

УДК 550.43:552.576.1

DOI: 10.15372/KhUR2023440

EDN: OBHWRJ

Взаимосвязь биомаркерных параметров и природы накопления бурого угля

Л. П. НОСКОВА

*Институт геологии и природопользования ДВО РАН,
Благовещенск (Россия)**E-mail: noskova@ascnet.ru*

(Поступила 18.07.22; после доработки 26.09.22)

Аннотация

Методами газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии исследован состав и динамика трансформации насыщенных углеводородов-биомаркеров в угле Сергеевского месторождения. В зависимости от биомаркерных параметров в изученном разрезе выявлены пласты аллохтонного, автохтонного и смешанного происхождения, различающиеся природой и условиями накопления растительной биомассы. Аллохтонные угли, обогащенные битумоидами и генетически связанные с террагенным биоматериалом, формировались в окислительной обстановке. Переход к автохтонным и смешанным углям сопровождался повышением вклада аквагенных биомаркеров и неоднократным изменением фациальных условий осадконакопления. Автохтонные угли отличаются аномальным содержанием высших алканов и нестандартным распределением изопреноидных углеводородов.

Ключевые слова: аллохтонные и автохтонные угли, *n*-алканы, изопреноиды, стераны, терпаны

ВВЕДЕНИЕ

Состав и свойства углей определяются природой исходного растительного материала, эпохой и условиями начальной стадии углеобразования, метаморфизмом органического вещества (ОВ). Для формирования угольных месторождений необходимы условия, способствующие накоплению на значительных площадях огромного количества биомассы и ее дальнейшему глубокому преобразованию. Преобладающая масса автохтонных углей откладывалась на месте произрастания растений. Наиболее благоприятными для развития наземно-водных растений-биопродшественников и накопления их остатков являются низинные болота, которые питаются грунтовыми водами, богатыми минеральными солями. Источник аллохтонного ОВ – перенесенные водными потоками на большие расстоя-

ния стволы деревьев и другой растительный материал, оседающий и накапливающийся на участках с замедленным течением (в заводях, широких устьях, дельтах) [1, 2]. Для познания диагенетической эволюции угольного вещества важнейшее значение имеет информация о биомаркерах – реликтовых органических молекулах, которые наследуют химическое строение первичного биологического материала, не претерпевая глобальной структурной перестройки в ходе углефикации. В растворенном виде они присутствуют в микропористой структуре угля и извлекаются методом экстракции в форме битумоидов. Исследование химической природы, качественного и количественного состава реликтовых соединений составляет основу геохимии твердых горючих ископаемых. Главными углеводородными биометками в составе горючих ископаемых служат *n*-алканы, изопреноид-

ные углеводороды (УВ), циклические насыщенные УВ (стераны, терпаны).

Цель работы – изучение зависимости состава и вертикального распределения УВ-биомаркеров от природы накопления первичного органического материала Сергеевского месторождения бурого угля.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследованию подвергали уголь Сергеевского месторождения – один из ниже-среднемиоценовых бурых углей Амурской области (Тыгдинское, Сергеевское, Свободное и другие месторождения) [3]. Месторождение находится в южной части Амуро-Зейского осадочного бассейна. Угленосные пласты в миоцене приурочены к средней части бузулинской свиты. Верхний песчаный слой мощностью 15 м представлен песчаными, слегка глинистыми породами светло-серого цвета с прослоями ожелезнения. Исследуемый бурый уголь (мощность пластов 4.5 и 0.6 м) черного цвета, матовый, трещиноватый по вертикали и горизонтали, плотный, массивный, в верхней части пласта более рыхлый. Встречаются редкие включения углефицированных растительных остатков. Пласт вмещающих пород, залегающий между указанными угленосными пластами, представлен глинами от светло-коричневого до рыжего цвета, комковатыми, пластичными, с включениями углистого материала или крупнозернистого песка.

