

ЭВОЛЮЦИЯ НЕФТЕГАЗООБРАЗОВАНИЯ В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ И ПРОГНОЗ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ

Т.К. Баженова

*Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геолого-разведочный институт,
191014, Санкт-Петербург, Литейный просп., 39, Россия*

Рассмотрен процесс нефтегазообразования как фундаментальная проблема геологии и естествознания в целом, которая связана не только с энергетическим обеспечением человечества, но и с проблемой происхождения жизни на Земле. Показано, что эволюция нефтегазообразования — процесс филогенетический, внутренний движущий фактор которого — развитие биосферы. Основу захороняемого в осадках органического вещества (ОВ) со времен раннего докембрия представляет фитопланктон, обладающий высокой долей липидов, служащих источником углеводородов. Накопление ОВ в морских осадках подчинено закону периодичности. В среднем палеозое в фоссилизированном ОВ существенная роль принадлежит зоопланктону. С появлением низколипидных макрофитов, создавших гумусовое ОВ в осадках, существенно возрос газогенерационный потенциал ОВ в целом. Показано, что усилившаяся газогенерация не сменила нефтегенерацию, а оба процесса существовали параллельно, начиная с мезозоя примерно в равновеликих масштабах. Фактическое соотношение нефти и газа в бассейнах обусловлено не только филогенетическими причинами, но и онтогенетическим развитием конкретного бассейна.

Нефтегазообразование, планктон, органическое вещество, филогенез, биосфера, катагенез.

EVOLUTION OF OIL AND GAS GENERATION IN THE EARTH'S HISTORY AND PETROLEUM PREDICTION IN SEDIMENTARY BASINS

T.K. Bazhenova

Oil and gas generation is a basic problem of geology and natural sciences, being associated with energy resources as well as with the origin of life on the Earth. The evolution of hydrocarbons is controlled by the evolution of the biosphere and is an issue of phylogeny. Organic matter (OM) buried in sediments since the Early Precambrian consists mostly of phytoplankton, which is the main carrier of lipids as a source of hydrocarbons. Organic matter accumulates in marine sediments according to the law of periodicity. Middle Paleozoic fossilized OM is largely formed of zooplankton. Zooplanktonic OM, likewise classified as sapropelites, had interfered with the process of oil and gas generation since its origin, e.g., tentaculites of the Domanik formation increased oil content. The inception of low-lipid macrophytes gave rise to input of humic OM into water bodies and formation of mixed-type OM. The larger the humic component in OM, the higher its gas potential. However, instead of replacing oil generation, enhanced gas generation had joined it since the Mesozoic, and their scales were approximately equal. The actual oil/gas ratio in sedimentary basins depends on phylogenetic factors as well as on the evolution of each specific basin.

Oil and gas generation, plankton, organic matter, phylogeny, biosphere, mature OM

ВВЕДЕНИЕ

Нефтегазообразование — фундаментальная проблема геологической науки, поскольку, с одной стороны, имеет огромное практическое значение и связана с энергетическим обеспечением человечества, а с другой — находится на стыке трех естественных наук — геологии, химии и биологии. Эта проблема в той или иной мере корреспондирует с таковой происхождения жизни на Земле и тем самым превращается в фундаментальную проблему естествознания в целом.

Современные представления о нефте- и газообразовании в рамках осадочно-миграционной теории в основном сложились к 70-м годам XX столетия благодаря усилиям многих исследователей и, в первую очередь, В.И. Вернадского, Н.Б. Вассоевича, И.М. Губкина, М.Ф. Двали, А.Ф. Добрянского, А.И. Леворсена, О.А. Радченко, А.А. Трофимука, В.А. Успенского, Дж.Т. Филиппи, Д. Ханта и их последователей — прежде всего Д. Вельге, В.С. Вышемирского, М. Кальвина, А.Э. Конторовича, Дж. Молдована, С.Г. Неручева, К.Е. Петерса, Б. Тиссо, Р.П. Филла и других, воспитавших целую плеяду учеников.

