

УДК 553.98

РОЛЬ ТРИАСОВЫХ НЕФТЕГАЗОМАТЕРИНСКИХ ПОРОД В ФОРМИРОВАНИИ СКОПЛЕНИЙ НЕФТИ ВО ВПАДИНЕ ФУКАН (КИТАЙ)

Хоуцян Ян¹✉, Елена Всеходовна Соболева²

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; yanghouqiang@qq.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; phitan@yandex.ru

Аннотация. Представлены результаты геолого-геохимических исследований органического вещества нефтегазоматеринских пород и нефтий залежей свиты Карамай анизиано-ладинского возраста в восточной части впадины Фукан Джунгарского нефтегазоносного бассейна. Рассмотрены характеристики органического вещества в глинистых аргиллитах верхней части свиты Карамай (T_2k), по пиролитическим параметрам и биомаркерам реконструированы состав исходного органического вещества, условия его накопления и степень зрелости. Темно-серые и серые глины верхней части свиты Карамай накопились в пресноводном или слабосолоноватоводном озере с относительно восстановительными условиями седиментации. Из-за тектонического положения в настоящее время органическое вещество свиты в пределах впадины находится на разных градациях мезокатагенеза (от MK_1 до MK_3) в пределах главной зоны нефтеобразования, поэтому ее генерационный потенциал реализован неравномерно. Аргиллиты из верхней части свиты Карамай обеспечивали генерацию углеводородных флюидов для карамайских залежей, расположенных в погруженной части восточного склона впадины Фукан.

Ключевые слова: впадина Фукан, свита Карамай, триасовые залежи, органическое вещество, нефть, биомаркеры

Для цитирования: Ян Х., Соболева Е.В. Роль триасовых нефтегазоматеринских пород в формировании скоплений нефти во впадине Фукан (Китай) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 3. С. 17–25.

THE ROLE OF TRIASSIC SOURCE ROCKS IN THE FORMATION OF OIL ACCUMULATION IN THE FUKANG DEPRESSION (CHINA)

Houqiang Yang¹✉, Elena V. Soboleva²

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; yanghouqiang@qq.com

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; phitan@yandex.ru

Abstract. This article presents the results of geological and geochemical studies of the organic matter of source rocks and oil from reservoirs in the Karamay Formation (Anizian–Ladinian stages) in the eastern part of the Fukang Depression in Junggar petroleum basin. The quantity, quality, and degree of maturity of the organic matter in clayey mudstones in upper part of the Karamay Formation (T_2k) were considered and the composition of the original organic matter, the conditions of its accumulation and the degree of maturity were reconstructed using pyrolytic parameters and biomarkers. The dark gray and gray mudstone in upper part of the Karamay Formation accumulated in fresh or low salinity lakes with relatively reducing conditions. At present, the organic matter of the Formation within the depression is in the zone of mesocatagenesis MK_1 – MK_3 , and therefore has not fully realized its oil-geological potential. It has been previously established that mudstones in upper part of the Karamay Formation provided the hydrocarbon fluids for the Karamay reservoirs located in the submerged part of the Fukang Depression.

Keywords: Fukang depression, Karamay Formation, Triassic reservoirs, organic matter, oil, biomarkers

For citation: Yang H., Soboleva E.V. The role of Triassic source rocks in the formation of oil accumulation in the Fukang Depression (China). *Moscow University Geol. Bull.* 2022; 3: 17–25. (In Russ.).

Введение. Геохимические исследования — неотъемлемая часть геологоразведочных работ для выделения нефтегазоматеринских пород (НГМП) в геологическом разрезе изучаемой территории, оценки перспектив нефтегазоносности региона и определения дальнейших направлений поиска и разведки залежей углеводородных флюидов.

Генерация углеводородов в осадочных толщах определяется количеством, качеством органическо-

го вещества (составом), окислительно-восстановительной обстановкой седиментации и начальной стадии фоссилизации в диагенезе, а также степенью преобразования пород в катагенезе. Генерация нефти происходит в НГМП в главной зоне нефтеобразования (ГЗН), которая соответствует градациям MK_1 – MK_3 .

Впадина Фукан расположена в центральной части Джунгарского нефтегазоносного бассейна (НГБ)

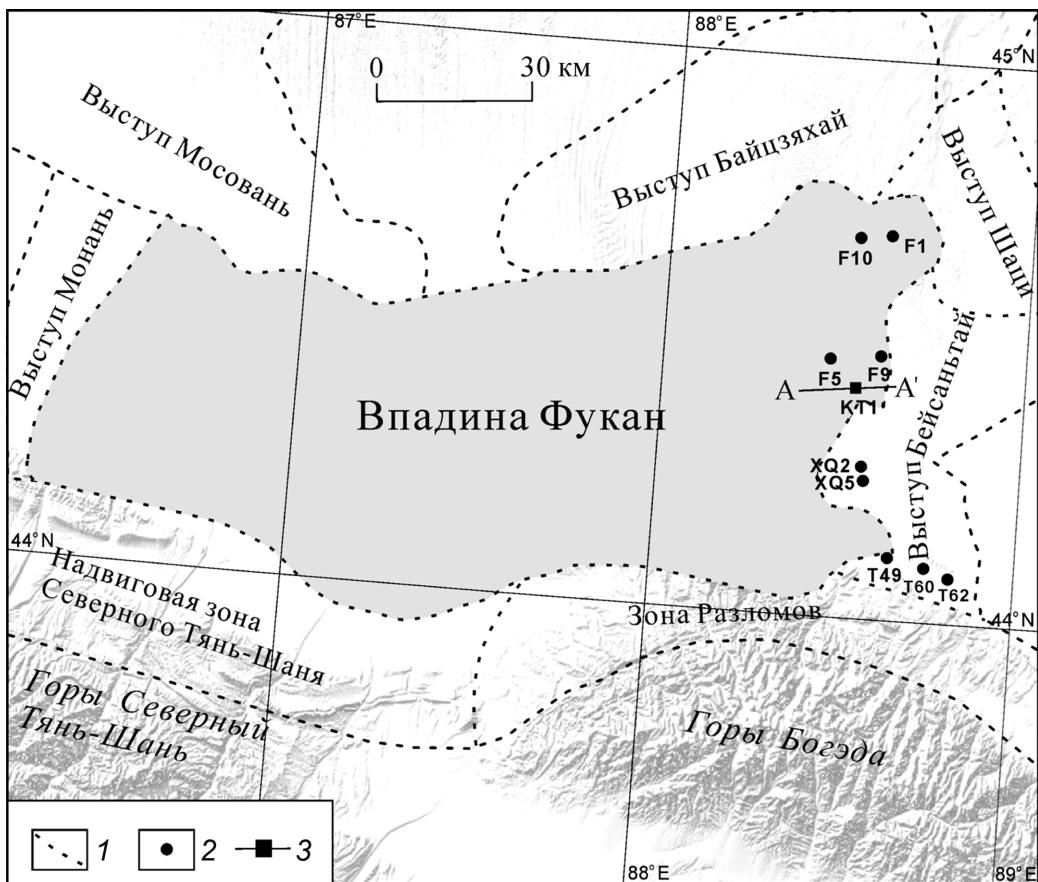


Рис. 1. Схема основных структурных элементов впадины Фукан и ее обрамления с положением скважин отбора образцов пород и нефти: 1 — границы структур обрамления впадины; 2 — скважины отбора образцов пород и нефти; 3 — положение сейсмического профиля

