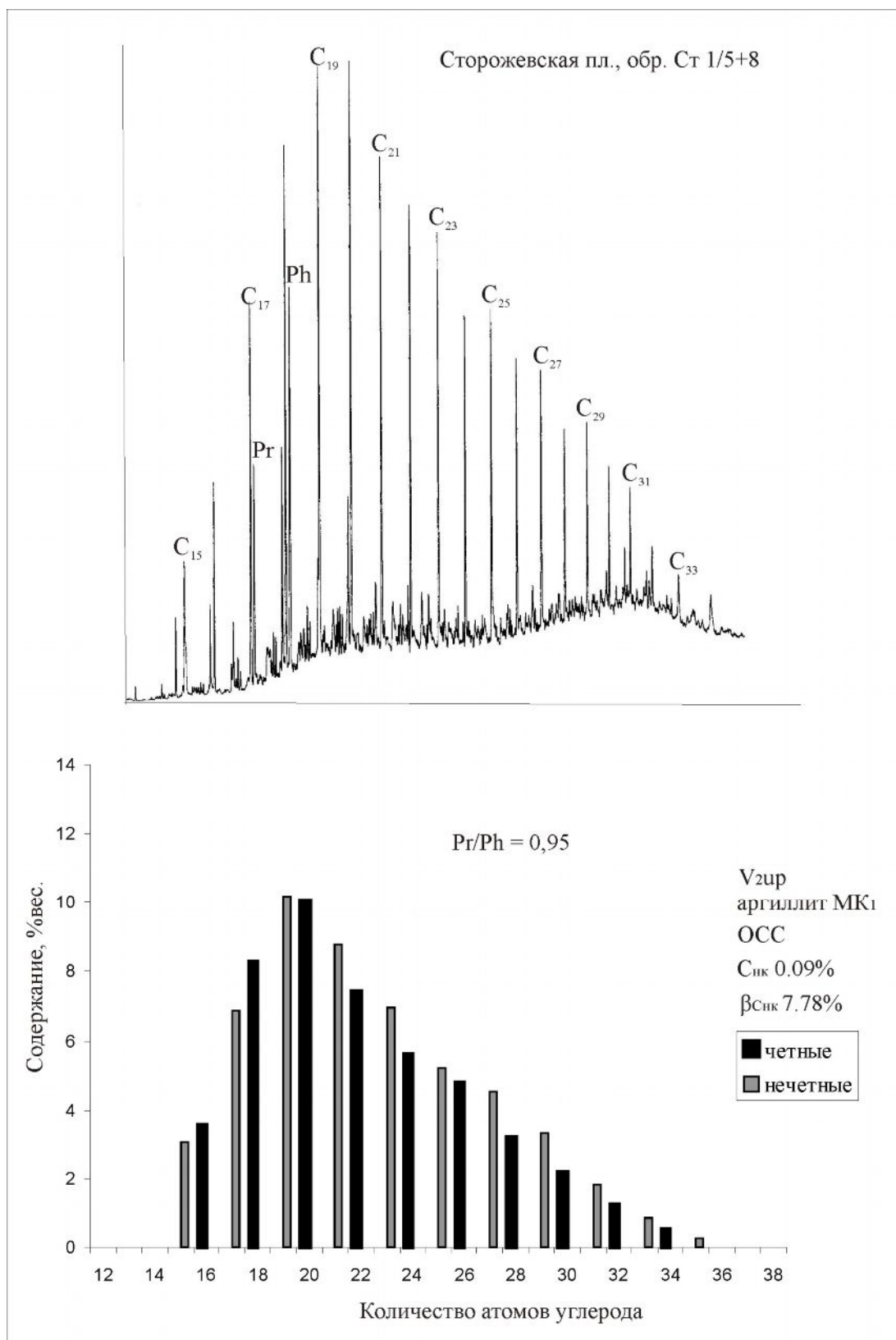


Рис. 12. Хроматограмма и распределение нормальных алканов;
Сторожевская пл., скв. 1, гл. 1732–1737; 1921–1926 м, V_{2up}; синбитумоид