Эволюция нефтегазообразования в истории Земли — это и зарождение и эволюция живого вещества, и эволюция накопления масс органического вещества (ОВ) в осадках и его генетических типов, и эволюция состава генерирующихся углеводородов (УВ), и, наконец, эволюция самих осадочных бассейнов — как в филогенетическом, так и в онтогенетическом аспекте — и геотермических режимов в них, и многое

Соответствующие уровням тела и(или) явления		Уровни организации вещества геологических объектов	Соответствующие уровням тела и(или) явления	Соответствующие уровням тела и(или) явления
Прерванная ветвь конструктивного иерархогенеза	↑ Восходящая (конструктивная) ветвь иерархогенеза	Оболочечный (геосферный)	УВ-СФЕРА	Нисходящая (деструктивная) ветвь иерархогенеза ↓
		Субоболочечный (геолинзовый)	НГБ (нефтегазоносный бассейн)	
		Парагенезов формаций	ОНГО (очаг нефтегазообразования) ЗНГН (зона нефтегазонакопления)	
		Формационный	НГМГ-свиты нефтегазо-содержащие формации ↑ Образование макронепти	
		Породный	Образование микронепти. Первичная миграция (эмиграция)	
		Минеральный	Формирование состава и свойств ОВ в целом	
		Молекулярный	Образование УВ радикалов и молекул	
		Атомный	Дифференциация изотопов биогенного углерода	
Жильные и гнездообразные тела асфальтовых битумов, керитов, озокеритов, элатеритов и пр. как «потери аккумуляции»				

Рис. 1. Иерархический принцип онтогении углеводородов и их скоплений и место нафтидов на ветвях иерархогенеза.

другое. Проблемы эволюции нефти и газа в истории Земли с отдельных сторон обсуждались В.И. Вернадским, Н.Б. Вассоевичем, В.А. Успенским и др., а также рассмотрены в работах сибирских геохимиков [Вышемирский, Конторович, 1997, 1998; Конторович, Вышемирский, 1997; Конторович, 2004; Конторович и др., 2007].

В настоящей статье рассматриваются лишь некоторые вопросы (с различной степенью детальности) преимущественно на отечественном материале, который вполне позволяет в той или иной мере охарактеризовать все «филогенетическое древо» этого процесса; основное внимание будет уделено вопросам, наименее освещенным в геологической литературе.

В Сибирской школе геологов и геохимиков-нефтяников определению «нефтегазообразование» предпочитают термин «нафтидогенез». В данном случае более предпочтителен первый и вот почему. Под «нафтидогенезом» автор понимает обе иерархические ветви в онтогенезе УВ и их скоплений — и конструктивную, и деструктивную (рис. 1). Мы эволюцию процесса рассматриваем прежде всего в филогенетическом аспекте, а в онтогенезе — только конструктивную иерархическую ветвь, т.е. продукты гипергенного и термально-метаморфического преобразования нефти и их генезис не затрагиваем.

ВОПРОСЫ ЭВОЛЮЦИИ ИСХОДНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

Дискуссионные вопросы зарождения (появления?) жизни на Земле и ее «улики» в раннем («дочехольном») докембрии достаточно подробно рассматривались в работах Н.В. Лопатина [1983], А.Э. Конторовича и др. [1985] и Св.А. Сидоренко [1991], а на более современном уровне в статьях В.С. Вышемирского, А.Э. Конторовича, А.А. Трофимука с соавт. [Конторович и др., 1996; Вышемирский, Конторович, 1997, 1998; Конторович, Вышемирский, 1997; Конторович, 2004], посвященных глобальным закономерностям нефтегазоносности докембрия и фанерозоя. Эти достаточно подробные, очень интересные обзоры не устарели и ныне (хотя некоторые положения и требуют уточнения). Нет смысла вновь подробно рассматривать эти вопросы, остановимся лишь на некоторых моментах.