По глубине вертикального профиля через каждые 0.5 м были отобраны 10 образцов угля, измельченные в дальнейшем до размера частиц не более 250 мкм. В образцах угля, предварительно освобожденных от карбонатов, определяли содержание органического углерода с помощью экспресс-анализатора АН-7529 (Беларусь) [4]. Из исходного угля хлороформом извлекали битумоиды. Контроль за полнотой экстракции осуществляли сравнением внутреннего лабораторного стандарта и полученного экстракта под люминесцентной лампой. Избытком петролейного эфира (фракция 40–60 °С) из битумоидов осаждали асфальтены. На стеклянных колонках, заполненных силикагелем АСК, мальтеновую часть битумоидов разделяли на УВ и смолы. Фракционирование УВ на насыщенные и ароматические соединения осуществляли на колонках с силикагелем и оксидом алюминия. Для десорбции использовали последовательно петролейный эфир и смесь петролейного эфира с бензолом (10 %) [4].

Анализ индивидуального состава насыщенных УВ нормального и изопреноидного строения проводили с помощью газового хроматографа Agilent 6890N (США) с пламенно-ионизационным детектором на капиллярной колонке HP-5 (30 м × 0.25 мм × 0.25 мкм), неподвижная фаза – 5 % дифенил- + 95 % диметилсилоксан. Режим программирования температуры: от 100 °С (плато 2 мин) со скоростью 10 °С/мин до 320 °С (плато 8 мин). Температура детектора составляла 350 °С, инжектора – 250 °С. Газ-носитель – гелий. Объем пробы 1 мкл [5].

Состав стерановых и терпановых УВ изучен с помощью газового хроматографа Hewlett Packard 5890 (США), снабженного высокоэффективным масс-селективным детектором Agilent MSD 5972A (США). Исследуемые образцы растворяли в пентане (5 мг/мл). Для регистрации и обработки информации использовали компьютерную систему HPG 1034. Фракционирование проб на индивидуальные УВ проводили на колонках HP-5 (30 м × 0.25 мм × 0.25 мкм), используя в качестве неподвижной фазы 5 % дифенил- + 95 % диметилсилоксан. Скорость потока газа-носителя (гелия) составляла 1 мл/мин. Температура инжектора – 320 °С. Программирование температуры: изотерма при 100 °С (плато 4 мин) с последующим нагревом до 290 °С со скоростью 4 °С/мин и выдержкой в течение 30 мин. Ионизирующее напряжение 70 эВ, температура источника 250 °С. Идентификацию индивидуальных УВ осуществляли по библиотеке NIST-05 и по опубликованным литературным данным. Идентификацию стерановых УВ проводили по фрагментным ионам m/z 217; норгопанов, гопанов, гомогопанов, моретанов, трицикланов, тетрацикланов – по m/z 191.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Концентрация органического углерода в сергеевском угле изменяется в узких пределах (50–56 %) и только в нижней части профиля снижается до 42.1 % (табл. 1). Органическое вещество верхних горизонтов (1–5) характеризуется высоким битумоидным коэффициентом ($\beta > 15$ %) – индикатором аллохтонного типа ОВ. Аллохтонные угли имеют вторичную природу накопления континентальной растительности, перенесенной из первичных мест произрастания. Начиная с горизонта 6 (см. табл. 1), наблюдается переход к смешанному ОВ ($\beta = 7.7$ –8.9 %), занимающему промежуточное положение между аллохтонными и автохтонными углями. Ал-

ТАБЛИЦА 1

Концентрации органического углерода ($C_{орг}$) и характеристики битумоидов угля Сергеевского месторождения

Горизонт/глубина залегания от кровли, м	C _{орг} , %	β, %	Групповой состав, % на битумоид					УВ _{нас} /УВ _{ар}
			Углеводороды			Смолы	Асфальтены	
			насыщенные	ароматические	Сумма			
1/2.5	52.9	15.6	9.6	5.0	14.6	39.7	45.7	1.9
2/3.0	50.9	15.3	9.4	4.9	14.3	39.3	46.4	1.9
3/3.5	51.7	15.6	9.4	5.1	14.5	38.8	46.7	1.8
4/4.0	52.4	15.2	9.5	5.2	14.7	40.5	44.8	1.8
5/4.5	50.8	15.6	9.2	4.9	14.1	42.2	43.7	1.9
6/5.0	53.5	8.7	8.7	5.0	13.7	51.2	35.1	1.7
7/5.5	55.7	8.4	8.1	5.3	13.4	52.9	33.7	1.5
8/6.0	54.6	4.2	6.6	4.8	11.4	54.8	33.8	1.4
9/6.5	49.9	7.7	7.5	5.1	12.6	50.5	36.9	1.5
10/9.2	42.1	8.9	9.2	8.2	17.4	60.4	22.2	1.1

Примечание. β – битумоидный коэффициент, %; $УВ_{нас}/УВ_{ар}$ – соотношение насыщенных и ароматических углеводородов.