Среди рифейских образцов наиболее интересным оказался образец из верхней темноцветной пачки карбонатной толщи R_3 скв. Кельтменская-1. При содержании $C_{нк}$ 0,38% и битумоида 0,048% очень высоким оказалось содержание масел – 67,72%, а в них насыщенной фракции УВ – 88,14%. Полиарены отсутствуют (табл. 1). В образце крайне низкое количество изопреноидов, характерное для битумоидов рифея (Σ изопреноидов/ Σ н-алканов – 0,10; табл. 2). Распределение нормальных алканов плавное, «классическое», свойственное существенно планктонному рифейскому ОВ (рис. 13). Индивидуальный максимум н-алканов – н- C_{17} , групповой – н- $C_{15} \div$ н- C_{20} ; н-алканы $> C_{30}$ – 3,41%, т.е. их совсем мало (табл. 2, рис. 13). Этот образец находится на границе градаций $МК_2^1 / МК_2^2$, т.е. на «главном пике» главной фазы нефтеобразования (ГФН), когда новообразование битумоидов превышает их отдачу; он и обладает всеми характерными чертами, описанными выше. В нём также выявлены НКУВ, среди которых идентифицированы н-алканы C_7 – C_{10} , нафтенны C_8 , арены C_8 .

К сожалению, у нас нет пока детальных анализов других образцов из темноцветных пачек карбонатной толщи R_3 . Среднее содержание $C_{нк}$ в верхней пачке 0,47% (т.е. близкое к доманикоидному), среднее содержание битумоидов (с учётом люминесцентных данных) – 0,057%, $\beta_{C_{нк}}^{cp}$ – 12,12%; мощность пачки не менее 100 м. В нижней пачке среднее содержание $C_{нк}$ 0,32%, битумоидов (по люминесцентным данным) – 0,015%, $\beta_{C_{нк}}^{cp}$ – 4,69%; мощность пачки порядка 150 м. Градация катагенеза ОВ в нижней пачке $МК_3$, т.е. битумоиды здесь носят более остаточный характер по сравнению с верхней пачкой.

Битумоид известняка няфтинской свиты R_3 скв. Сторожевская-1 при содержании его в породе 0,005% и содержании $C_{нк}$ 0,04% ($\beta_{C_{нк}}$ 12,5%), вероятно является исходным, а не остаточным. В нём 40,17% масел, а в них 85,11% метано-нафтовых УВ, арены представлены только моно-фракцией (табл. 1). Этот образец напоминает таковой V_2 той же скважины, только распределение н-алканов в рифейском битумоиде более прихотливое с явным преобладанием нечётных н-алканов по всему ряду (рис. 14).

Битумоид средней пробы аргиллитов пезской свиты (содержание $C_{нк}$ – 0,18÷0,46%, битумоида 0,006%, $\beta_{C_{нк}}$ – 1,30÷3,33%, градация катагенеза $МК_2^2$ – $МК_3$; табл. 1) обладает относительно невысоким содержанием масел – 27,03%, но в них значительное содержание насыщенной фракции – 70%; содержание асфальтенов довольно высокое – 22,70%, самое высокое среди всех образцов рифея и венда. Распределение н-алканов прихотливое, ступенчатое, с преобладанием нечётных н-алканов в «тяжелой» половине ряда (рис. 15).