При всей дискуссионности и нерешенности проблемы происхождения жизни на Земле привлекает внимание точка зрения физиков: жизнь могла возникнуть только в том случае, когда созданные абиогенным путем рацемические молекулы органических веществ в массовом масштабе и одновременно обрели хиральную чистоту; только в хирально-чистых молекулярных структурах появляется возможность саморепликации, что, собственно говоря, и есть жизнь. Само же обретение хиральной чистоты происходило синергетически, путем бифуркации [Гольданский, 1986]. Здесь нет возможности останавливаться на этом интереснейшем, «ключевом» вопросе, лишь кратко упомянем о нем (с отсылкой к автору данной точки зрения) в качестве «информации к размышлению» для геологов.

В дальнейшем при необходимости будем приводить некоторые сведения, так или иначе связанные с процессами образования УВ в раннем докембрии. В основном же здесь рассматриваются вопросы нефтегазообразования, начиная с позднего докембрия и кончая кайнозойем, т. е. за период, в течение которого формировались в настоящее время существующие осадочные бассейны.

За 1600 млн лет формирования всех современных осадочных бассейнов органический мир претерпел сложную эволюцию — от простейших прокариот до позвоночных. Однако биоценотической доминантой ОБ обогащенных им горизонтов (нефтегазоматеринских формаций) является альгопланктон — почти вне зависимости от возраста. И хотя альгофлора испытала существенную эволюцию (она же стала родоначальницей высших растений), в отличие от зооорганизмов и некоторых таксонов высшей флоры ни один из отделов альгофлоры не вымер. Иными словами, со временем в био- и танатоценозах принимали участие все больше альготаксонов при доминировании представителей одного-двух отделов, остальные же не вымирали, а занимали иные экологические ниши. Для обогащенных ОБ горизонтов биоценотический состав организмов всегда специфичен и систематически ограничен. Эпохи накопления ОБ предваряют и наследуют таковые биоморфогенеза. Само явление специфичности и однообразия биоценозов в эпохи накопления ОБ в геологической истории также претерпело эволюцию, обусловленную прогрессирующим разнообразием органического мира в целом. Так, в рифее 1—5 родов цианей и(или) акритарх в обогащенных ОБ отложениях на фоне 25—30 родов — в породах бедных, а в палеогене 20—35 родов и видов динофлагеллят в обогащенных разностях на фоне 100—150 — в обедненных.

Рифей — господство прокариот — планктонных цианей и бактерий. Однако уже в низах раннего рифея встречаются представители группы Acritharcha, возможно, это предки Chlorophyta, по крайней мере, это уже эукариоты. Здесь же обнаружены остатки донных многоклеточных водорослей (отдел Phaeophyta). Все это свидетельствует, что эукариоты появились раньше раннего рифея. Таким образом, к началу рифея мы уже имеем триаду автотрофов: Cyanophyta—Acritharcha—Phaeophyta. С появлением эукариотной альгофлоры должна была возрасти скорость углеродной седиментации в соответствии с большими размерами эукариотных организмов, в том числе одноклеточных, по сравнению с таковыми прокариотных.

На протяжении всего рифея и венда в эпохи накопления ОБ характер альгобиоценозов практически не менялся, вариации наблюдаются лишь в доле донных Phaeophyta (в трансгрессивные эпохи она возрастает, в регрессивные — снижается, иногда до нуля). В кембрии отмечается та же тенденция, однако наряду с планктонными цианеями появляются Chlorophyta (род *Tasmanites*), а также трилобиты с органическим хитиновым скелетом и донные Rhodophyta. В раннем ордовике, а затем в силуре существенную роль в накоплении ОБ впервые начинают играть зооорганизмы, в данном случае граптолиты. Начиная с девона то или иное участие в накоплении ОБ морских нефтегазоматеринских горизонтов принимает аллохтонная органика континентов — остатки высшей флоры, это характерно для трансгрессивных формаций. Доманиковская формация позднего девона — второй в геологической истории уровень, где зачастую преобладают зооорганизмы (тентакулиты); альгопланктон представлен тасманитесами и акритархами. В целом с середины среднего и в позднем палеозое постепенно возрастало поступление континентальной органики в водоемы (в том числе и морские), а среди планктонной альгофлоры доминанта перешла от синезеленых водорослей к зеленым. В мезозое роль высшей флоры в накоплении ОБ усиливается, хотя в морских водоемах значение планктонных гидробионтов (Chlorophyta) являлось определяющим и создавались доманикитно-доманикоидные толщи. Если для триаса образование таких формаций не характерно — в осадках преобладают остатки высшей флоры, то в юре (особенно в поздней) и в меньшей степени в мелу формирование доманикитно-доманикоидных горизонтов с альгопланктонным ОБ имело широкое региональное развитие. В кайнозое среди морского альгопланктона преобладают, во-первых, диатомовые, во-вторых, динофлагелляты — основные биопродуценты в нефтегазоматеринских кумской свите (P₂) и майкопской серии (P₃—N₁) Кавказа и Превкавказья. Наряду с динофлагеллятами встречаются акритархи, зеленые водоросли, а также остатки высших растений.