лохтонные и смешанные битумоиды могут быть паравтохтонными – мигрирующими в пределах толщ. Наименьшим битумоидным коэффициентом ($\beta = 4.2\%$) обладает автохтонный уголь (горизонт 8), образовавшийся на месте произрастания исходных растений. Показатели автохтонного битумоида могут быть отнесены к вмещающим породам.

Что касается группового состава (см. табл. 1), то в автохтонном и смешанных битумоидах преобладает смоляная фракция. В битумоидах аллохтонного типа (горизонты 1–5), напротив, наблюдается накопление асфальтенов (до 46.7 %). Количество насыщенных УВ в битумоидах изменяется от 6.6 до 9.2 %, доля ароматических УВ составляет 4.8–8.2 %. Наименьшее содержание УВ выявлено в автохтонном битумоиде, что, вероятно, объясняется их частичной потерей при миграции в угленосной толще. Лидируют по содержанию насыщенных углеводородных фракций горизонты аллохтонного происхождения (1–5). Изменение типа ОВ в нижней части месторождения сопровождается постепенным уменьшением суммарной концентрации УВ (за исключением подошвы разреза) при сохранении доминирования насыщенных УВ над ароматическими.

Природными источниками реликтовых УВ жирного ряда (n -алканов) являются насыщенные кислоты нормального строения – компоненты липидов, восков, спор, пыльцы высших наземных растений [6]. Установлено, что в исследуемом разрезе УВ-биомаркеры класса алканов представлены гомологами nC_{14} – nC_{40} (рис. 1). От-

четливое преобладание нечетных УВ над четными (СРІ) (табл. 2) подтверждает тезис о континентальном генезисе и малой степени преобразования исследуемого угля. Лидирующей алкановой фракцией во всех горизонтах являются нечетные гомологи C_{29} – C_{33} – биологические метки высших континентальных растений. В составе аллохтонного угля (горизонты 1–5) на долю этой фракции, представляющей единственный максимум на кривой распределения n -алканов (см. рис. 1, а), приходится более 56 %. Судя по критерию C_{27}/C_{17} (см. табл. 2), пиковым содержанием высокомолекулярных алканов при выраженном превосходстве среди них компонентов C_{29} – C_{33} (58 %) обладает автохтонное ОВ (см. рис. 1, б). Второй максимум составляют нечетные гомологи C_{23} – C_{27} , отражающие вклад озерной растительности. Переход к смешанному типу ОВ в горизонтах 9 и 10 сопровождается постепенным сглаживанием максимумов на кривых распределения УВ (см. рис. 1, в). Это приводит к явному доминированию лишь одного из высших гомологов – C_{29} , и увеличению относительной доли n -алканов C_{23} – C_{27} . Данный факт и связанный с ним постепенный рост коэффициента Рау до 0.37, а также снижение коэффициента нечетности n -алканов (см. табл. 2) позволяют предположить [7], что формирование нижней части месторождения протекало в озерных условиях с привносом высшей наземной растительности.

Биологическими предшественниками изопреноидных биомаркеров (изопреноанов) являются терпеноиды, стероиды, каратиноиды, содержа-

