

ГЕОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА УГЛЯ СЕРГЕЕВСКОГО БУРОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

© 2020 г. Л. П. Носкова^{1,*}, А. П. Сорокин^{1,**}

¹ ФГБУН Институт геологии и природопользования ДВО РАН, 675000 Благовещенск, Россия

*e-mail: noskova@ascnet.ru

**e-mail: sorokinAP@ignm.ru

Поступила в редакцию 09.01.2020 г.

После доработки 03.02.2020 г.

Принята к публикации 10.02.2020 г.

Методами органической геохимии исследован состав бурого угля бузулинской свиты Сергеевского бурогоугольного месторождения (Верхнее Приамурье, Россия). Выявлен характер распределения битумоидов разного типа по глубине разреза. В составе углеводородов-биомаркеров методами хроматографии и хромато-масс-спектрометрии идентифицированы *n*-алканы C₁₄–C₄₀, ациклические изопреноиды iC₁₃–iC₂₅, стерановые C₂₇–C₃₀, терпановые C₁₉–C₃₅ структуры (гопаны и гомогопаны, моретаны, три- и тетрацикланы), ароматические углеводороды (фенантрены, дибензотиофены, моно- и триароматические стероиды). Показано, что главный источник террагенного органического вещества сергеевского угля – высшая наземная растительность. Вклад аквагенного биоматериала обусловлен сменой фациальных режимов угленакопления.

Ключевые слова: геохимия, бурый уголь, типы битумоидов, углеводороды-биомаркеры, террагенное органическое вещество

DOI: 10.31857/S0023117720030093

ВВЕДЕНИЕ

Угледобывающая промышленность Дальнего Востока считается одной из ведущих отраслей промышленного производства. Значительная часть ее ресурсов сосредоточена в Верхнем Приамурье, в пределах Зейско-Буреинского бассейна [1], который представляет собой платформенную структуру, выполненную мезозойско-кайнозойскими отложениями и вулканогенными образованиями и обрамленную Большим, Малым Хинганом и Туранским массивом (рис. 1). В Зейско-Буреинском бассейне бурые угли, образующие Пиканско-Сергеевскую, Селемджинско-Ерковецкую и Завитинско-Архаринскую угленосные площади, включают месторождения палеогеновых углей технологической группы Б2 (Ерковецкое, Райчихинское, Архаро-Богучанское) и нижне-среднемиоценовых углей Б1 (Сергеевское, Свободное и др.) [2] (рис. 1). Эти месторождения отличаются возрастом, составом битумоидов и другими характеристиками, которые во многом определяются палеогеографическими условиями, тектонической обстановкой и процессами диагенеза. Они содержат большое количество растворимых продуктов [3, 4], извлечение которых составляет основу экстракционных технологий. При этом в составе битумоидов присут-

ствуют так называемые биологические метки – соединения, которые были образованы непосредственно из природных веществ и сохранили особенности их состава в процессе угленакопления. Представителями таких соединений являются реликтовые углеводороды (УВ): *n*-алканы, изопреноиды, циклические углеводороды стеранового и терпанового рядов, ароматические УВ, изучение состава и распределения которых является важнейшим направлением органической геохимии. В работах по изучению углей Сергеевского месторождения были приведены сведения о составе преимущественно алифатических компонентов (*n*-алканов, жирных кислот и спиртов) и обсуждались вопросы происхождения исходного органического вещества (ОВ) и условий его накопления, однако систематических исследований в области геохимии не проводилось [5–7].

Цель настоящей работы – выявить особенности индивидуального состава и закономерностей распределения углеводородов-биомаркеров для уточнения геохимической информации о природе исходного биологического материала, условиях накопления и термической зрелости угля Сергеевского месторождения.