Биологическая эволюция, доминирующий систематический состав организмов в эпохи максимального накопления ОБ в осадках создают его фациально-генетические (фациально-биоценотические) типы — разновидности сапропелитов, гумиты (гумолиты), смешанные типы ОБ, которые в совокупности ответственны за генерацию УВ. Эволюция биоценотического состава исходного ОБ нефтегазоматеринских горизонтов от рифея до кайнозоя показана на рис. 2.

ЭВОЛЮЦИЯ НАКОПЛЕНИЯ ОБ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЕГО ФАЦИАЛЬНО-БИОЦЕНОТИЧЕСКИХ ТИПОВ

Изучение распределения ОБ в осадочных и метаосадочных породах и сложенных ими формациях позволяет утверждать, что основным законом его накопления и последующего пребывания в современной (и бывшей) стратифере являются неравномерность в пространстве и периодичность во времени, что

определяется совокупностью взаимосвязанных внутренних (биотических) и внешних (геологических и, вероятно, космических) факторов — характером развития биосферы, эволюцией фациально-палеогеографических условий, вулканической деятельностью — источником ювенильной CO₂ и т. п., в конечном счете взаимодействием оболочек Земли и, возможно, положением последней в космическом пространстве.

Геологические объекты в отношении ОВ на породном уровне характеризуются его концентрацией (в %), а на формационном — осредненной (средневзвешенной) концентрацией и массой. Более высокие уровни, вплоть до геосфер, обычно характеризуются массой ОВ в величинах так называемого органического (некарбонатного) углерода — C_{нк}. Впрочем, для высоких уровней также используется и показатель концентрации (кларки, субкларки). Напомним, что по концентрации C_{нк} мы выделяем следующие типы пород (и формаций): C_{нк} ≥ 25 % — идиолитические сапропелиты; C_{нк} — 5—25 % — доманикиты; C_{нк} — 0.5—5 % — доманикоиды; C_{нк} — 0.1(0.2)—0.5 % — субдоманикоиды, C_{нк} < 0.1 % — породы (и формации) со сверхрассеянной формой ОВ [Систематика..., 1998]; последняя категория к нефтегазоматеринским не относится, так как рожденные здесь ничтожные количества УВ не могут преодолеть силы сорбции и, соответственно, эмигрировать.

Вышеупомянутое правило периодичности накопления ОВ наиболее ярко проявляется в условиях морской шельфовой седиментации. Обогащенные ОВ формации соответствуют трансгрессивным и регрессивным стадиям циклов, как правило, третьего (в 45 млн лет), реже четвертого порядков (в рифее чаще второго порядка — в 90 млн лет), тогда как формации инундационных и эмерсивных стадий практически лишены ОВ (концентрации C_{нк} как на породном, так и на формационном уровнях — n·10⁻² %). Распространение обогащенных ОВ стратиграфических уровней имеет, как правило, широко региональный и даже глобальный характер, что подтверждает сопоставление разрезов и седиментационных кривых различных регионов (рис. 3). Однако «степень выраженности» этих горизонтов может быть различной по концентрации C_{нк}, мощности, составу, строению и пр. — от высокообогащенных доманикоидов заметной мощности до отдельных темноцветных прослоев (редуцированные формации) — все определяется стадией развития бассейна в целом и его особенностями. Существует правило обратной зависимости концентрации C_{нк} от мощности формации (эффект разбавляющего влияния минеральной составляющей). В халистатических областях, приуроченных обычно к перикратонам, амагматичным миогеосинклиналям и другим «закрайнам» древних платформ, накопление ОВ происходило непрерывно в течение нескольких геологических периодов (Є₃—С₁ Таймыра; D₃—J Скалистых гор Канады; S₁—P₁ Лемвинской зоны Приполярного Урала). Распределение C_{нк} в подобных зонах практически не изучено; однако, вероятно, и там можно было бы обнаружить качественно-количественную периодичность в накоплении ОВ. Заметим, кстати, что длительному мощному накоплению ОВ в Скалистых горах обязано своим происхождением знаменитое крупнейшее скопление битумов на р. Атабаска.