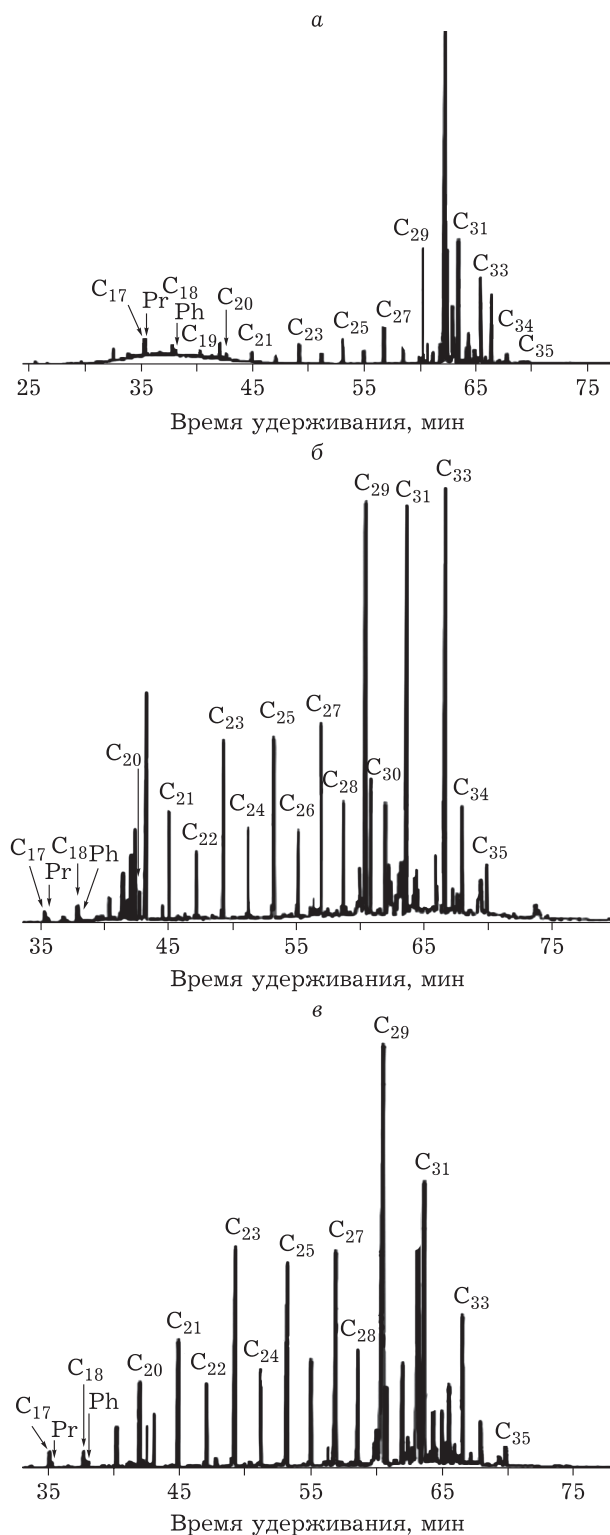


Рис. 1. Газожидкостная хроматограмма *n*-алканов аллохтонного (а), автохтонного углей (б) и угля смешанного состава (в).

щиеся в составе живых организмов [6]. Как правило, в составе твердых топлив ведущая роль среди изопренов принадлежит преобразованным остаткам хлорофилла – пристану (Pr) и

фитану (Ph), по соотношению которых определяют фациальную обстановку накопления ОВ. Особенностью распределения ациклических изопреноидов (iC_i), представленных в сергеевском угле стандартным рядом iC_{13} – iC_{25} , служит максимальное присутствие гомолога iC_{21} в ОВ автохтонного угля (см. табл. 2). Возможно, это связано с доминированием соединения iC_{21} в исходной биоте Сергеевского месторождения, а причиной перераспределения изопреноидных УВ являются процессы миграции. Исходя из преобладания пристана над фитаном ($Pr/Ph > 1$), аллохтонный пласт угля и прилегающие к нему горизонты смешанного состава (6 и 7), а также горизонт 10 формировались в окислительных (аэробных) условиях, соответствующих фациальным условиям преобразования фитола растительного происхождения в пристан. В автохтонном угле и в приуроченном к нему горизонте 9 смешанного состава, напротив, фитан преобладает над пристаном (см. табл. 2). Это характеризует изменение условий угленакопления на восстановительные (анаэробные), аналогичные условиям генерации фитола в фитан из аквагенного биоматериала. Низкие значения отношений Pr/nC_{17} и Ph/nC_{18} указывают на устойчивость ОВ к процессам биodeградации [8].