в Китае. В восточной части она ограничена склонами выступов Байцзяхай, Шац и Бейсаньтай, а в южной части отделена от зоны Разломов надвигами (рис. 1). Восточная часть впадины Фукан — важнейшая область поисков, разведки и добычи нефти и газа Синьцзянской нефтегазовой компанией АКОО «Петрочайна». В пермских и юрских отложениях выявлены значительные запасы углеводородных флюидов, а степень изученности и прогнозирования скоплений нефти и газа в отложениях триасовой системы пока относительно невелика.

В среднетриасовую эпоху территория Джунгарского осадочного бассейна начала медленно опускаться, находящиеся в нем мелкие и средние озера объединялись, сформировалось крупное озеро [Wu, 2005]. При углублении и расширении этого озера во впадине Фукан и в ее восточной части накапливались мощные темно-серые глинистые отложения, обогащенные органическим веществом [He et al., 2008; Shang et al., 2011].

Поскольку нефть свиты Карамай (T_{2k}), полученная при испытании скважины F5, пробуренной на склоне выступа Бейсаньтай, отличается по составу биомаркеров от таковых в органическом веществе (ОВ) пермских НГМП, исследователи предполагают, что их источником служит ОВ триасовых НГМП [Chen et al., 2003]. Исходя из этого выяснение роли триасовых НГМП в формировании скоплений нефти во впадине Фукан представляет актуальную задачу для определения направлений поисков и разведки залежей нефти и газа.

Материалы и методы исследований. Для выяснения и обоснования выделения НГМП в среднем отеле триасовой системы из восточной части впадины Фукан отобрано 37 образов углистых аргиллитов, темно-серых и серых глинистых аргиллитов, которые в основном представляют всю верхнюю часть разреза свиты Карамай из скважин F1, F5, F9, F10 и T49 с разной степенью зрелости ОВ (преимущественно из разреза скважины F10), также отобрано 5 проб нефти из залежей свиты Карамай из скважин F5, XQ2, XQ5, T60 и T62. На рис. 2 представлен сводный литолого-стратиграфический разрез триасовых отложений по данным бурения скважины F10.

Содержание органического углерода ($C_{\text{опр}}$, wt%) пород измерялось на элементном анализаторе углерода и серы (Leco CS-230). Пиролитические параметры T_{max} ($^{\circ}\text{C}$), S_1 (мг УВ/г породы) и S_2 (мг УВ/г породы) определены на пиролизаторе Rock-Eval (OGE-II). Водородный индекс НИ рассчитывался через отношение количества S_2 к содержанию $C_{\text{опр}}$ в образце (мг УВ/г $C_{\text{опр}}$). Отражательную способность витринита породы (R°) измеряли на тестере DM LPWITH MSP200. Молекулярный состав углеводородных биомаркеров нефти и ОВ пород изучен методами газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии (Agilent 7890–5975c).

Результаты исследований и их обсуждение. По данным бурения триасовые отложения представлены всеми отелями и широко распространены на территории восточной части впадины Фукан, отсутствуют лишь в сводовой части выступа Бей-