Таблица 1. Распределение концентраций C_{нк} в нефтегазоматеринских горизонтах (НГМГ) рифея—кайнозоя

Возраст НГМГ	Регион	Выборка	Диапазоны концентраций C _{нк} (% на породу) и типы концентраций, % от выборки								Сумма, %
			Субдоманикоиды	Доманикоиды	Доманикиты				Идиолит.*		
					0.1—0.5	0.5—1	1—5	5—10		10—15	
R ₁₋₃	Сибирская платформа	78	29.5	32.1	32.0	6.4	—	—	—	—	100.0
V ₂ np	То же	150	52.0	23.3	23.3	—	—	1.4	—	—	100.0
V ₂ tr	»	53	45.3	28.3	24.5	1.9	—	—	—	—	100.0
V ₂ rd	Русская плита	69	33.3	40.6	24.6	1.5	—	—	—	—	100.0
Є ₁₋₂ kn	Сибирская платформа	170	12.9	7.7	47.1	18.8	8.8	4.7	—	—	100.0
Є ₃ čp(sh)	То же	44	43.2	20.5	25.0	—	6.8	4.5	—	—	100.0
S ₁ l ²	»	61	24.6	18.0	32.8	21.3	3.3	—	—	—	100.0
D ₃ dm	Тимано-Печорский бассейн	339	10.9	9.7	41.8	26.0	6.5	3.0	1.5	0.6	100.0
J ₃ bj	Западно-Сибирская плита	325	0.6	2.2	24.0	46.5	21.2	5.5	—	—	100.0
P ₂ km	Предкавказье	214	6.5	11.2	77.1	5.2	—	—	—	—	100.0
P ₃ hd	Предкавказье—Крым	296	7.8	12.5	76.7	3.0	—	—	—	—	100.0

Примечание. Здесь и далее свиты: V₂np — непская, V₂tr — тирская, V₂rd — редкинская, Є₁₋₂kn — куонамская, Є₃čp(sh) — чопкотинская (суханская), J₃bj — баженовская, P₂km — кумская; S₁l² — лландоверский ярус, средний подъярус; горизонты: D₃dm — доманиковый, P₃hd — хадумский, P₃dn — даниловский.

* Идиолитические сапропелиты.