Состав УВ-биометок, принадлежащих классу полициклических нафтен, представлен в сергеевском угле стерановыми (тетрациклическими) и терпановыми (пентациклическими) УВ. Их первоисточниками являются природные моно-, ди-, тритерпены и стероиды фито-, зоопланктона и высших растений [6]. Соотношение стерановых УВ служит критерием происхождения и условий накопления угля [9, 10]. На хроматограммах циклических насыщенных биомаркеров исследуемого угля присутствуют высокие пики, относящиеся к незрелому ОВ и затрудняющие идентификацию традиционно используемых пиков. Поэтому в настоящей работе приводится интерпретация тех пиков стеранов и терпанов, где это было возможно. По всему разрезу (табл. 3) распределение стеранов C_{27} – C_{30} характеризуется максимальной долей этилхолестанов C_{29} (54.9–67.3 %) – индикаторов вклада высшей наземной растительности в исходную биомассу [11–13]. Из соотношений этилхолестана и холестерана (C_{29}/C_{27}) следует, что наибольшее количество стеранов C_{29} концентрируется в автохтонном ОВ. Вместе с тем, указанный образец, а также уголь смешанного происхождения (горизонт 9) обладают повышенными содержаниями стеранов C_{30} по сравнению с C_{27} и C_{28} (см. табл. 3), что свиде-

ТАБЛИЦА 2

Основные характеристики ациклических углеводородов-биомаркеров

Горизонт	n-Алканы					Изопреноиды			
	Максимум в n-алканах	CPI ^a	nC ₂₇ /nC ₁₇	Pwax ^b	Paq ^b	Максимум в изопреноидах	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈
1-2	C ₃₁	5.5	3.3	0.91	0.15	C ₁₉	1.3	0.7	0.6
3-5	C ₃₁	5.4	2.6	0.86	0.16	C ₁₉	1.2	0.6	0.7
6-7	C ₃₁	4.7	13	0.71	0.29	C ₁₉	1.2	0.5	0.4
8	C ₃₃	5.0	137	0.78	0.25	C ₂₁	0.8	0.4	0.3
9	C ₃₃	3.6	17	0.74	0.31	C ₂₀	0.9	0.4	0.3
10	C ₂₉	3.0	12	0.68	0.37	C ₁₉	1.4	0.3	0.2

^a CPI (Carbon Preference Index) = $2(nC_{23} + nC_{25} + nC_{27} + nC_{29}) / [nC_{22} + 2(nC_{24} + nC_{26} + nC_{28}) + nC_{30}]$.

^b Pwax = $(nC_{27} + nC_{29} + nC_{31}) / (nC_{23} + nC_{25} + nC_{27} + nC_{29} + nC_{31})$.

^b Paq = $(nC_{23} + nC_{25}) / (nC_{23} + nC_{25} + nC_{29} + nC_{31})$.

ТАБЛИЦА 3

Распределение и соотношение стерановых углеводородов

Горизонт	Содержание, отн. %				C ₂₉ /C ₂₇		C ₂₉ /C ₂₈		C ₂₇		C ₂₉		C ₂₇ -C ₃₀		(Стераны + прегнаны)/	
	C ₂₇	C ₂₈	C ₂₉	C ₃₀					K ₁	K ₂	K ₁	K ₂	βα/(αα + ββ)	βα/(αα + ββ)	прегнаны)/	прегнаны)/
1-5	—	—	—	—	—	—	—	—	0.6	11.4	—	—	—	—	—	—
6-7	17.3	12.1	61.1	9.5	3.5	5.0	0.5	4.3	0.4	1.0	0.1	0.1	0.1	16.1	0.03	0.03
8	10.3	7.5	67.3	15.0	6.6	9.0	0.5	2.8	0.3	0.9	0.0	0.1	0.1	51.4	0.04	0.04
9	14.6	8.1	67.2	10.1	4.6	8.3	0.4	5.6	0.4	0.4	0.1	0.1	0.1	14.8	0.01	0.01
10	20.4	17.0	54.9	7.6	2.7	3.2	0.5	2.9	0.4	1.5	0.1	0.2	0.2	14.4	0.03	0.03

Примечания. 1. Прочерк — подсчет ряда параметров невозможен из-за наложения дополнительных пиков в области выхода регулярного стерана C₂₉R. 2. K₁ = 20S/(20S + 20R), K₂ = ββ(20S + 20R)/αα20R — стерановые коэффициенты зрелости. 3. βα/(αα + ββ) — диастераны/регулярные стераны.