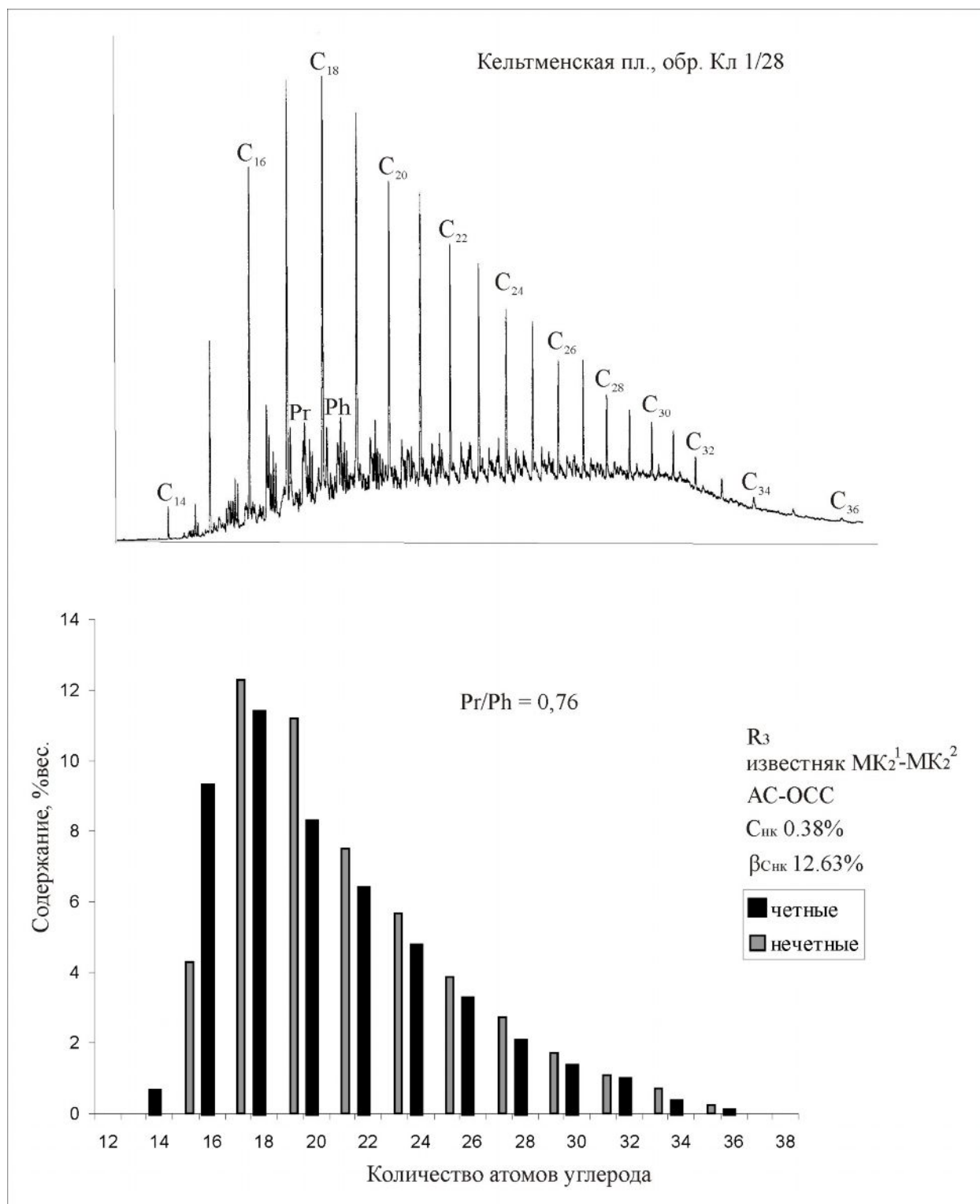
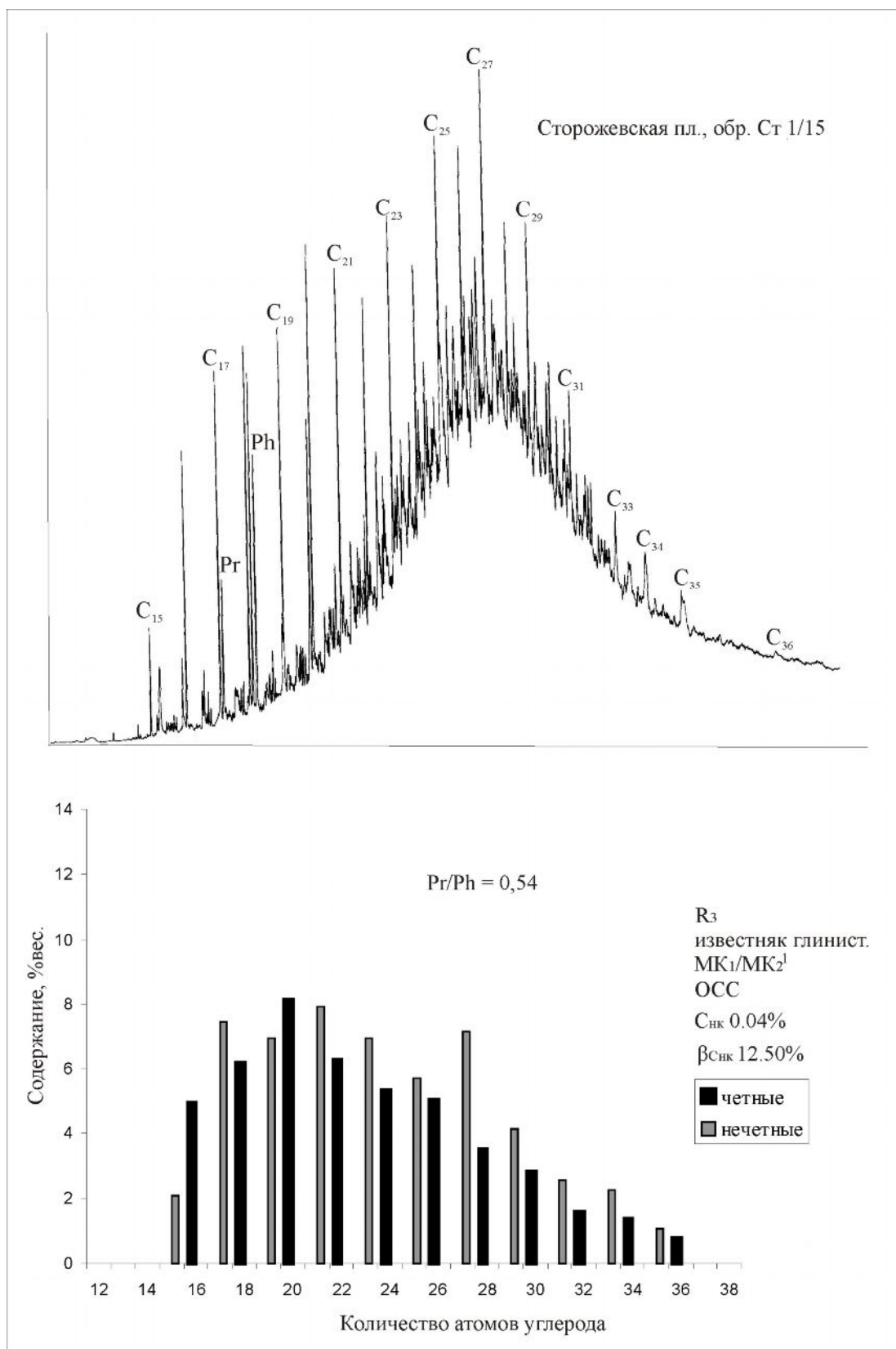