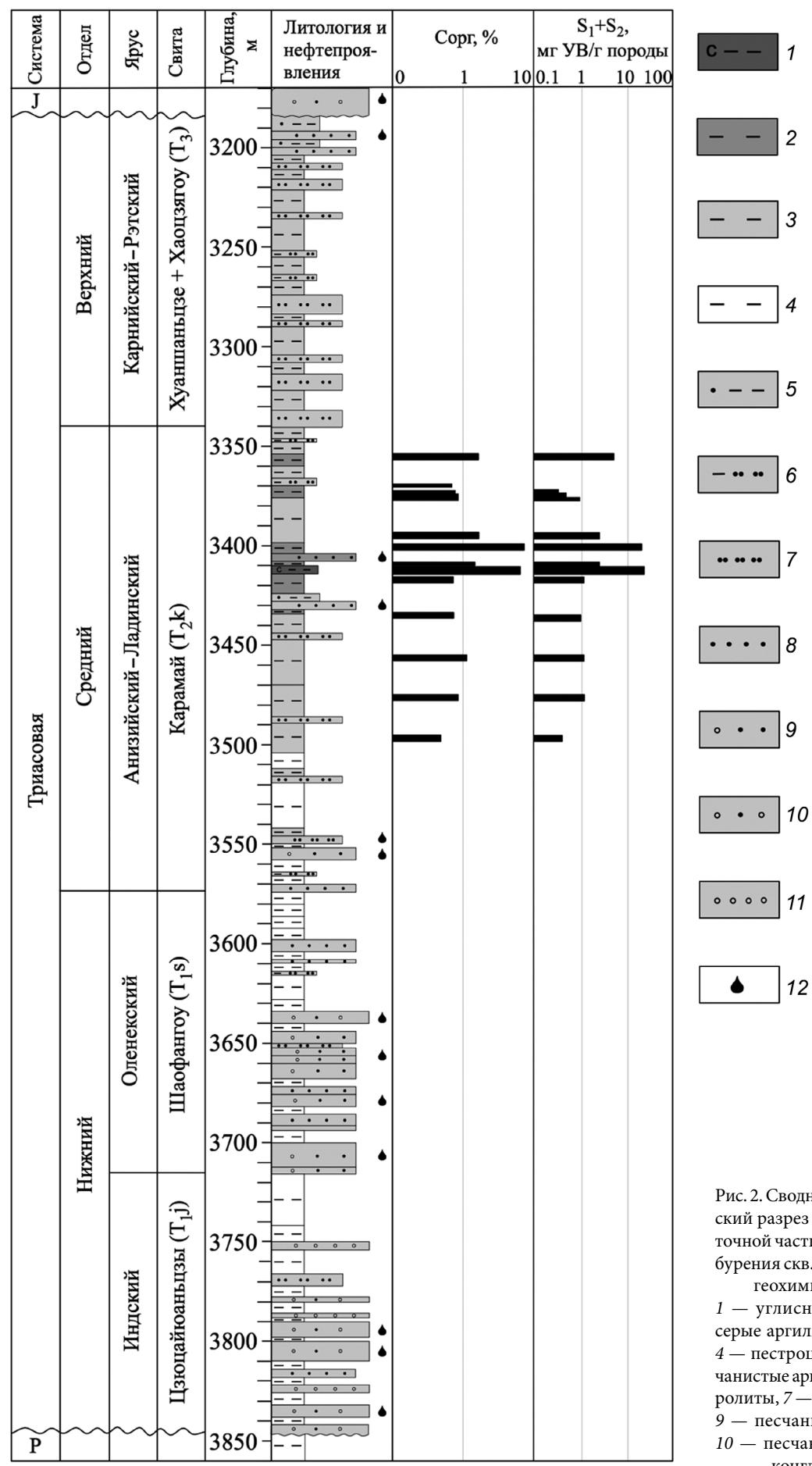


Рис. 2. Сводный литолого-стратиграфический разрез триасовых отложений в восточной части впадины Фукан (по данным бурения скв. F10) с нефтепроявлениями и геохимическими параметрами:

1 — углисные аргиллиты, 2 — темносерые аргиллиты, 3 — серые аргиллиты, 4 — пестроцветные аргиллиты, 5 — песчанистые аргиллиты, 6 — глинистые алевролиты, 7 — алевролиты, 8 — песчаники, 9 — песчаники с включениями гальки, 10 — песчанистые конгломераты, 11 — конгломераты, 12 — нефть

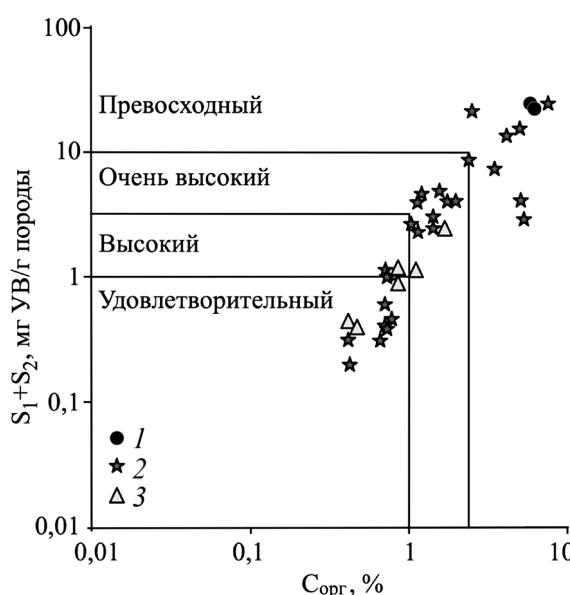


Рис. 3. Генерационный потенциал аргиллитов верхней части свиты Карамай: 1 — углистые аргиллиты, 2 — темно-серые аргиллиты, 3 — серые аргиллиты

саньтай. Они несогласно залегают на пермских и с размывом несогласно перекрываются юрскими породами (рис. 2).

В отложениях нижнего отдела триасовой системы в восточной части впадины Фукаан выделяются свиты Цзюцайюаньцзы (T_{1j}) индского и Шаофангоу (T_{1s}) оленекского яруса, которые представлены пестроцветными аргиллитами (коричневыми, желто-коричневыми, серо-зелеными), серыми мелкозернистыми песчаниками, алевролитами и песчаниками с включениями гальки. Максимальная мощность нижнетриасовых отложений отмечена в северной части склона выступа Бейсаньтай (в скв. SQ13) и составляет 554 м.

В нижней части свиты Карамай (T_{2k}) преобладают пестроцветные аргиллиты с маломощными прослойками мелкозернистых песчаников, алевролитов и песчаников с включениями гальки, а в верхней отмечены мощные темно-серые и серые глинистые аргиллиты с редкими прослойками мелкозернистых песчаников, алевролитов, глинистых алевролитов и углистых аргиллитов. В сводовой части выступа Бейсаньтай свита отсутствует, постепенно ее мощность увеличивается в погруженной центральной части впадины Фукаан до 400 м.

В верхнем отделе триасовой системы выделяются свиты Хуаншаньцзы (T_{3h}) карнийско-норийского и Хаоцзягоу (T_{3hj}) рэтского ярусов, они сложены в основном переслаиванием серых, зеленовато-серых аргиллитов и алевролитов. Верхнетриасовые отложения подвергались разрушению в процессе денудации и эрозии, их общая мощность изменяется от 0 до 379 м.

Так, согласно предварительному анализу литологического состава в разрезе восточной части

впадины Фукаан наиболее вероятные НГМП приурочены к верхней части свиты Карамай (в скв. F10 залегают на глубине 3340–3454 м).

Содержание органического вещества в породах. Генерационный потенциал пород в первую очередь определяется количеством органического углерода ($C_{\text{опр}}$). По результатам исследования образцов керна скважин в восточной части впадины Фукаан содержание $C_{\text{опр}}$ в аргиллитах верхней части свиты Карамай изменяется от 0,41 до 7,48%, в среднем составляет 2,28%, самое высокое значение фиксируется в углистых аргиллитах (в скв. F10 на глубине 3410–3414 м), их суммарная мощность во впадине составляет 2–6 м.

Аргиллиты верхней части свиты Карамай характеризуются варьирующими значениями суммы пиролитических параметров ($S_1 + S_2$), которые изменяются от 0,12 до 27,76 мг УВ/г породы (преобладают величины ≥ 1 мг УВ/г породы) (рис. 3). Среди них наибольшее содержание отмечено в углистых отложениях (скв. F10 на глубине 3410–3414 м) и темно-серых аргиллитах (скв. F10 на глубине 3400–3402 м) (рис. 1, 2).

Тип исходного органического вещества. Диагностика типа ОВ — важный показатель при выделении НГМП, поскольку генетический тип ОВ влияет не только на генерационный потенциал, но и на фазовый состав образующихся флюидов. Органическое вещество в НГМП разделяется на растворимую в органических растворителях часть (битумоид) и нерастворимую (кероген). Определяют генетический тип ОВ чаще всего по комплексу исследований, включающих пиролитические параметры, изотопный состав углерода керогена и состав биомаркеров битумоида.

Кероген аквагенного ОВ при пиролизе характеризуется повышенными значениями водородного индекса ($HI > 300$ мг УВ/г $C_{\text{опр}}$), в то время как для керогена смешанного и террагенного органического вещества $HI < 300$ мг УВ/г $C_{\text{опр}}$ [Tissot, Welte, 1984; Huang et al., 1984].