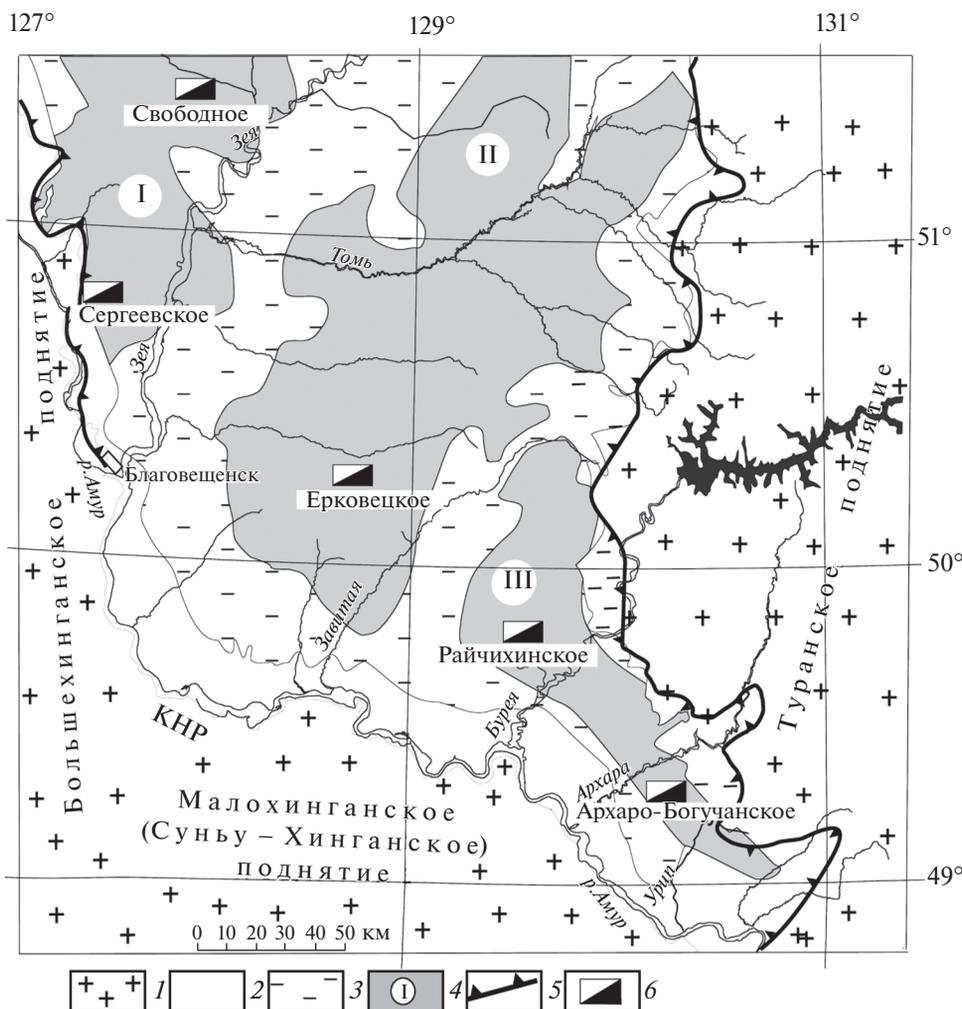


Рис. 1. Схема размещения угленосных площадей Зейско-Буреинского бассейна: 1 – горно-складчатое обрамление бассейна; 2 – денудационная равнина; 3 – аллювиальная равнина; 4 – угленосные площади (I – Пиканско-Сергеевская, II – Селемджинско-Ерковецкая, III – Завитинско-Архаринская); 5 – граница бассейна; 6 – месторождения бурого угля. Граница РФ и КНР проходит по р. Амур.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сергеевское буроугольное месторождение (рис. 2) расположено в 60 км вверх по Амуру от Благовещенска в юго-западной части Зейско-Буреинского осадочного бассейна и приурочено к северо-западному борту одноименного прогиба. Месторождение представлено четырьмя горизонтально залегающими пластами угля, из которых три нижних мощностью 8,9, 1,3 и 1,5 м поярковской свиты позднего мела. Основной рабочий пласт залегает в бузулинской свите ранне-среднемиоценового возраста. Мощность его до 11,2 м, иногда он разделяется на две-три угленосные пачки, мощность которых от 0,7 до 6,8 м, между которыми залегают глины от 0,3 до 1,0 м. Угли являются средnezольными (18,9%) и малосернистыми (0,38%). Исследованиями технического и элементного состава угля Сергеевского буроугольно-

го месторождения, выполненными по договору с Федеральным исследовательским центром угля и углехимии (г. Кемерово) в 2018 г., установлено, что они характеризуются низкой степенью углефикации и небольшим содержанием микрокомпонентов группы инертинита (до 16%). Показатель отражения витринита, определяющий степень карбонизации угольного вещества, имеет значения порядка 0,3%. Угли отличаются высоким содержанием оксидов алюминия (до 32,5%) и кремния (до 48,6%), что позволяет отнести их к алюмосиликатному типу [8]. Повышенное содержание оксида кальция указывает на наличие в углях Сергеевского месторождения органоминеральных комплексов в виде гуматов.

Авторское изучение Сергеевского месторождения проводится в течение 2017–2019 гг. В центральной его части был вскрыт разрез угленосных отложений, проведено детальное его описание и