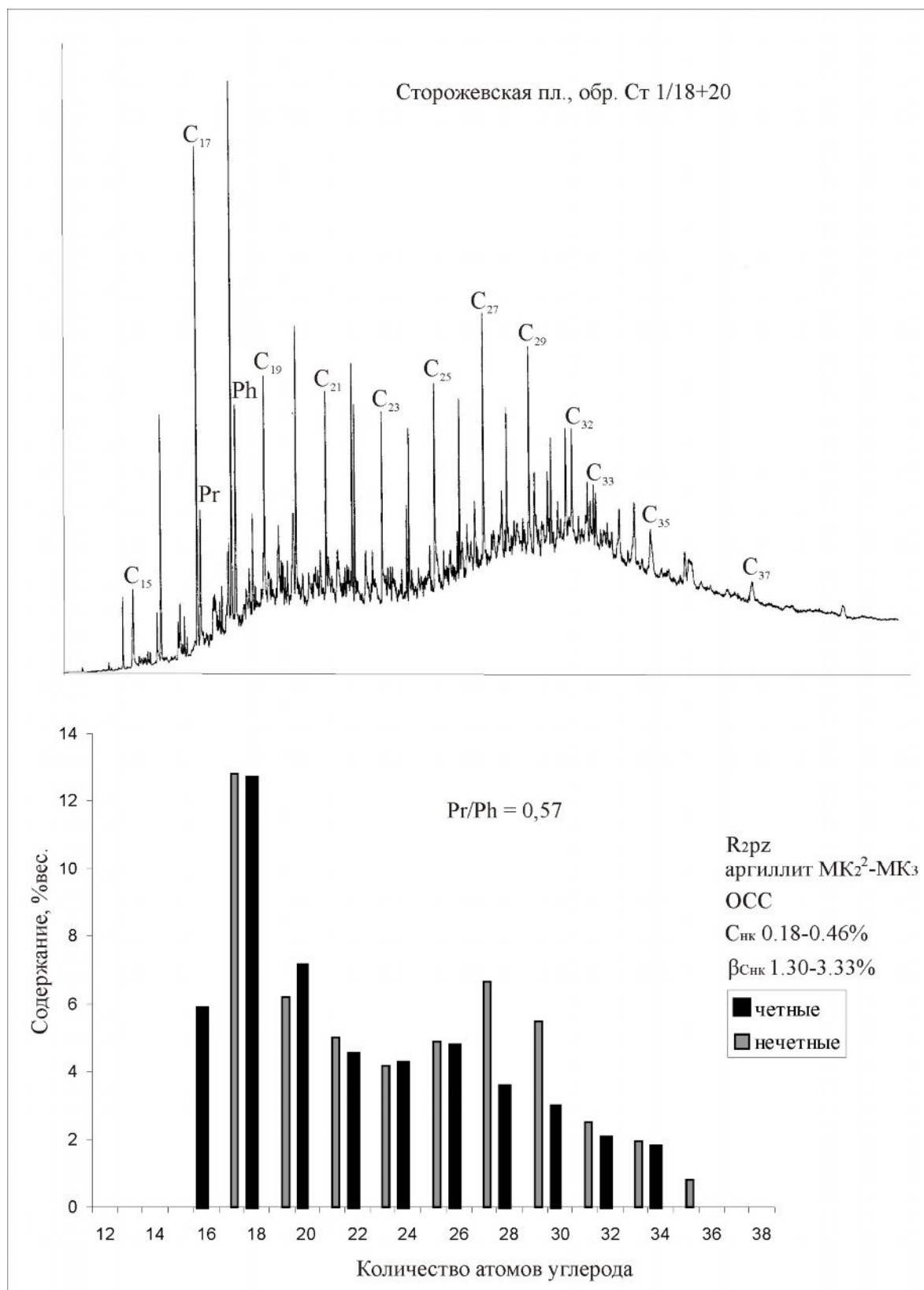