На диаграмме зависимости водородного индекса от температуры выхода углеводородов T_{max} при пиролизе (рис. 4) видно, что отложения верхней части свиты Карамай находятся в главной зоне нефтеобразования (435–465 °C), а большинство образцов представлено как аквагенным (Π_1), так и смешанным (Π_2 – Π_3) типами ОВ.

Изотопный состав углерода ОВ зависит не только от генетического типа исходного ОВ, но и от фракционирования изотопов углерода при седиментации и на ранней стадии фосилизации ОВ в диагенезе. Углерод аквагенного ОВ обогащен легким изотопом ^{12}C по сравнению с террагенным [Конторович и др., 1986]. В морских и озерных осадках, для которых характерна еще низкая степень фосилизации ОВ, большая часть белков и углеводов живого вещества (ЖВ) биопродуцентов, главным образом фитопланктона и бактерий, осуществляю-

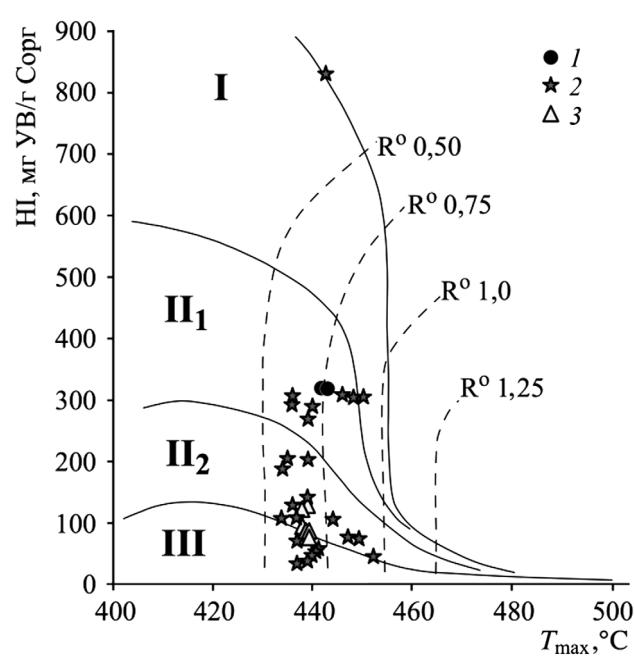


Рис. 4. Выделение типа ОВ аргиллитов в верхней части свиты Карамай по соотношению водородного индекса (HI) и температуры генерации углеводородов (T_{\max}). Условные обозначения см. на рис. 3

щих его биохимическую переработку в седименто- и диагенезе, разрушается, а из липидов и липоидов в диагенезе формируется новое полимерлипидо-липоидное вещество — геосополимер. Углерод липидо-липоидной части ЖВ изотопно наиболее легкий, поэтому углерод сополимера (будущего керогена) и битумоида богат изотопом ^{12}C .

Изотопный состав углерода ($\delta^{13}\text{C}$) керогена в аргиллитах верхней части свиты Карамай варьирует в пределах 5–6‰ (от –22,82 до –28,03‰), чаще отмечаются значения от –24 до –26 и от –27 до –28‰, эти величины соответствуют смешанному и аквагенному ОВ соответственно [Huang et al., 1984]. В битумоидах содержание изотопа ^{13}C меньше, чем в керогене

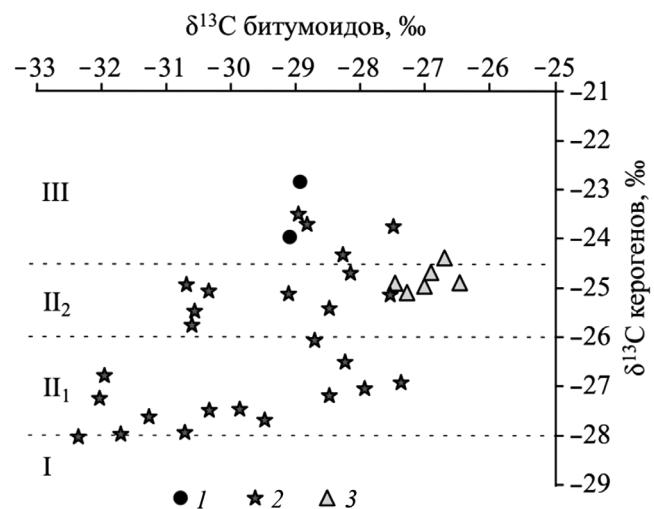


Рис. 5. Вариации изотопного состава углерода ($\delta^{13}\text{C}$) керогена и битумоида разных типов ОВ свиты Карамай. Условные обозначения см. на рис. 3

(рис. 5). Разница между $\delta^{13}\text{C}$ керогена и битумоида в некоторых образцах достигает 5–6‰, причины этого пока однозначно не выяснены. Аномально низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ керогена отмечены в углистых аргиллитах (скв. F10 на глубине 3410–3414 м), но их тип ОВ по значениям HI определяется как аквагенный. Возможно, это связано с недостаточным поступлением CO_2 в озерную воду при метаболизме водорослей, при этом степень фракционирования изотопов углерода снижается, и, таким образом, изотопный состав углерода ОВ становится тяжелее [Pardue, 1976]. Как видно на рис. 5, обособляется только группа серых аргиллитов, содержащих ОВ смешанного типа (II₂–III), в других образцах нет четкой зависимости между изотопным составом углерода керогена и битумоида.

Состав биомаркеров. Относительное соотношение стерановых УВ состава C_{27} – C_{29} (холестан $\text{C}_{27}\text{H}_{48}$, метилхолестан $\text{C}_{28}\text{H}_{50}$, этилхолестан $\text{C}_{29}\text{H}_{52}$) используется в качестве индикатора типа исходно-

Таблица 1

Значения коэффициентов для состава биомаркеров битумоидов глинистых отложений из верхней части свиты Карамай в восточной части впадины Фукан