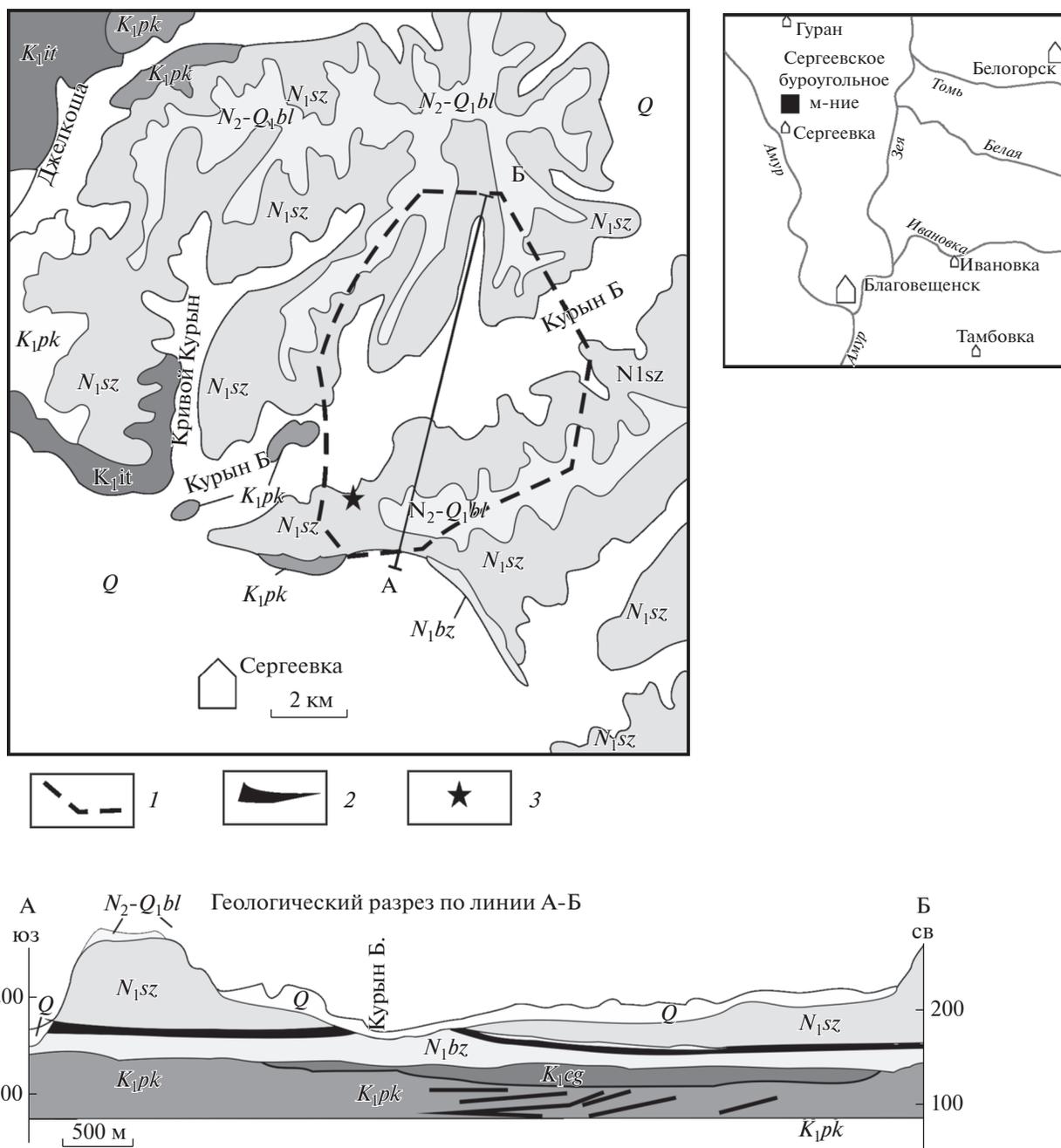


Рис. 2. Схема геологического строения Сергеевского бурогоугольного месторождения (по материалам [2]): 1 – контур месторождения; 2 – пласты угля; 3 – место отбора проб. Буквы на схеме и разрезе: *K_{1it}* – итукутская, *K_{1pk}* – поярковская, *K_{1cg}* – цагайская, *N_{1bz}* – бузулинская, *N_{1sz}* – сазанковская, *N_{2-Q1bl}* – белогорская свиты, *Q* – объединенные четвертичные отложения.

опробование. Пласты угля опробовались секциями длиной 0,5 м массой 12–15 кг, вмещающие породы – точно по 2–3 кг.

В настоящей статье приводятся результаты авторских исследований и исследований, выполненных Институтом нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука СО РАН по договору с Институтом геологии и природопользо-

вания ДВО РАН. Определение в угле содержания органического углерода, извлечение хлороформенных битумоидов и исследование их группового состава осуществлялось методами [9–11].

Пробы угля измельчали до размера 0,25 мм, освобождали от карбонатов 10%-ной соляной кислотой и определяли содержание органического углерода (*C_{орг}*) на экспресс-анализаторе АН-7529.

Битумоиды извлекали путем многократной обработки угля хлороформом. Мальтеновую часть экстрактов, полученную после осаждения асфальтенов 40-кратным избытком петролейного эфира, разделяли на хроматографических колонках с силикагелем АСК и оксидом алюминия на метаново-нафтеновые и нафтеново-ароматические углеводороды и смолы.

Индивидуальный состав алканов нормального и изопреноидного строения в метано-нафтеновой фракции анализировали методом газожидкостной хроматографии (ГЖХ) на газовом хроматографе “Маэстро” (*Agilent Technologies 7820A GC System*) с пламенно-ионизационным детектором, кварцевой капиллярной колонкой *HP5* (длина 30 м, диаметр 0.32 мм, неподвижная фаза: 5% дифенила + 95% диметилсилоксана, толщина 0.25 мкм).

Циклические углеводороды стеранового и терпанового рядов, содержащиеся в метано-нафтеновой фракции, и ароматические углеводороды нафтеново-ароматической фракции исследовали на хромато-масс-спектрометрической системе, включающей газовый хроматограф “*Hewlett Packard 5890*” с высокоэффективным масс-селективным детектором *Agilent MSD 5972A* и компьютерной системой (*ChemStation*) регистрации и обработки информации *HPG 1034*. Для исследования пробу насыщенной или ароматической фракции растворяли в пентане (5 мг/мл).

Идентификацию индивидуальных углеводородов осуществляли по временам удерживания и масс-спектрам сравнением со спектрами из библиотеки *NIST-05* и опубликованными данными. По фрагментным ионам m/z 217 определяли концентрации стерановых УВ, по m/z 191 – трицикланов (хейлантанов), тетрацикланов, норгопанов, гопанов, гомогопанов и моретанов.

По характерным осколочным ионам m/z 178, 192 идентифицировали фенантрен и его метилзамещенные производные, по m/z 184, 198 – дибензотиофен и его метилпроизводные, по m/z 253 и 231 – моно- и триароматические стероиды. Расчет относительного распределения полициклических ароматических и сероароматических соединений осуществляли по методу [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что содержание органического углерода ($C_{орг}$) изменяется в образцах угля от 42.1 до 54.6% (табл. 1). Распределение битумоидов по разрезу свидетельствует о том, что исследуемый уголь содержит значительное количество растворимых в хлороформе веществ (рис. 3). Наименьшая доля битумоидов (3.3%) выявлена в образце, отобранном на глубине 6 м, который, согласно битумоидному коэффициенту ($\beta = 4.2\%$), принадлежат автохтонному типу. Пробы угля верх-

ней части разреза (2.5–4.5 м), обогащены битумоидами аллохтонного происхождения ($\beta > 10\%$). Битумоиды смешанного типа ($5 < \beta < 10\%$) содержатся в угле, залегающем на глубине 5–5.5 и 6.5–9.1 м.

Детальному исследованию группового и индивидуального состава подвергали образцы битумоидов различного типа, представляющие исследуемый уголь: аллохтонный, автохтонный, смешанные. По групповому составу (табл. 2) аллохтонный битумоид отличается от остальных высокой концентрацией асфальтенов, превышающей долю смолистых веществ, в то время как в составе автохтонного и смешанных битумоидов преобладают смолы (до 60%). Автохтонный битумоид, отдавший свою подвижную миграционную часть, характеризуется наименьшим содержанием углеводородов.

Изучение индивидуального состава реликтовых компонентов начинали с ациклических УВ. В изученных образцах алкановые структуры нормального строения представлены гомологическим рядом соединений, содержащих от 14 до 40 атомов углерода и обладающих высоким коэффициентом нечетности ($CPI = 3.0–5.4$). В качестве примера на рис. 4 приведена хроматограмма алкановой фракции автохтонного битумоида. Распределение n -алканов по длине цепи (рис. 5) идентично для исследуемых образцов и представлено бимоидальными кривыми. Главный максимум приходится на область “нечетных” высокомолекулярных n -алканов C_{29} , C_{31} и C_{33} , отражающих низкий уровень диагенетического созревания исходного биологического материала, сформированного из высших наземных растений (преимущественно эпикутикулярных восков). Другая представительная группа n -алканов, содержащихся в битумоидах, – это “нечетные” соединения $C_{21}–C_{27}$, источником которых могли быть погруженные макрофиты и микроводоросли [14].