Рис. 13 Хроматограмма и распределение нормальных алканов;
Кельтменская пл., скв. 1, гл. 3044–3049 м, R₃; синбитумоид



**Рис. 14 Хроматограмма и распределение нормальных алканов;
Сторожевская пл., скв. 1, гл. 2549,0–2554,0 м, R₂; синбитумоид**



**Рис. 15. Хроматограмма и распределение нормальных алканов;
Сторожевская пл., скв. 1, гл. 3348,0–3450,0 м, R₂pz; синбитумоид**

По концентрации $C_{нк}$ породы R_{2pz} относятся к субдоманикоидам, т.е. нефтепроизводившим, однако слишком низкие содержания битумоидов в породах и в ОБ свидетельствуют скорее о том, что эти битумоиды являются исходными, а не остаточными при «низком качестве ОБ», в котором, вероятно – как и в большинстве образцов V_2 – преобладают донные бурые водоросли.

Близкими характеристиками обладает битумоид мергеля дорогорской свиты R_2 скв. Серёговская-1 (табл. 1–2; рис. 16).

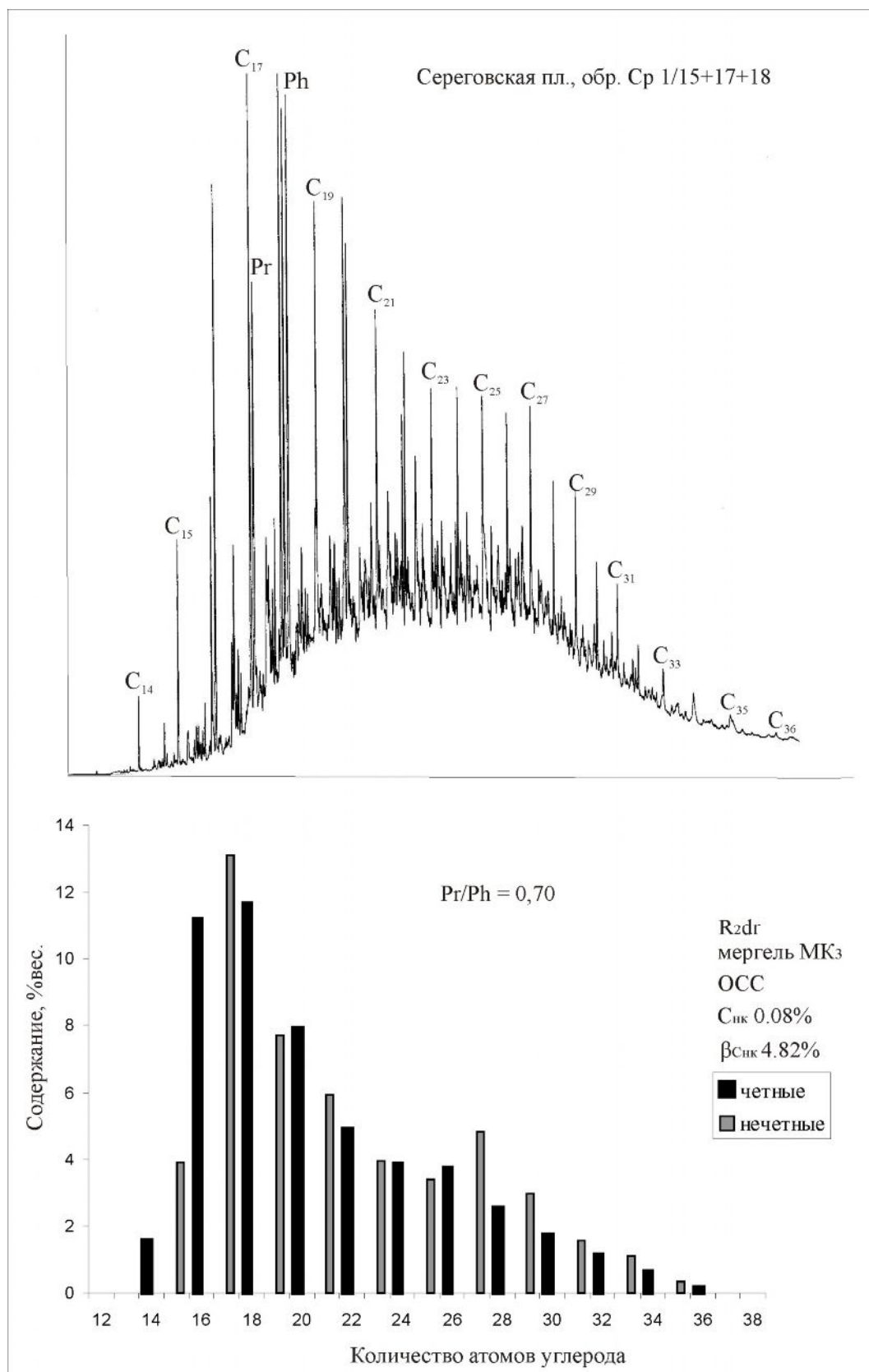
Интересно сравнить состав алкановой фракции битумоидов венда и рифея Вычегодского прогиба с таковым одновозрастных битумоидов и нефтей Сибирской платформы. Последние по составу и характеру распределения нормальных алканов довольно чётко подразделяются на две группы. Первая группа – битумоиды рифея. Они отличаются плавным («последовательным») распределением n -алканов, крайне низким содержанием изопренанов и отсутствием (по крайней мере обнаружением в них) 12-метил- и 13-метилзамещённых алканов. Вторая группа – битумоиды венда. Распределение n -алканов в них в той или иной мере ступенчатое, количество изопренанов значительно выше, а