ТАБЛИЦА 4

Распределение групп терпанов

Горизонт	Содержание, отн. % на сумму терпанов					Ts/Tm в гопанах C ₂₇
	Гопаны	Гомогопаны	Моретаны	Трицикланы	Тетрацикланы	
1-5	13.9	59.8	23.1	0.1	3.1	0.15
6-7	9.7	58.9	24.9	0.1	6.4	0.11
8	6.3	61.3	26.2	0.1	6.1	0.55
9	7.1	60.3	20.4	0.1	12.1	0.83
10	15.6	45.0	34.2	0.4	4.8	0.09

тельствует о проявлении аквагенных признаков исходного биоматериала [14]. Низкие значения стерановых коэффициентов зрелости (K₁ и K₂) и малая доля диастеранов (преобразованных стеранов) относительно регулярных (биологических) стеранов (см. табл. 3) являются показателями незрелого ОВ сергеевского угля [11].

Структура молекул терпановых УВ аналогична строению природных тритерпеноидов животного и растительного происхождения [6]. В составе угля изучаемого разреза идентифицированы основные представители ряда терпанов:

гопаны, гомогопаны, моретаны, три- и тетрациклоалканы (табл. 4). Лидирующая позиция среди них принадлежит фракции гомогопановых УВ, доля гопанов и норгопанов составляет немногим более 15 %. Минимальное количество этих соединений (7.1 %) содержит автохтонное ОВ. Накопление гопанов на других участках месторождения может быть следствием их перераспределения в пределах толщи. Одним из геохимических индексов, рассчитанных по составу гопановых УВ, является отношение триснорнеогопана C₂₇ (Ts) к трисноргопану C₂₇ (Tm).

ТАБЛИЦА 5

Распределение моретанов и тетрацикланов, отн. %

Горизонт	Моретаны						Тетрацикланы			
	C ₂₉	C ₃₀	C ₃₁	C ₃₂ S	C ₃₂ R	C ₃₂	C ₂₄	C ₂₅	C ₂₆	C ₂₇
1–5	9.5	60.9	26.3	0.7	2.6	3.3	98.0	0.7	0.7	0.6
8	15.1	44.3	32.7	0.8	7.1	7.9	91.8	2.3	2.7	3.2
9	16.2	47.8	31.7	0.5	3.8	4.3	97.0	1.2	1.0	0.7
10	31.5	7.6	51.0	6.9	2.9	9.9	93.9	4.0	2.1	0.0

ТАБЛИЦА 6

Распределение трицикланов

Горизонт	Максимум в трицикланах	Содержание, отн. %			2C _{19–20} /C _{23–26}	C _{23–26} /C _{28–31}
		C _{19–20}	C _{23–26}	C _{28–31}		
1–5	C ₂₈	18.3	12.8	49.0	2.9	0.3
8	C ₂₉	2.4	5.7	89.5	0.8	0.1
9	C ₁₉	54.4	2.2	41.9	49.7	0.1
10	C ₃₀	13.1	14.8	62.0	1.8	0.2

Компонент Tm является биогенной структурой, а Ts образуется из Tm при диагенезе либо при термальных процессах [14]. Исходя из этого, низкие значения отношения Ts/Tm (см. табл. 4) служат признаком малой преобразованности ОВ исследуемого угля. Во фракции гопановых УВ C₂₇–C₃₅ главенствуют гомогопаны C₃₁ (73–89 %), затем следуют гопаны C₂₉ (4.9–16.9 %) и C₃₀ (0.8–10.5 %).

Достаточно высокие концентрации моретанов в составе терпанов-биомаркеров (табл. 5) также свидетельствуют о низкой зрелости ОВ, поскольку моретаны легче подвергаются биодеградации, чем гопаны [14, 15]. Горизонты аллохтонного и смешанного состава характеризуются

одинаковым распределением моретанов: C₃₀ > C₃₁ > C₂₉ > C₃₂R > C₃₂S. Наиболее богатое моретанами автохтонное ОВ имеет отличный от остальных горизонтов профиль распределения данных соединений: C₃₁ > C₂₉ > C₃₀ > C₃₂S > C₃₂R.