Для оценки количественного вклада наземной растительности и аквагенного материала в формирование угольного вещества были рассчитаны следующие коэффициенты [14, 15]:

$$P_{aq} = (C_{23} + C_{25}) / (C_{23} + C_{25} + C_{29} + C_{31}),$$

$$P_{wax} = (C_{27} + C_{29} + C_{31}) / (C_{23} + C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31}).$$

Согласно полученным данным (табл. 1), в целом по разрезу сохраняется устойчивое доминирование остатков высших наземных растений (P_{wax}) в составе ОВ. При этом с углублением профиля в распределении n -алканов наблюдается постепенный сдвиг в сторону относительно низкомолекулярных гомологов (повышение коэффициента P_{aq} при некотором снижении P_{wax}), что

Таблица 1. Геохимические показатели битумоидов

Показатель	Образец			
	аллохтонный	автохтонный	смешанный-6	смешанный-2
A^d , %	13.8	7.6	18.8	22.1
$C_{орг}$, %	48.1	54.6	49.9	42.1
$b_{хл}$, % на породу	11.3	3.3	5.5	5.3
$\beta = (b_{хл}/C_{орг} \cdot 100/1.43)$, %	16.4	4.2	7.7	8.9
Состав <i>n</i> -алканов и изопреноидных УВ				
CPI	5.4	5.0	3.6	3.0
nC_{27}/nC_{17}	2.6	137	17	12
P_{aq}	0.16	0.25	0.31	0.37
P_{wax}	0.86	0.78	0.74	0.68
$\Sigma nC_i/\Sigma izoC_i$	20.3	434.4	123.1	141.2
Pr/Ph	1.2	0.8	0.9	1.4
Pr/nC_{17}	0.6	0.4	0.4	0.3
Ph/nC_{18}	0.7	0.3	0.3	0.2
Стерановые УВ				
C_{29}/C_{27}	Н/д	6.6	4.6	2.7
C_{30}/C_{27}	–	1.45	0.69	0.37
C_{30}/C_{28}	–	2.0	1.25	0.45
Стераны/прегнаны		51.4	14.8	14.4
$K_1 = 20S/(20S + 20R)$	–	0.3	0.3	0.4
$K_2 = C_{29}\beta\beta(20S + 20R)/C_{29}\alpha\alpha 20R$	–	0.9	0.4	1.5
Терпановые УВ				
Гопаны C_{27-30} /моретаны C_{29-32}	0.60	0.24	0.35	0.45
T_{ss}/T_m в гопанах C_{27}	0.15	0.55	0.83	0.09
ТЦИ	2.9	0.8	49.7	1.8
Ароматические УВ				
$1MP/P$	2.2	3.0	0.8	1.9
$3MP/P$	0.7	1.2	0.4	0.7
$9MP/P$	2.9	5.9	1.7	2.7
ТАС/МАС	3.8	7.7	9.3	9.6
ТАСИ	0.23	0.16	0.08	0.08

Примечания. CPI (Carbon Preference Index) = $2(nC_{23} + nC_{25} + nC_{27} + nC_{29})/[nC_{22} + 2(nC_{24} + nC_{26} + nC_{28}) + nC_{30}]$; $\Sigma nC_i/\Sigma izoC_i$ – соотношение нормальных алканов и ациклических изопреноидов; K_1 и K_2 – стерановые коэффициенты зрелости по Петрову [13]; ТЦИ – трицикловый индекс $2C_{19-20}/C_{23-26}$; MP/P – соотношение метилфенантронов и фенанрена; ТАС/МАС – соотношение триароматических и моноароматических стероидов; ТАСИ = $TAC_{20-21}/(TAC_{20-21} + TAC_{26-28})$ – соотношение триароматических стероидов C_{20-21} и C_{26-28} ; Н/д – нет данных в связи с наложением дополнительных пиков в области выхода регулярного стерана C_{29} .

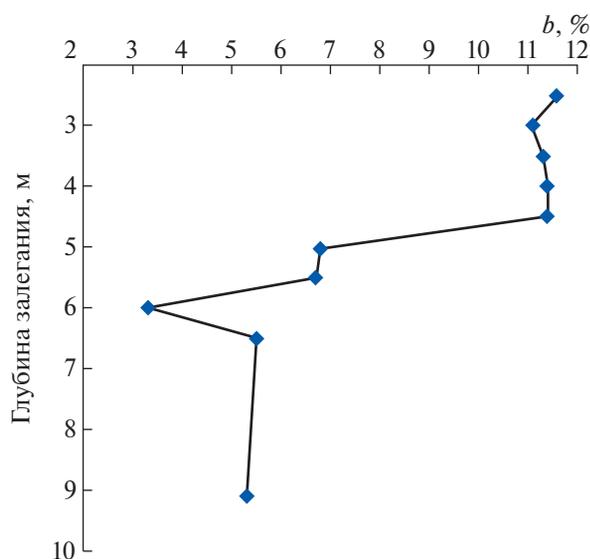


Рис. 3. Распределение битумоидов по разрезу угольного пласта Сергеевского месторождения.

указывает на более влажные, вероятно, озерные условия формирования нижней части разреза.

Исходя из соотношения nC_{27}/nC_{17} , изученные битумоиды обладают аномальными концентрациями высокомолекулярных насыщенных углеводородных структур, что, в первую очередь касается автохтонного битумоида, nC_{27}/nC_{17} которого составляет 137. Последовательное снижение данного показателя с ростом битумоидного коэффициента (табл. 1) может быть результатом перераспределения *n*-алканов в пользу низкомолекулярных при миграции подвижных фракций битумоидов.

Концентрация ациклических изопреноидов в исследуемых образцах значительно ниже, чем содержание соответствующих им *n*-алканов (табл. 1, рис. 6). В составе изопреноидов идентифициро-

ваны соединения $iC_{13}-iC_{25}$, особенностью распределения которых является преобладание в автохтонном битумоиде компонента iC_{21} над пристаном и фитаном (рис. 6). Это может быть обусловлено спецификой исходного биоматериала, в котором доминировал iC_{21} , но при миграции битумоидов могло происходить перераспределение изопреноидных структур.