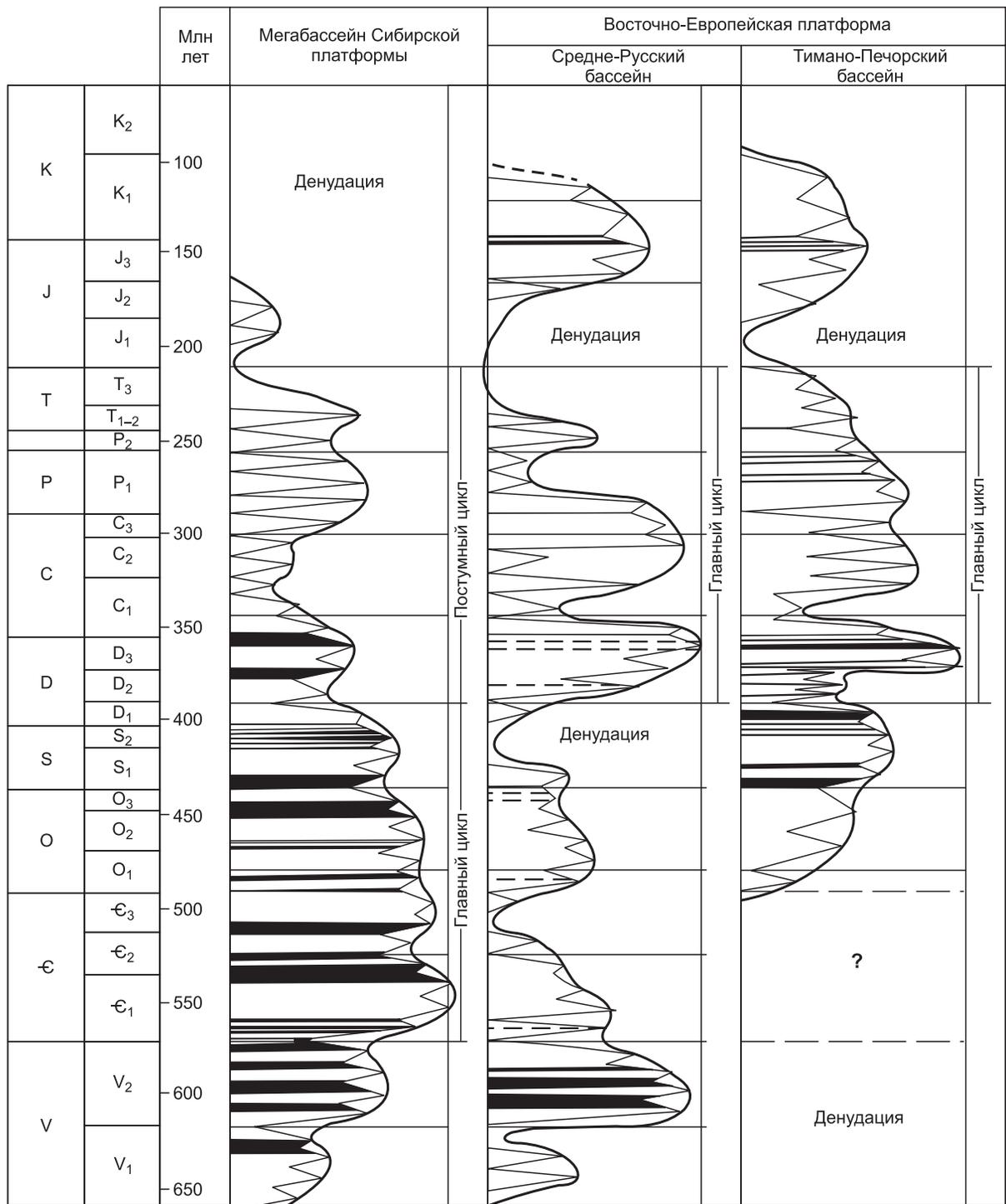


Рис. 3. Седиментационные кривые венда—палеозоя—мезозоя бассейнов Сибирской и Восточно-Европейской платформ и положение нефтегазоматеринских горизонтов (черная заливка).

Свои коррективы в распределение масс ОБ на кривых седиментации были внесены завоеванием континентальных пространств макрофитами, по крайней мере, начиная с карбона. Так, в фазы инundации (и в меньшей степени эмерсии), когда накапливающиеся морские осадки были почти «стерильны» в отношении ОБ, в континентальных водоемах шло образование мощных угленосных формаций.