Происхождение трициклоалканов обязано циклизации природных дитерпанов [16]. В сергеевском угле количество трицикланов не превышает 0.4 % (см. табл. 4), тем не менее в их составе представлены все члены гомологического ряда от C₁₉ до C₃₁ (табл. 6). Трицикланы характеризуются очень низкими концентрациями компонентов C₂₂ и C₂₇ (рис. 2), что позволяет связать происхождение этой группы веществ с циклизацией регулярных изопреноидов [17]. Более вы-

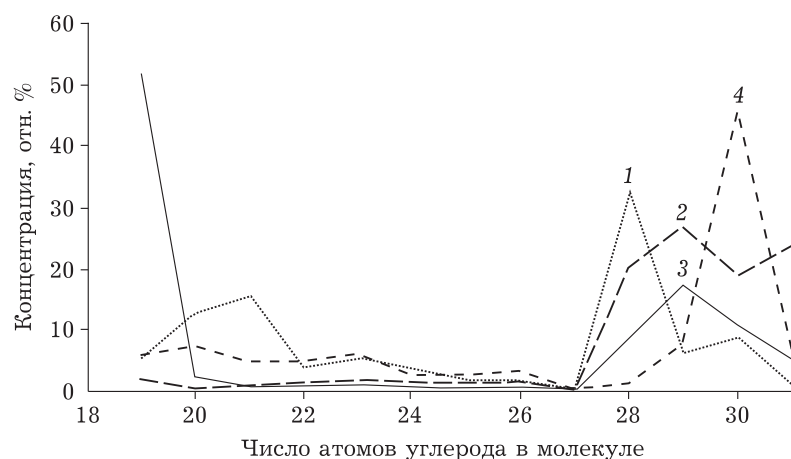


Рис. 2. Концентрация трициклоалканов в угле аллохтонного (1), автохтонного (2) и смешанного (3, 4) происхождения.

сокие концентрации имеют низкомолекулярные ($C_{19}-C_{20}$) и высокомолекулярные ($C_{28}-C_{31}$) фракции (см. табл. 6). Трициклановый индекс ($2C_{19-20}/C_{23-26}$) во всех горизонтах превышает единицу (см. табл. 6). Исключение составляет автохтонный уголь, отличающийся очень малым содержанием фракции C_{19-20} . В целом количественный и качественный состав трицикланов соответствует террагенному ОВ [18, 19].

На долю тетрацикланов приходится 3.1–12.1 % (см. табл. 4), во всех образцах зафиксированы пиковые концентрации соединений C_{24} (до 98.0 %) (см. табл. 5), что также характерно для террагенного ОВ [20]. Суммарное содержание остальных тетрациклических УВ не превышает 4.0 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследована природа и геохимическая трансформация УВ-биомаркеров в вертикальном профиле Сергеевского месторождения бурого угля. Установлены участки разреза, различающиеся природой и способом накопления материнского ОВ. Пласт аллохтонного угля сформирован из скопления привнесенной водными потоками древесной растительности. Сочетание таких биомаркерных показателей, как высокий коэффициент R_{wax} , максимальный вклад высших нечетных алканов (C_{29} , C_{31} , C_{33}), преобладание пристана над фитаном, свидетельствует о террагенной природе аллохтонного ОВ, накопление и геохимическое преобразование которого протекало в окислительной обстановке. К показателям низкой зрелости аллохтонного угля относятся: коэффициент нечетности $CPI = 5.4$, высокое содержание моретанов и малое – трицикланов, низкие показатели зрелости по стерановым и терпановым УВ. Формирование автохтонного пласта происходило на месте произрастания растений-биопредшественников в восстановительных условиях осадконакопления (преобладание фитана над пристаном). Основным исходным материалом автохтонного угля была высшая континентальная растительность (выраженное доминирование этилхолестанов в ряду стерановых УВ, преобладание стеранов над прегнанами, высокий показатель CPI); установлен вклад аквагенного биоматериала ($Pr/Ph = 0.8$, повышенное содержание стеранов C_{30}). К особенностям автохтонного ОВ сергеевского угля следует отнести подавляющий вклад высокомолекулярных гомологов в состав n -алканов (высокие значения отношения nC_{27}/nC_{17}), нети-