Известно, что основным источником пристана и фитана является продуцируемый при гидролизе хлорофилла непредельный спирт фитол, который в окислительных условиях преобразуется в пристан, а в восстановительных — в фитан [16]. Для автохтонного и смешанного битумоида-6 характерно преобладание фитана над пристаном ($Pr/Ph = 0.8$), что является признаком малой степени их деградированности. В то же время в аллохтонном и в смешанном битумоиде-2 отношение Pr/Ph превышает единицу (табл. 1). Такие колебания отношений Pr/Ph указывают на формирование угля на глубине 6–7 м преимущественно в восстановительных условиях диагенеза, а в верхней части залежи, представленной аллохтонным битумоидом, и нижнего горизонта (9.1 м), — в окислительных, что свидетельствует о смене фациальных режимов в процессе угленакпления.

К числу важнейших реликтовых биологически маркирующих углеводородов относятся стераны — насыщенные тетрациклические УВ, идентифицированные по m/z 217 (рис. 7). Распределение регулярных стеранов $C_{27}-C_{30}$ во всех образцах характеризуется выраженным преобладанием этилхолестана (C_{29}), отвечающего за вклад высшей растительности, над холестераном (C_{27}) — представителем “водорослевой” составляющей (рис. 8). Высокая концентрация регулярного стерана C_{29} относится к одним из главных признаков террагенной природы ОВ сергеевского угля [17], а наибольшим отношением C_{29}/C_{27} отличается автохтонный битумоид (табл. 1). К особенностям распределения стерановых УВ следует отнести

Таблица 2. Групповой состав битумоидов, %

Битумоид	Углеводороды			Смолы	Асфальтены	УВ _{насыщ} /УВ _{аром}	Смолы/асфальтены
	насыщенные	ароматические	сумма УВ				
Аллохтонный	9.4	5.1	14.5	38.8	46.7	1.9	0.8
Автохтонный	6.6	4.8	11.4	54.8	33.8	1.4	1.6
Смешанный-6	7.5	5.1	12.6	50.5	36.9	1.5	1.4
Смешанный-2	9.2	8.2	17.4	60.4	22.2	1.1	2.7

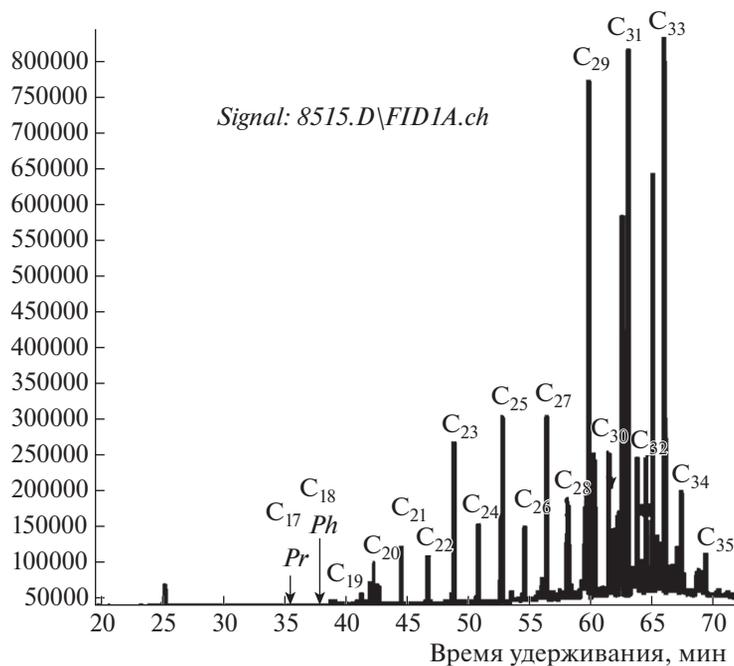


Рис. 4. Газожидкостная хроматограмма алкановой фракции автохтонного битумоида.

повышенную долю гомолога C_{30} относительно метилхолестана (C_{28}) в составе автохтонного и смешанного битумоида-6 и по сравнению с холестаном (C_{27}) — в автохтонном битумоиде (табл. 1). В определенной степени это свидетельствует о формировании угля на глубине 6–7 м в условиях повышенной влажности [18]. Коэффициенты зрелости (K_1 и K_2) наиболее обильных стеранов C_{29} (табл. 1), отражающие соотношение новообразованных в катагенезе изостеранов и исходных биостеранов, свидетельствуют о низкой степени преобразованности исходного органического вещества угля [13].

Согласно рис. 9 и 10, среди углеводов терпанового ряда ведущая роль принадлежит гомо-

гопанам (45.0–60.2%), на долю гопанов и норгопанов приходится от 6.3 до 15.6%. Автохтонный и смешанные битумоиды содержат больше гопанов по сравнению с автохтонным, что указывает на накопление данной группы соединений при миграции битумоидов. Во фракции гопановых УВ идентифицированы все члены гомологического ряда от C_{27} до C_{35} при ведущей роли компонентов C_{31} (73.8–88.9%). Среди трисноргопанов состава C_{27} гомолог T_m (трисноргопан) преобладает над

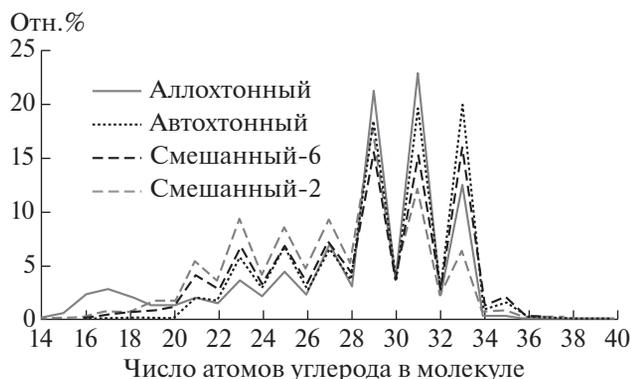


Рис. 5. Распределение *n*-алканов в битумоидах.