№ п/п	Скважина	Глубина, м	Тип аргиллита	TAR	Pr/Ph	Стераны $\text{C}_{29}/\text{C}_{27}$	G/ HC_{30}	Σ стераны/ Σ гопаны	Гопаны $\text{C}_{35}/\text{C}_{32}$	
1	F10	4311,44–3411,52	углистые	0,51	2,21	0,80	0,06	0,02	0,03	
2		3370,48–3370,65		0,24	2,47	1,82	0,20	0,06	0,06	
3		3400,97–3402,12		0,31	2,27	0,59	0,08	0,03	0,03	
5	F5	4639,87–4645,13	темно-серые	0,84	0,98	1,40	0,12	0,06	0,06	
6				0,09	1,19	1,84	0,18	0,18	0,18	
7				0,69	1,01	1,31	0,23	0,26	0,26	
8	F9	3390,70–3990,77	серые	0,27	2,89	0,55	0,05	0,17	0,17	
9		4210,5		0,62	2,08	2,44	0,18	0,06	0,06	
11	F5	4458,05		0,28	1,44	2,57	0,10	0,57	0,57	
12		4449–4468		0,70	1,16	1,30	0,20	0,32	0,32	
13				0,95	1,22	1,27	0,22	0,23	0,23	

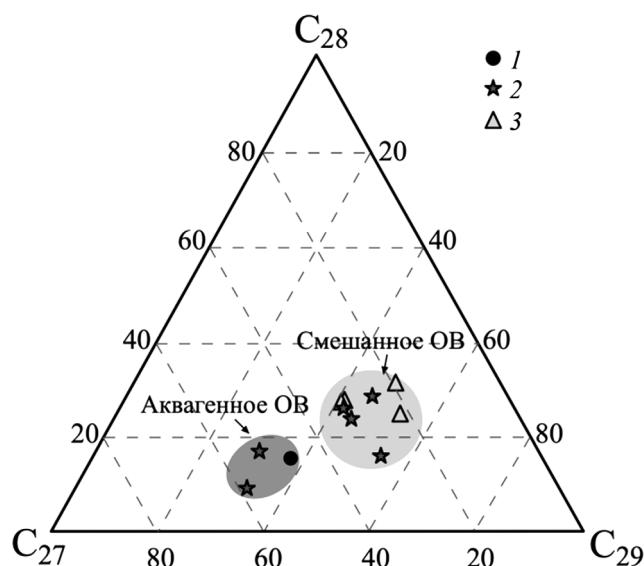


Рис. 6. Тип органического вещества по составу стеранов C_{27-29} в битумоидах. Условные обозначения см. на рис. 3

го ОВ. Преобладание этилхолестана указывает на больший вклад высшей растительности в формирование исходного ОВ [Huang, Meinschein, 1979], а также некоторых видов цианобактерий, тогда как холестан и метилхолестан свидетельствуют о значительном вкладе водорослевого ОВ [Peters et al., 2005]. В большей части битумоидов темно-серых и серых аргиллитов значение соотношения стеранов C_{29}/C_{27} изменяется от 1,27 до 2,57 (в среднем 1,80), что характерно для смешанного ОВ, а для углистых аргиллитов и некоторых темно-серых аргиллитов ($\text{НИ} > 300 \text{ мг УВ/г } C_{\text{опр}}$ образцы № 1, 3 и 8), величина соотношения стеранов C_{29}/C_{27} не более 0,80, т. е. это аквагенное ОВ (табл. 1, рис. 6). Из этого также следует, что ОВ углистых аргиллитов имеет сапропелевый генезис, т. е. формировалось из некромы озерных одноклеточных водорослей и бактерий. При формировании состава ОВ темно-серых и серых аргиллитов происходил больший привнос липидов и липоидов высшей растительности с суши в озеро.

Гопаноиды входят в состав живого вещества цианобактерий (синезеленые водоросли) и других видов бактерий [Ourisson et al., 1984], в ЖВ эукариот их меньше, поэтому отношение $\Sigma\text{стерааны}/\Sigma\text{гопаны}$ отражает вклад в исходное ОВ некромы бактерий и/или водорослей. Значение соотношения $\Sigma\text{стерааны}/\Sigma\text{гопаны}$ для всех образцов составляет <1 (от 0,02 до 0,57), особенно для образцов углистых аргиллитов (0,02), что указывает на участие бактерий в преобразовании некромы организмов в седименто- и раннем диагенезе, их некрома также вносила определенный вклад в количество исходного ОВ и влияла на его состав.

Распределение нормальных алканов в изученных битумоидах отличается многообразием (рис. 7). Для битумоидов аквагенного ОВ (соотношение стеранов $C_{29}/C_{27} < 0,80$, образцы № 1, 3 и 8) распре-

деление н-алканов показывает преобладание членов гомологического ряда $n\text{-C}_{12}\text{-}n\text{-C}_{25}$ в общей структуре значения коэффициента TAR ($n\text{-C}_{27}+n\text{-C}_{29}+n\text{-C}_{31})/(n\text{-C}_{15}+n\text{-C}_{17}+n\text{-C}_{19})$ составляют $0,27\div0,51$. В битумоидах углистых аргиллитов из интервала глубины 3411,44–3411,52 м и темно-серых аргиллитов с глубины 3400,97–3402,12 м (скв. F10) отмечен второй максимум на $n\text{-C}_{33}$, что может быть связано с некромой бактерий, поскольку высокомолекулярные н-алканы и жирные кислоты также характерны для липидов живого вещества бактерий. Нечетные гомологи (НЧ) н-алканов преобладают над четными (Ч) ($\text{НЧ/Ч}=1,19$ и $1,15$ соответственно), особенно в высокомолекулярной области ($\text{CPI}_{24-34}=1,35$ и $1,30$ соответственно), поэтому можно предположить, что ОВ реализовало свой потенциал еще не полностью.