пичный максимум (iC_{21}) в ряду ациклических изопреноидных УВ-биомаркеров, низкое содержание гопанов. Две группы горизонтов смешанного ОВ, сочетающего по составу УВ-биометок показатели автохтонного и аллохтонного угля (R_{aq} , CPI , высокий вклад этилхолестанов), различаются между собой фациальными условиями накопления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Тимофеев А. А. Генетический аспект методологии прогнозирования угленосности // Труды X Всерос. угольного совещания “Ресурсный потенциал твердых горючих ископаемых на рубеже XXI века”. Ростов н/Д.: ВНИГРИУголь, 2001. С. 64–68.
- 2 Трощенко В. В. Модель процесса аллохтонного угленакопления как основная для паралических угольных бассейнов // Вестн. Южного науч. центра РАН. 2006. Т. 2, № 3. С. 33–41.
- 3 Сорокин А. П., Конюшок А. А., Агеев О. А., Кузьминых В. М. Минералого-геохимические особенности самородного золота в продуктах сгорания углей Ерквецкого месторождения (Верхнее Приамурье) // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2019. № 4. С. 141–150.
- 4 Руководство по анализу битумов и рассеянного органического вещества горных пород / Под ред. Успенского В. А. Л.: Недра, 1966. 315 с.
- 5 Носкова Л. П., Радомская В. И., Павлова Л. М. Особенности химического состава и распределения компонентов низинного торфа Амурской области // Химия твердого топлива. 2016. № 6. С. 3–10.
- 6 Петров А. А. Углеводороды нефти. М.: Наука, 1984. 264 с.
- 7 Ficken K. J., Li B., Swain D. L., Eglinton G. An n -alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes // Org. Geochem. 2000. Vol. 31, No. 7–8. P. 745–749.
- 8 Яндарбиев Н. Ш., Козлова Е. В., Фадеева Н. П., Крылов О. В., Наумчев Ю. В. Геохимия углеводородов Терско-Каспийского прогиба // Георесурсы. 2017. Спецвыпуск. Ч. 2. С. 227–239.
- 9 Huang W. Y., Meinschein W. G. Sterols as ecological indicators // Geochim. Cosmochim. Acta 1979. Vol. 43. P. 739–745.
- 10 Вассоевич Н. Б., Гусева А. Н., Лейфман И. Е. Биогеохимия нефти // Геохимия. 1976. № 7. С. 1075–1083.
- 11 Петров Ал. А. Геохимическое значение стеранов / Научно-прикладные аспекты геохимии нефти и газа. Под ред. В. И. Тихомирова, В. А. Чахмахчева. М.: ИГИРГИ, 1991. С. 21–30.
- 12 Volkman J. K. A review of sterol markers for marine and terrigenous organic matter // Org. Geochem. 1986. Vol. 9. P. 83–99.
- 13 Moldowan J. M., Seifert W. K., Gallegos E. J. Relationship between petroleum composition and depositional environments of petroleum source rocks // AAPG Bull. 1985. Vol. 69, No. 8. P. 1255–1268.
- 14 Peters K. E., Walters C. C., Moldowan J. M. The Biomarker Guide. Vols. 1 and 2. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. 1155 p.
- 15 Seifert W. K., Moldowan J. M. The effect of thermal stress on source-rock quality as measures by hopane stereochemistry / Advances in Organic Geochemistry Vol. 12. Oxford: Pergamon press, 1980. P. 229–237.

- 16 Gallegos E. G. Identification of new steranes, terpanes and branched paraffines in Green River Shale by combined capillary gas chromatography and mass spectrometry // *Anal. Chem.* 1971. Vol. 43. P. 1151–1160.
- 17 Каширцев В. А. Природные битумы северо-востока Сибирской платформы. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1988. 126 с.
- 18 Петров Ал. А. Биометки и геохимические условия образования нефтей России // *Геология нефти и газа.* 1994. № 6. С. 13–19.
- 19 Waples D. W., Machihara T. Application of sterane and triterpane biomarkers in petroleum exploration // *Bull. Can. Petrol. Geol.* 1990. Vol. 38, No. 3. P. 357–380.
- 20 Philp R. P., Gilbert T. D. Biomarker distributions in Australian oils predominantly derived from terrigenous source material // *Org. Geochem.* 1986. Vol. 10, No. 1. P. 73–84.