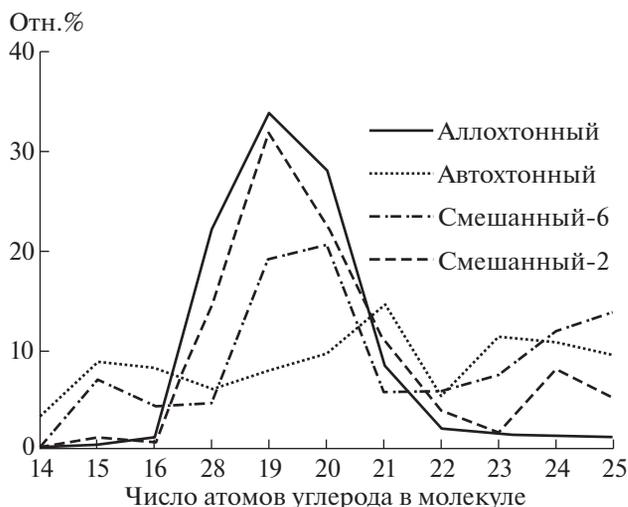


Рис. 6. Распределение ациклических изопреноидов в битумоидах.

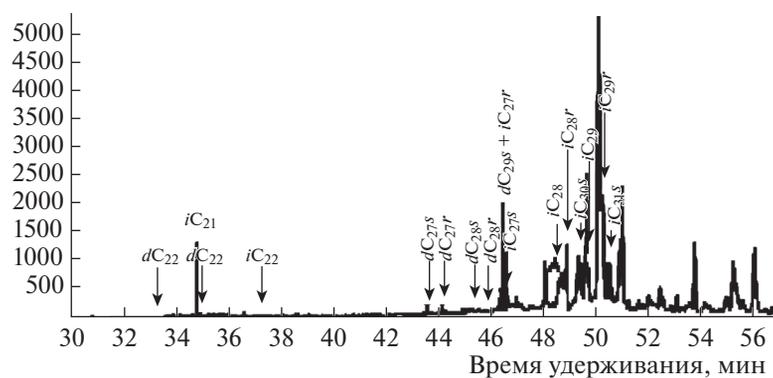


Рис. 7. Масс-фрагментогаммы стеранов (m/z 217) автохтонного битумоида.

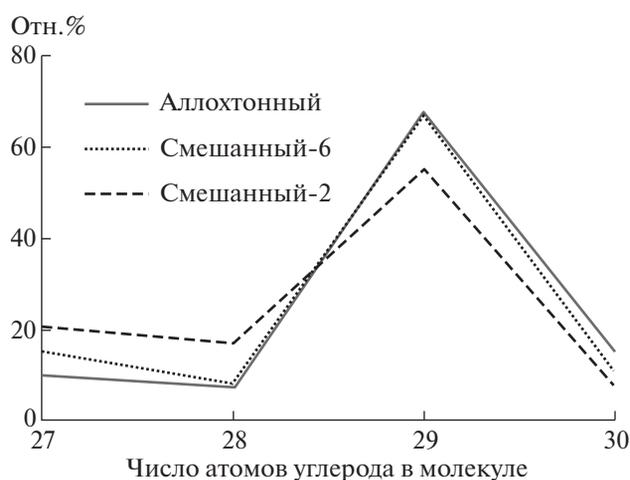


Рис. 8. Молекулярно-массовое распределение стерановых УВ в битумоидах.

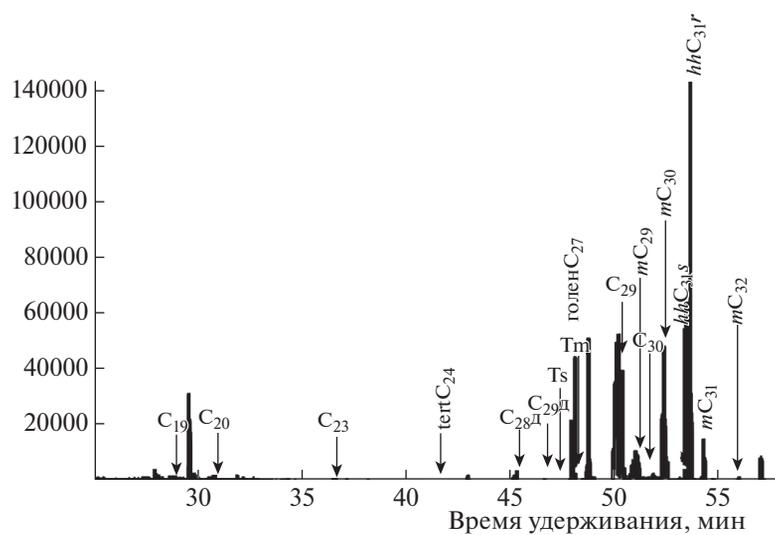


Рис. 9. Масс-фрагментогаммы терпановых углеводородов (m/z 191) аллохтонного битумоида.

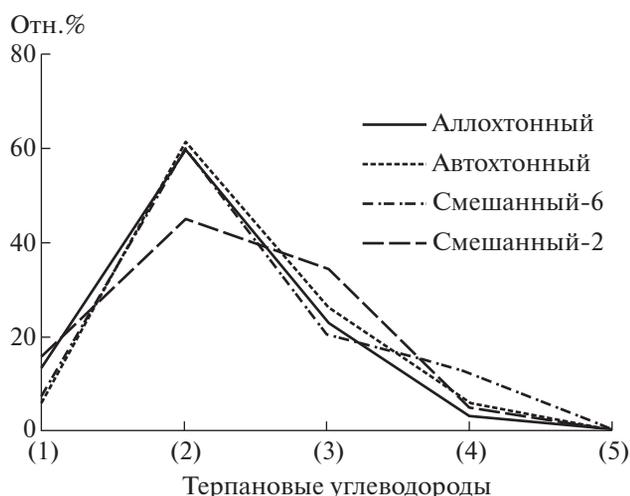


Рис. 10. Распределение терпановых углеводородов: гопанов (1), гомогопанов (2), моретанов (3), тетрацикланов (4) и трицикланов (5) в битумоидах.