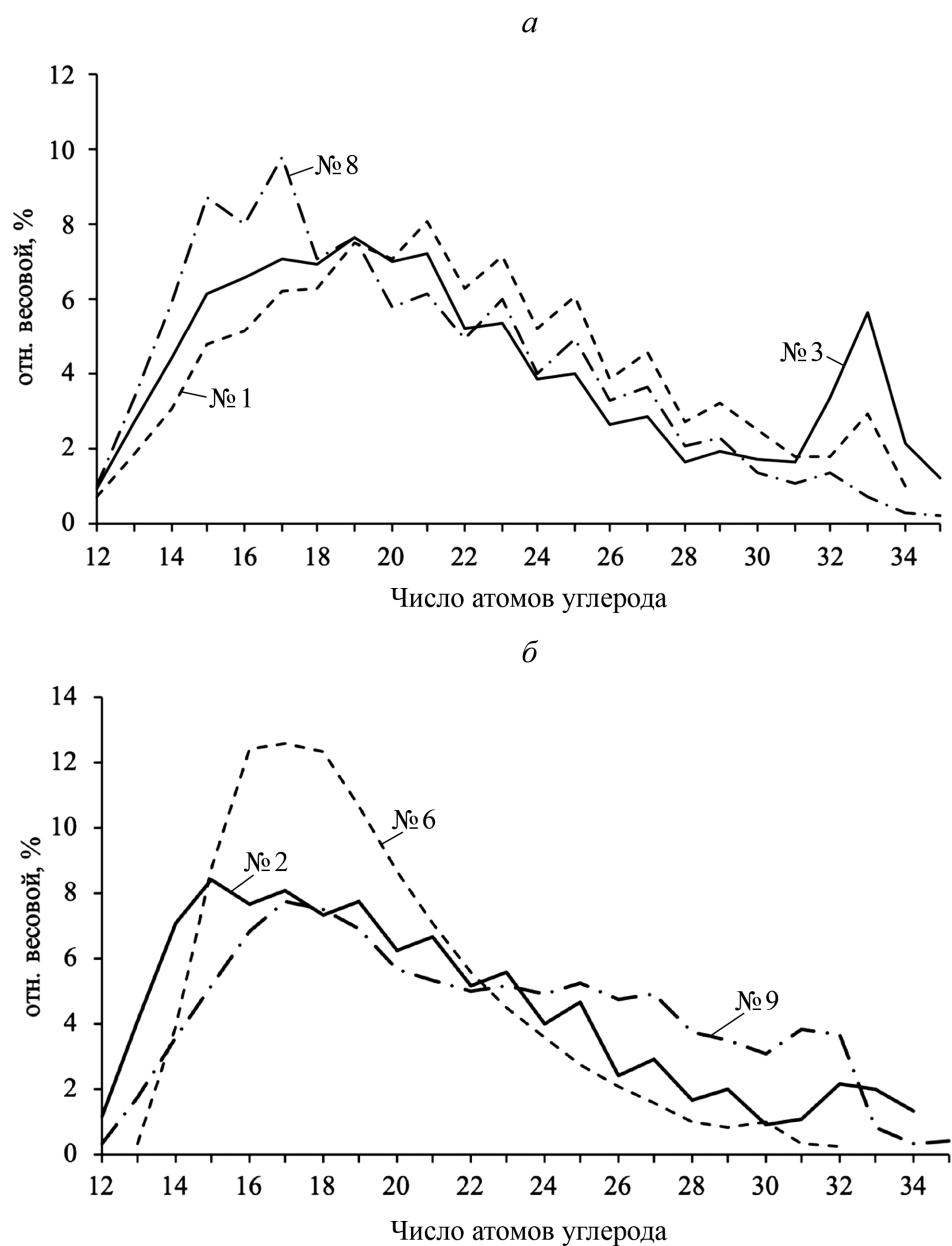
В составе нормальных алканов битумоидов смешанного ОВ (образцы № 2, 6, 9) в максимальной концентрации также содержатся углеводороды $n\text{-C}_{16-19}$. Коэффициент TAR составляет $0,09\div0,95$, что зависит не только от разного вклада террагенного ОВ, но и от разной степени его преобразования. Об этом также свидетельствует нечетность н-алканов ($\text{НЧ/Ч}=0,98\div1,16$, $\text{CPI}_{24-34}=0,99\div1,39$). Для образца темно-серых аргиллитов с глубины 4639–4645 м из скв. F5 в распределении н-алканов отмечен незначительный второй максимум на $n\text{-C}_{30}$, значение CPI близко к единице (0,99), а плавное уменьшение н-алканов от низкомолекулярных к высокомолекулярным и $\text{НЧ/Ч}<1$ указывает на относительно высокую преобразованность ОВ и восстановительный режим в диагенезе.

Таким образом, по распределению нормальных алканов в битумоидах не представляется возможным сделать конкретные выводы о типе исходного ОВ, поскольку вклад вещества террагенного и аквагенного генезиса в состав исходного ОВ образцов различных литологических разностей различен. В битумоидах пород с большей глубиной концентрация более легких гомологов н-алканов выше (рис. 7), что может зависеть от зрелости ОВ.

Условия накопления органического вещества. Соотношение изопреноидов пристана ($\text{Pr}-C_{19}H_{40}$) и фитана ($\text{Ph}-C_{20}H_{42}$) в битумоидах зависит в основном от условий седиментации и ранней фосилизации ОВ, поэтому это надежный индикатор окислительно-восстановительных условий седименто- и диагенеза [Петров, 1984]. Для аквагенного озерного ОВ соотношение $\text{Pr}/\text{Ph}<3$ указывает на восстановительную обстановку, тогда как $\text{Pr}/\text{Ph}>3$ — на относительно окислительную [Mei, 1980]. Значения коэффициента Pr/Ph для всех изученных образцов изменяются от 0,98 до 2,89, это свидетельствует о том, что карамайские НГМП отлагались в пресноводном или солоноватоводном озере со слабовосстановительными условиями седиментации [Li, 1999].

Гомогопаны $C_{30}\text{-}C_{35}$ (Н) образуются из бактериогопанотропала, который окисляется в условиях, содержащих кислород, до гопановой кислоты C_{32}

Рис. 7. Распределение н-алканов в битумоидах органического вещества аквагенного (а) (образцы № 1, 3, 8) и смешанного (б) типов (образцы № 2, 6, 9)



[Peters et al., 2005], поэтому повышенную концентрацию гомогопанов C_{35} относительно C_{32} связывают с восстановительными условиями осадконакопления. Значения соотношения гомогопанов C_{35}/C_{32} для всех изученных образцов варьируют от 0,03 до 0,57 (в среднем 0,18), что характерно для пресноводного или слабосолоноватоводного озера с относительно восстановительными условиями седиментации. Исследования в других районах показали, что величина отношения гомогопанов C_{35}/C_{32} для пресноводной или слабосолоноватоводной обстановки составляет <1 , для соленого озера — >1 [Fu, 1991].

Спирт тетрахиманол, из которого образуется циклоалкан гаммацеран (G), входит в клеточную мембрану ЖВ галофильных простейших организмов, повышенная соленость воды озера подавляет метаболизм других бактерий, поэтому по гаммацерановому индексу (G/H30) можно судить о солености озерной воды. Величина индекса G/H30 для всех исследованных образцов изменяется от 0,05 до 0,23, что характерно для пресноводной или слабосолоноватоводной обстановки. При этом ни β -каротан, ни γ -каротан, образующиеся из каротиноидов ЖВ высших растений, в большинстве образцов не обнаружены.

Таким образом, можно заключить, что кармайские НГМП накапливались в пресноводном или слабосолоноватоводном озере с относительно восстановительными условиями седиментации.

Катагенез органического вещества. При погружении территории и увеличении при этом пластовых температуры и давления свойства и состав ОВ осадочных пород изменяются, этот процесс необратим. Следовательно, по свойствам керогена и характеристике состава биомаркеров битумоидов ОВ можно судить о степени катагенетического преобразования ОВ.