упомянутые метилзамещённые алканы присутствуют. Синбитумоиды обеих групп практически не имеют исключений. Вышерассмотренные особенности транслируются нефтям, что позволяет надёжно коррелировать пары: «материнская порода – нефть» [Дахнова и др., 2010; Баженова и др. 2010].

В битумоидах и рифея, и венда Вычегодского прогиба 12-13-метил-замещённых алканов не обнаружено, изопренанов очень мало и в тех, и в других (в вендских, правда, всё-таки чуть больше), а распределение n -алканов опять таки в обоих случаях ступенчатое, за исключением синбитумоида рифея из скв. Кельтменская-1 (рис. 13). Таким образом, в отличие от восточносибирских битумоидов рифея и венда, в таковых Вычегодского прогиба индивидуального «возрастного лица» обнаружить не удалось. Возможно, это связано с особенностями фациально-биоценотического состава ОБ; однако на данной стадии изученности об этом ничего определённого сказать пока нельзя.

Проведенные нами исследования позволили выявить пока только два нефтегазопроизводивших уровня в осадочном выполнении Вычегодского прогиба: две темноцветные пачки в карбонатной толще R_3 скв. Кельтменская-1.

В заключение хотелось бы дать описание любопытного геолого-геохимического факта; вкратце о нём упоминалось в начале при общей характеристике разрезов глубоких скважин.

При проведении полевых маршрутов в районе возвышенности Джежим-Парма (юго-восточное продолжение Тиманского кряжа, северное обрамление Вычегодского прогиба) на рч. Ышкемес было встречено небольшое ($\sim 1 \text{ м}^2$) обнажение серых аргиллитов.