триснорнеогопаном T_s (табл. 1). Из рис. 10 видно, что битумоиды содержат значительные количества моретанов (20.4–34.2%), что согласуется с

выводами о низкой степени преобразования ОВ исследуемого угля, поскольку моретаны гораздо менее стабильны в условиях катагенеза, чем гопаны [18, 19]. Минимальное соотношение гопанов C_{27-30} и моретанов C_{29-32} выявлено у автохтонного битумоида, максимальное — у аллохтонного (табл. 1). Возможно, данный показатель также зависит от миграционных процессов.

В минимальных количествах среди терпанов представлены три- и тетрациклические терпаны (рис. 9, 10). Содержание трицикланов очень низкое (0.1–0.4%), в максимальных количествах присутствуют соединения C_{28-31} . Значения трицикланового индекса превышают единицу (табл. 1), что характерно для террагенного типа органического вещества [20, 21]. Концентрация тетрацикланов изменяется от 3.1 до 12.1%. Главными компонентами данной фракции являются соединения C_{24} (91.8–98.0%).

В составе ароматической фракции идентифицированы фенантрены, дибензотиофены, моно- и триароматические стероиды (рис. 11, 12). Ароматические УВ обычно относят к “биологическим меткам” второго порядка, однако некото-

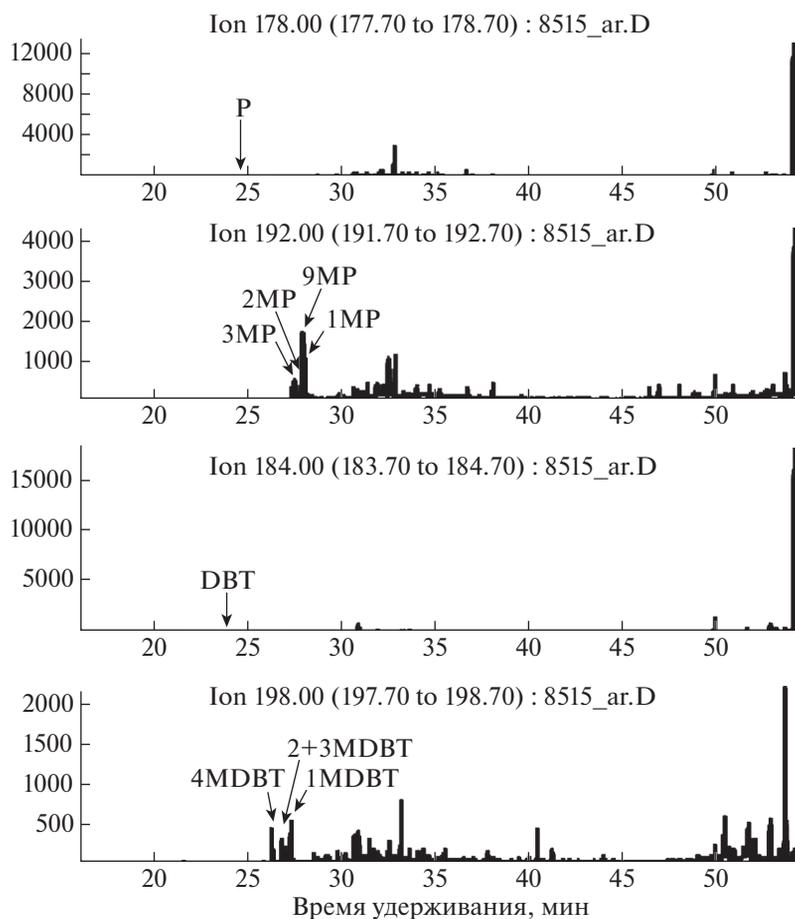


Рис. 11. Масс-фрагментограммы фенантренов (m/z 178 и 192) и дибензотиофенов (m/z 184 и 198) автохтонного битумоида.

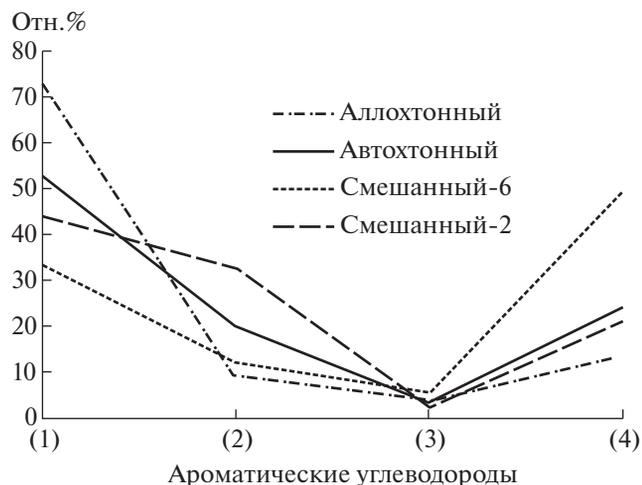


Рис. 12. Распределение ароматических углеводородов: фенантронов (1), дибензотиофенов (2), моноароматических (3) и триароматических стероидов (4) в битумоидах.

рые из них очень важны с геохимической точки зрения [22]. К числу таких соединений принадлежат фенантроны, происхождение которых связано с высшими наземными растениями [23], а голоядерный фенантрен образуется при ароматизации абиетиновой кислоты — компонента смолы хвойных деревьев [24]. Известно, что в процессе катагенеза содержание фенантронов возрастает [10]. Однако в исследуемых образцах установлены достаточно низкие (33.3–72.9%) для террагенного ОВ концентрации фенантронов (рис. 12), что может быть обусловлено низкой зрелостью исследуемого угля. Наибольшая концентрация фенантронов выявлена в аллохтонном битумоиде, относительно более термически преобразованном. Монометилзамещенные фенантроны в большинстве случаев преобладают над фенантrenom (табл. 1). Значительное для террагенного ОВ содержание моноароматических и триароматических стероидов и соотношение ТАС/МАС (табл. 1, рис. 12) согласуется с данными об участии аквагенной биопродукции в формировании исследуемого угля, особенно нижних горизонтов месторождения, а также объясняется неоднократными сменами фациальных режимов угленакопления [10]. Наименьшее значение приведенных показателей выявлено у битумоида аллохтонного типа. Судя по очень низкому (≤ 0.1) соотношению триароматических стероидов (табл. 1), степень катагенетического созревания ОВ смешанных битумоидов соответствует градации ПК [25, 26], а автохтонного и аллохтонного битумоидов (ТАСИ 0.16 и 0.23 соответственно) — градации МК₁-МК₂ (табл. 1). Метилфенантреновый индекс *MPI* из-

меняется в пределах 0.37–0.5, что соответствует катагенезу \leq МК₁ [27].