Значения T_{\max} варьируют от 436 до 452 °C, а отражательная способность витринита (R°) изменяется от 0,54 до 0,88%, что указывает на градации мезокатагенеза МК₁–МК₂ главной зоны нефтеобразования. Отметим, что образцы с более высокой зрелостью (МК₃) отобраны только из скв. F5 (глубина >4400 м).

При увеличении степени термической зрелости ОВ в ряду нормальных алканов концентрация нечетных и четных гомологов будет выравниваться, за исключением более глубоко залегающих образцов из скв. F5 (>4400 м). Как уже отмечено, в большинстве

битумоидов нечетные нормальные алканы преобладают над четными (рис. 5), что указывает на относительно невысокую степень преобразования ОВ.

С увеличением глубины залегания пород и пластовой температуры стераны с биоконфигурацией (20R) эволюционируют в стераны с геоконфигурацией (20S), поэтому соотношение этилхолестанов C_{29} 20S/(20R+20S) используется для определения относительной зрелости ОВ. Значения этого коэффициента для всех образцов изменяются от 0,30 до 0,45 — ОВ в карамайских НГМП зрелое, поэтому можно заключить, что карамайские НГМП вошли и находятся в главной зоне нефтеобразования.

Возникает новый вопрос: участвовали ли они в формировании залежей, находящихся в восточной части впадины Фукан? Для этого изучены изотопный состав углерода и состав биомаркеров нефтий залежей свиты Карамай (табл. 2).

Таблица 2

Значения коэффициентов для состава биомаркеров нефтий из залежей свиты Карамай в восточной части впадины Фукан

Скважина	Глубина, м	$\sigma^{13}\text{C}$, ‰	Pr/Ph	β -каротан/ $n\text{-C}_{25}$	Стераны C_{29}/C_{27}	G/H30
F5	4640	-31,08	4,25	—	1,5	0,10
T60	3235	-31,57	1,38	0,15	3,11	0,13
T62	2790	-31,86	1,31	1,18	2,55	0,14
XQ2	2098	-30,56	1,75	1,15	3,4	0,14
XQ5	2382	-30,97	1,34	0,25	3,34	0,16

Значения $\sigma^{13}\text{C}$ для изученных нефтий изменяются от -31,86 до -30,56‰, по этому параметру они похожи на нефти, образовавшиеся из ОВ пермских НГМП (от -32,06 до -30,01‰) [Ян, Соболева, 2021].

Нефть из скважины F5 по составу биомаркеров отличается от нефтий из залежей выступа Бейсаньтай. Она почти не содержит β -каротана, имеет высокую концентрацию стеранов C_{29} ($C_{29}/C_{27}=1,50$), коэффициент Pr/Ph равен 4,25, отношение G/H30 составляет 0,10, что характеризует условия осадконакопления смешанного ОВ в пресноводном или слабосолоноватоводном озере с относительно восстановительными условиями седиментации. В таких условиях во впадине Фукан накапливались карамайские НГМП. Наши выводы не противоречат выводам других исследователей [Chen et al., 2003; He et al., 2008].

Нефти залежей в своде выступа Бейсаньтай (скв. T62, XQ2) имеют повышенную концентрацию β -каротана, соотношение β -каротан/ $n\text{-C}_{25}$ составляет 0,15–1,18, содержат больше стеранов C_{29} (C_{29}

$C_{27}=2,55\div3,40$), чем нефти из скв. F5; отмечено повышенное содержание гаммацерана (G/H30=0,13÷0,16), коэффициент Pr/Ph составляет 1,31–1,75, что характеризует условия седиментации в солоноватоводном озере с восстановительными условиями осадконакопления. Высокое содержание β -каротана — уникальный биомаркер нефтий, которые образовались из ОВ пермских НГМП [Chen et al., 2016].

Таким образом, углеводородные флюиды, образовавшиеся из ОВ карамайских НГМП, не мигрировали в ловушки, приуроченные к своду выступа Бейсаньтай, они, вероятно, накапливались только в ловушках, расположенных в погруженной части и на склоне впадины Фукан. Вероятно, причиной этого могут быть тектонические движения, особенно во время яньшаньского орогенеза (J_3), которые осложнили строение восточного склона впадины Фукан и привели к возникновению взбросов с простиранием с севера на юг, экранирующих миграцию углеводородных флюидов в сводовые ловушки выступа Бейсаньтай (рис. 8).

Во время яньшаньской активизации (фазы мезозойской складчатости) карамайские НГМП еще не были зрелыми, поэтому эти взбросы могли экранировать вторичную миграцию к ловушкам углеводородных флюидов, образовавшихся позднее.

Заключение. Верхнекарамайские отложения во впадине Фукан представляют собой самостоятельный нефтегазоносный комплекс, в них присутствуют нефтегазоматеринские породы хорошего качества и песчаные природные резервуары.

Анализ результатов комплексного геолого-геохимического исследования ОВ пород свиты Карамай позволяет заключить, что в пределах восточной части впадины Фукан аргиллиты верхней части свиты Карамай — нефтегазоматеринские: они накапливались в пресноводном или слабосолоноватоводном озере в относительно восстановительной обстановке седиментации, богаты ОВ (в среднем $C_{\text{opr}}>2\%$) аквагенного (II_1 тип) и смешанного ($\text{II}_2\text{--III}$) генезиса и находятся в главной зоне нефтеобразования (с разной степенью градации от MK_1 до MK_2). Большинство аргиллитов характеризуется высоким генерационным потенциалом (≥ 1 мг УВ/г породы), они уже участвовали в формировании залежей нефти свиты Карамай.

Дальнейший прогноз нефтегазоносности восточной части впадины Фукан будет связан с определением путей миграции флюидов и по мере увеличения объема геологоразведочных работ на восточных склонах впадины — с выявлением ловушек разного генезиса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Конторович А.Э., Верховская Н.А., Тимошина И.Д., Фомичев А.С. Изотопный состав углерода органического вещества и битумоидов и некоторые спорные вопросы теории образования нефти // Геология и геофизика. 1986. № 5. С. 3–13.

Петров Ал.А. Углеводороды нефти. М.: Наука, 1984. 264 с.

Ян Х., Соболева Е.В. Геолого-геохимические условия формирования состава нефтий залежей пермского и юрского нефтегазоносных комплексов впадины Фукан (бассейн Джунгария) // Георесурсы. 2021. № 2. С. 110–119.