**Рис. 16. Хроматограмма и распределение нормальных алканов;
Сереговская пл., скв. 1, г.л. 3490,0–3767,0 м, R_{2dr}; синбитумоид**

Других обнажений на рч. Ышкemes нет. В своё время эти аргиллиты были приняты за «стратотип» ышкemesской свиты рифея, и это название стало «кочевать» в геологической литературе по данному региону. Однако мы сразу обратили внимание, что эти аргиллиты по степени катагенетической преобразованности совершенно не похожи на высокометаморфизированные аргиллиты (сланцы) других районов Тиманского кряжа. Геохимические исследования образца этих аргиллитов показали следующее: содержание $C_{\text{нк}}$ – 0,27%; ХБА – 0,008%; $\beta_{\text{Снк}}^{\text{ХБА}}$ – 2,96%; содержание масел в битумоиде – 37,65%; смол бензольных – 3,53%; спиртобензольных – 38,82%; асфальтенов – 20,00%; доля метано-нафтеновой фракции в УВ – 90,62%, ароматической соответственно – 9,38%. На рис. 17 приведено распределение нормальных алканов в насыщенной фракции УВ.

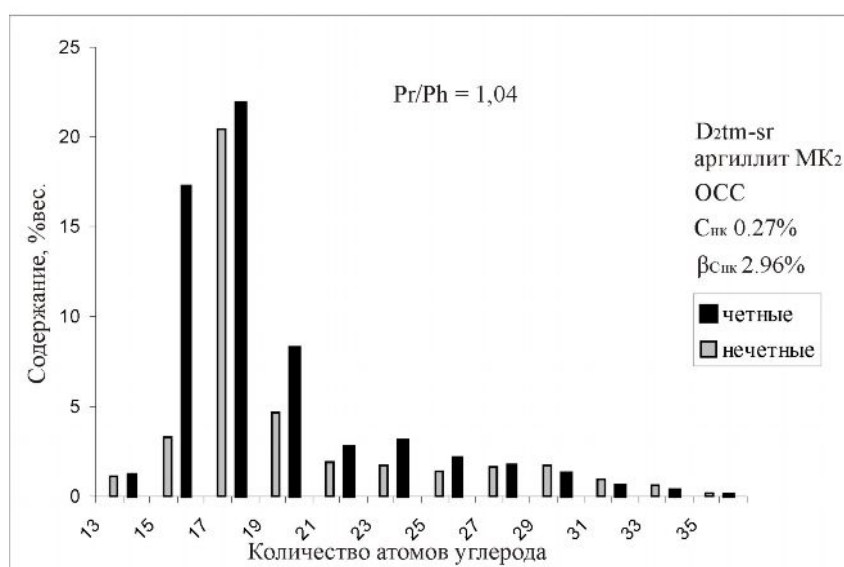


Рис. 17. Распределение нормальных алканов; Джежим-Перма, обн., D₂(?)

Обращает на себя внимание явное преобладание лёгких УВ – $C_{16}\div C_{18}$ при максимуме C_{18} и в целом преобладание нечётных УВ по всему ряду. Распределение н-алканов по фракциям следующее: $C_{12}\div C_{14}$ – 2,29%; $C_{15}\div C_{20}$ – 75,72%; $C_{21}\div C_{25}$ – 10,84%; $C_{25}\div C_{30}$ – 8,44%; $> C_{30}$ – 2,71%. Отношение н-алканы/изопренаны – 0,21; среди последних также преобладают лёгкие УВ, – отношение лёгкие/тяжелые 6,66. Отношение пристан/фитан = 1,04. Параметры битумоида характерны для оксисорбосапропелитов, гумусовая примесь явно отсутствует. Какого же возраста эти аргиллиты? Скорее всего девонского – «остаточный» девонский грабен, очевидно, постпалеозойского возраста (на Джежим-Парме закартированы многочисленные дизъюнктивные нарушения). Какая часть девонского разреза? Скорее всего, D₃tm-sr; к тому времени относится крупнейший в Тимано-Печорском бассейне максимум трансгрессии (с перекрытием Тиманского кряжа). Первичное ОВ явно сапропелевого облика,

но сильно окисленное в диагенезе. И хотя битумоида в породе мало, величина $\beta_{\text{Снк}}$ порядка 3% в метаморфизованных породах рифея практически невероятна.

Описанный факт – свидетельство того, что геохимические исследования во многих случаях помогают оценивать сугубо геологические феномены.

Литература

Баженова Т.К. Геохимические аспекты нефтегазоносности рифея древних платформ России // Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа. К созданию общей теории нефтегазоносных недр. - Материалы VI Международной конференции. - М.: ГЕОС, 2002. – С. 61-64.

Баженова Т.К., Гембицкая Л.А. Масштабы эмиграции углеводородов из нефтематеринских горизонтов докембрия Средне-Русского бассейна // Литология и полезные ископаемые Центральной России. - Воронеж, 2000. – С. 9-10.