ВЫВОДЫ

1. Впервые проведено комплексное исследование геохимических параметров бурого угля Сергеевского месторождения. Показано, что органическое вещество угля обогащено битумоидами. Установлено происхождение битумоидов, исследован состав представителей каждого типа.

2. Геохимические критерии углеводородов-биомаркеров, а именно: высокие значения P_{wax} , распределение и соотношение *n*-алканов, стеранов, групп терпанов, соответствуют террагенному типу органического вещества, генетически связанного с липидами высшей наземной растительности. Участие аквагенного биоматериала (P_{aq} , значительное содержание стеранов C_{30} , высокие концентрации триароматических стероидов и отношение ТАС/МАС, низкие концентрации фенантронов) свидетельствует о повышении степени обводненности залежи на отдельных этапах угленакопления.

3. К показателям низкой зрелости угольного вещества относятся: высокий коэффициент нечетности *n*-алканов, значения стерановых коэффициентов зрелости, высокие концентрации моретанов и низкие — фенантронов, соотношение триароматических стероидов.

4. Сравнение биомаркерных показателей автохтонного битумоида с характеристиками битумоидов аллохтонного и смешанного происхождения позволяет говорить о возможности перераспределения УВ в процессе миграции слабопреобразованных битумоидов внутри угленосной толщи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев И.А., Капанин В.П., Ковтонюк Г.П., Мельников В.Д., Лужнов В.Л., Данилов А.П., Сорокин А.П. Минерально-сырьевая база Амурской области на рубеже веков. Благовещенск: ПКИ Зезя, 2000. 168 с.
2. Сорокин А.П., Конюшок А.А., Агеев О.А., Кузьминых В.М. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2019. № 4. С. 141. [J. Mining Sci., 2019, vol. 55, no. 4, p. 643] <https://doi.org/10.15372/FTPRI20190415>
3. Носкова Л.П. // Вестн. Иркутск. гос. техн. ун-та. 2012. Т. 68. № 9. С. 195.
4. Носкова Л.П. // ХТГ. 2014. № 4. С. 12. [Solid Fuel Chemistry, 2014, vol. 48, no. 4, p. 224. DOI: 10.3103/S0361521914040090]. <https://doi.org/10.7868/S0023117714040094>
5. Носкова Л.П. // Вестн. Иркутск. гос. техн. ун-та. 2014. Т. 88. № 5. С. 148.
6. Носкова Л.П. // ХТГ. 2010. № 5. С. 35. [Solid Fuel Chemistry, 2010, vol. 44, no. 5, p. 319. DOI: 10.3103/S0361521910050071]

7. Носкова Л.П. // Фундаментальные исследования. 2015. № 9-3. С. 497.
8. Шпирт М.Я. Безотходная технология. Утилизация отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых. М.: Недра, 1986. 255 с.
9. Радченко О.А., Горская А.И., Родионова К.Ф., Четверикова О.П. Руководство по анализу битумов и рассеянного органического вещества горных пород. Л.: Недра, 1966. 316 с.
10. Конторович А.Э., Бабина Н.М., Богородская Л.И., Винокур Б.Г. // Тр. СНИИГГ и МС: Сер. Нефтяная геология. Л.: Недра, 1967. Вып. 50. 223 с.
11. Успенский В.А., Радченко О.А., Горская А.И., Шишкова А.П. Методы битуминологических исследований. Задачи исследований и пути их разработки. Методическое пособие. Л.: Недра, 1975. 319 с.
12. Конторович А.Э., Меленевский В.Н., Иванова Е.Н., Фомин А.Н. // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 7. С. 873.
13. Петров Ал.А. Геохимическое значение стеранов / Научно-прикладные аспекты геохимии нефти и газа. М.: ИГИРГИ, 1991. 30 с.
14. Ficken K.J., Li B., Swain D.L., Eglinton G. // Organ. Geochem. 2000. V. 31. P. 745.
15. Zheng Y., Zhou W., Meyers P., Xie S. // Organ. Geochem. 2007. V. 38. P. 1927.
16. Didyk B.M., Simoneit B.R.T., Brassel S.C., Eglinton G. // Nature. 1978. V. 272. № 5650. P. 216.
17. Volkman J.K. // Organ. Geochem. 1986. V. 9. P. 83.
18. Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. // Cambridge University Press, 2005. 1155 p.
19. Seifert W.K., Moldowan J.M. // Adv. Organ. Geochem.: Physics and Chemistry of the Earth. Newcastle-upon-Tyne: Pergamon press, 1980. V. 12. P. 229.
20. Waples D.W., Machihara T. // Bull. Can. Petrol. Geol. 1990. V. 38. № 3. P. 357.
21. Конторович А.Э., Бахтуров С.Ф., Башарин А.К., Беляев С.Ю., Бурштейн Л.М., Конторович А.А., Кринин В.А., Ларичев А.И., Ли Году, Меленевский В.Н., Тимошина И.Д., Фрадкин Г.С., Хоменко А.В. // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 11. С. 1676.
22. Бондарь Е.Б., Кузник М.Г. // Горючие сланцы. 1988. Т. 5. № 4. С. 337.
23. Simoneit B.R.T. // Geochim. Cosmochim. Acta. 1977. V. 41. № 4. P. 463.
24. Tissot B., Bienner F. // Adv. Organ. Geochem. Paris: Éditions Technip, 1974. P. 1102.
25. Peters K.E., Moldowan J.M. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments. New Jersey, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1993. 363 p.
26. Чахмахчев В.А., Карцев А.А., Прасолов Э.М. // Геология нефти и газа. 2005. № 1. С. 47.
27. Radke M., Welte D.H. // Adv. Organ. Geochem. 1981. New York: John Wiley & Sons, 1983. P. 504.