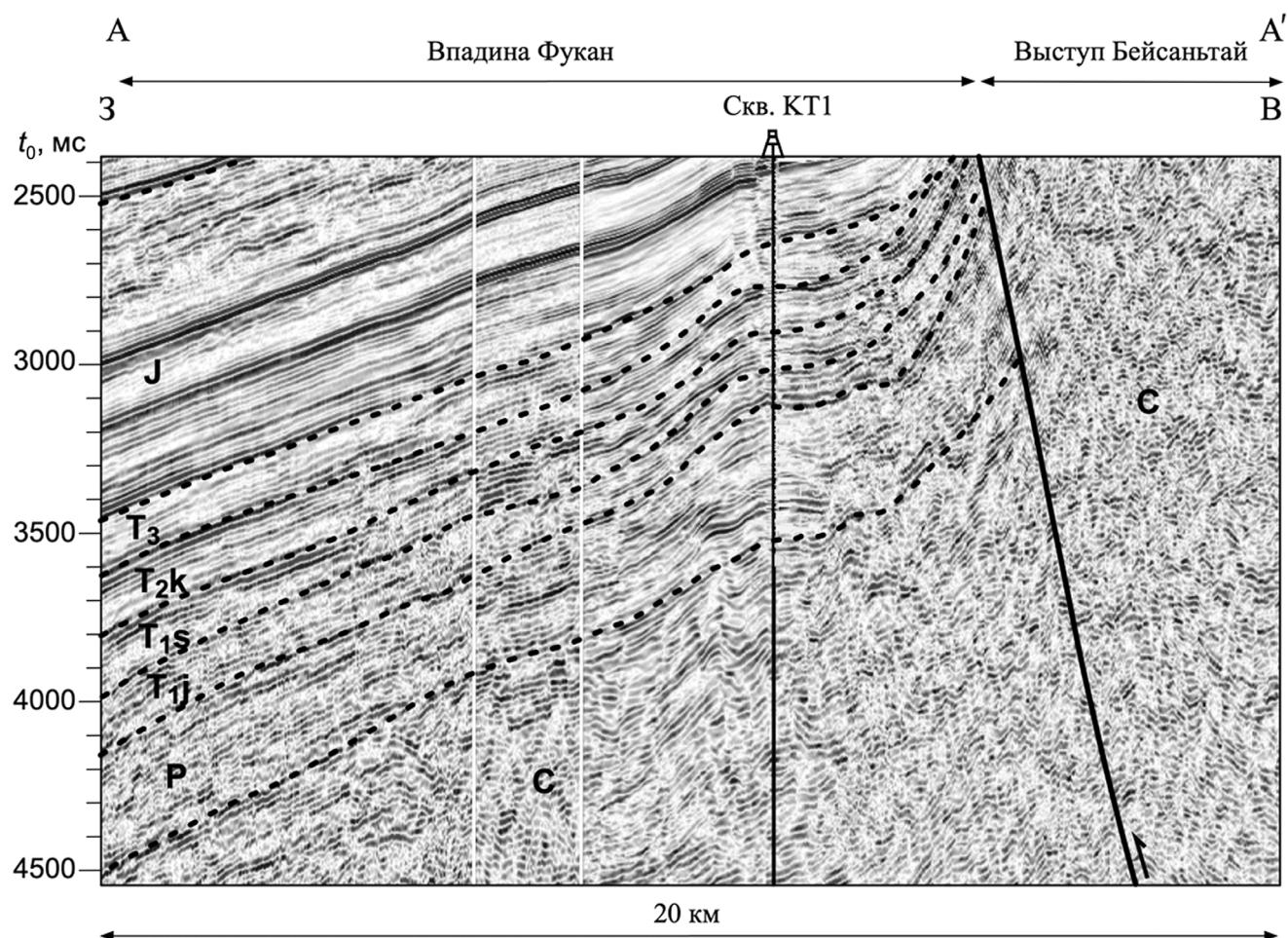


Рис. 8. Геологическая интерпретация сейсмического профиля А-А' (положение профиля см. на рис. 1)

Chen Jianping, Liang digang, Wang Xulong et al. The discovery and significance of the crude oils derived from Triassic source rocks in the Junggar Basin // *Geochimica*. 2003. Vol. 32, N 6. P. 582–590.

Chen Jianping, Wang Xulong, Deng Chunping et al. Geochemical features of source rocks and crude oil in the Junggar Basin, Northwest China // *ACTA Geologica Sinica*. 2016. Vol. 90, N 1. P. 37–67.

Fu Jiamo, Sheng Guoying, Xu Jiayou et al. Application of biomarker compounds in assessment of paleoenvironments of Chinese terrestrial sediments // *Geochimica*. 1991. N 1. P. 1–21.

He Kai, Zeng Liangxiong, Li Peijun et al. Evaluation and exploration proposal of the hydrocarbon source rocks in Xiaoquangou group of Fukang sag // *J. Southwest Petroleum University (Science and Technology Edi.)*. 2008. Vol. 30, N 4. P. 51–54.

Huang Difan, Li Jinchao, Zhang Dajiang. Kerogen types and study on effectiveness, limitation and interrelation of their identification parameters // *Acta Sedimentologica Sinica*. 1984. Vol. 2, N 3. P. 18–33.

Huang Wenye, Meinschein W.G. Sterols as ecological indicators. // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. 1979. Vol. 43, N 5. P. 739–745.

Li Shoujun. Sedimentary environmental significance of normal alkane and the ratio of pristane to phytane // *J. University of Petroleum, China (Edition of Natural Science)*. 1999. Vol. 23, N 5. P. 14–16.

Ourisson G., Albrecht P., Rohmer M. The Microbial origin of fossil-fuels // *Scientific Amer.* 1984. Vol. 251, N 2. P. 44–51.

Pardue J.W., Scalan R.S., Baalen C.V. et al. Maximum carbon isotope fractionation in photosynthesis by blue-green algae and a green alga // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. 1976. Vol. 40, N 3. P. 309–312.

Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. The Biomarker Guide: Biomarkers and isotopes in petroleum systems and Earth History. Cambridge: Univer. Press, 2005. 1155 p.

Shang Lin, Liu Xu, Bian Baoli. Sedimentary facies in the Triassic Karamay Formation, Beisantai, Junggar Basin, Xinjiang // *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*. 2011. Vol. 31, N 3. P. 33–38.

Tissot B.P., Welte D.H. Petroleum Formation and Occurrence. 2nd Edition. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 699 p.

Wu Kongyou, Zha Ming, Wang Xunlong et al. Further researches on the tectonic evolution and Dynamic setting of the Junggar Basin // *Acta Geoscientica Sinica*. 2005. Vol. 26, N 3. P. 217–222.