Баженова т.К. Баженова О.К., Гембицкая Л.А. Катагенетические несогласия и проблема нефтегазоносности докембрия Мезенской синеклизы // Южные районы республики Коми: геология, минеральные ресурсы, проблемы освоения. - Сыктывкар, 2002. – С. 117-119.

Баженова Т.К., Дахнова М.В., Можегова С.В. Нефтеобразование в верхнем протерозое Сибирской платформы (источники, масштабы, время, свидетельства) // Нефтегеологический прогноз и перспективы развития нефтегазового комплекса востока России. - СПб.: ВНИГРИ, 2010. – С. 81-85.

Дахнова М.В., Жеглова Т.П., Можегова С.В., Мялкина Ю.А., Назарова Е.С., Нечитайло Г.Е. Роль рифейских и вендских нефтематеринских толщ как поставщиков углеводородов в зоны нефтенакопления на юге Сибирской платформы // Успехи органической геохимии. Материалы конференции 11-15 октября 2010 г. - Новосибирск, 2010. – С. 129-132.

Bazhenova T.K., Bogoslovskiy S.A., Shapiro A.I., Vasil'eva V.F., Rogozina N.A.

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

VYCHEGDA TROUGH (RUSSIAN PLATE) - ORGANIC GEOCHEMISTRY AND GEOTHERMAL HISTORY OF SEDIMENTARY FILL

The geochemical features and catagenetic / geothermal history of sedimentary fill of the Vycheгда trough are analyzed. The Vendian deposits were not oil-and-gas-generating. The source rock was identified in the Upper Riphean carbonate section in the east of trough; hydrocarbon generation processes had been performed during all phases of plunge.

Keywords: *catagenesis, geothermal gradient, bitumens, hydrocarbons, Vendian, Upper Riphean, Vycheгда trough, Russian plate.*

References

Bazhenova T.K. *Geokhimicheskie aspekty neftegazonosnosti rifeya drevnikh platform Rossii* [Geochemical aspects of the oil and gas potential of Riphean ancient platforms of Russia]. In: *Novye idei v geologii i geokhimii nefti i gaza. K sozdaniyu obshchey teorii neftegazonosnykh nedr.* Proceedings of VI International conference. Moscow: GEOS, 2002, p. 61-64.

Bazhenova T.K., Gembitskaya L.A. *Masshtaby emigratsii uglevodorodov iz neftematerinskikh gorizontov dokembriya Sredne-Russkogo basseyna* [Migration of hydrocarbons from Precambrian source layers of Mid-Russian Basin]. In: *Litologiya i poleznye iskopaemye Tsentral'noy Rossii.* Voronezh, 2000, S. 9-10.

Bazhenova T.K., Bazhenova O.K., Gembitskaya L.A. *Katageneticheskie nesoglasiya i problema neftegazonosnosti dokembriya Mezenskoy sineklizy* [Catagenetic unconformity and issues of oil and gas potential of the Precambrian Mezensk syncline]. In: *Yuzhnye rayony respubliky Komi: geologiya, mineral'nye resursy, problemy osvoeniya.* Syktyvkar, 2002, p. 117-119.

Bazhenova T.K., Dakhnova M.V., Mozhegova S.V. *Nefteobrazovanie v verkhnem proterozoe Sibirskoy platformy (istochniki, masshtaby, vremya, svidetel'stva)* [Oil formation in the Upper Proterozoic of the Siberian platform (sources, scope, time, evidence)]. In: *Neftegeologicheskiy prognoz i perspektivy razvitiya neftegazovogo kompleksa vostoka Rossii.* Saint Petersburg: VNIGRI, 2010, p. 81-85.

Dakhnova M.V., Zheglova T.P., Mozhegova S.V., Myalkina Yu.A., Nazarova E.S., Nechitaylo G.E. *Rol' rifeyских i vendских нефтематеринских толщ как поставщиков углеводородов в зону нефтенакopleniya na yuge Sibirskoy platformy* [The role of the Riphean and Vendian strata as hydrocarbon suppliers into the area of oil accumulation in the south of the Siberian Platform]. In: *Uspekhi organicheskoy geokhimii.* Proceedings of conference, 11-15 October 2010. Novosibirsk, 2010, p. 129-132.

© Баженова Т.К., Богословский С.А., Шапиро А.И., Васильева В.Ф., Рогозина Н.А., 2013