Мы попытались проследить геоисторическую эволюцию обогащенных ОБ (нефтегазоматеринских) формаций с позиций характера распределения сапропелевого ОБ ($C_{нк}$) в них [Баженова и др., 2005]. Объектами исследования были наиболее яркие темноцветные формации некоторых бассейнов России, в

Таблица 2. Статистические характеристики распределения ОВ ($C_{нк}$) в нефтегазоматеринских горизонтах рифей—кайнозой

Возраст НГМГ	Регион	Статистические параметры $C_{нк}$, %			Диапазон кон-центр. $C_{нк}$, %	Соотношение типов концентр. $C_{нк}$ в выборке СД:Д:ДТ*
		\bar{x}	me	mo		
R_{1-3}	Сибирская платформа	1.41	0.82	0.73	0.15—8.03	4.5:10:1
V_{2rd}	Русская плита	0.96	0.65	0.71	0.17—6.30	23:45:1
V_{2np}	Сибирская платформа	0.93	0.49	0.33	0.16—16.70	39:35:1
V_{2tr}	То же	0.88	0.60	0.30	0.18—5.39	24:28:1
$\epsilon_{1-2}kn$	»	4.38	2.89	1.51	0.10—19.51	1:4:2.5
$\epsilon_3\epsilon p$	»	2.41	0.72	0.30	0.14—19.32	4:4:1
S_1I^2	»	2.95	1.44	0.36	0.19—11.21	1:2:1
				7.60		
D_3dm	Тимано-Печорский бассейн	4.95	3.50	1.43	0.11—30.28	1:4:3
J_3bj	Западно-Сибирская плита	7.68	7.44	7.51	0.13—18.82	1:43:119
P_2km	Предкавказье	2.10	1.70	1.49	0.20—8.07	1.3:17:1
P_3hd	Предкавказье—Крым	2.02	1.78	1.52	0.25—9.21	2.5:29:1

* СД — субдоманикоиды; Д — доманикоиды; ДТ — доманикиты.

значительной мере определяющие их нефтегазоносность. Распределение $C_{нк}$ в них по типам концентраций и градациям, а также статистические характеристики этого распределения приведены в табл. 1, 2. Десять формаций диапазона венд—палеоген — это конкретные тела бассейнов Сибирской и Восточно-Европейской платформ, Западно-Сибирской плиты и Крымско-Кавказского региона. В то же время рифей представляют несколько темноцветных формаций Сибирской платформы. Обращает на себя внимание снижение статистических параметров от рифей к венду, затем резкое увеличение в куонамской свите ($\epsilon_{1-2}kn$), вновь снижение в позднем кембрии, затем некоторое возрастание в граптолитовых сланцах раннего силура (S_1I^2) и резкое повышение в доманиковой формации позднего девона (D_3dm) Тимано-Печорского бассейна. Среди представленных восьми обогащенных формаций древних платформ наиболее доманикоидные с большой долей доманикитности только две: куонамская свита ($\epsilon_{1-2}kn$) и доманиковая формация (D_3), при этом доля доманикитов возрастает от первой ко второй. Отметим, что среди «индивидуальных» формаций рифей встречаются и высокообогащенные ОВ (малгинская свита (R_2) Алдано-Майского прогиба и некоторые другие), но статистических данных недостаточно, чтобы здесь их представить.

С ростом концентрации изменяется и характер распределения $C_{нк}$ — от левосимметричного оно приближается к нормальному (см. табл. 1, 2). Единственная доманикитная формация среди представленных — это баженовская (J_3bj) Западной Сибири с нормальным распределением $C_{нк}$. Статистическое распределение $C_{нк}$ в наиболее обогащенных формациях показано на рис. 4, из которого хорошо видна постепенная «нормализация» распределения с ростом обогащения $C_{нк}$ на пути от кембрия к юре.

В кайнозое доманикитные формации на платформах представлены в озерных фациях (Грин-Ривер Северо-Американской платформы, Болтышские сланцы Украины и др.). Вследствие небольших погружений они не реализовали свой УВ-потенциал. Образование нефтегазоматеринских формаций, ответственных за нефтегазоносность, переместилось в кайнозое в области Альпийского и Тихоокеанского подвижных поясов; две из них — кумская и хадумская (соответственно P_2 и P_3) Крымско-Кавказского региона представлены в табл. 1 и 2. По своим характеристикам обе формации относятся к разряду доманикоидных среднего содержания ОВ. Вероятно, для кайнозойских подвижных поясов доманикитные формации не характерны вследствие большой их мощности и соответственно разбавляющего эффекта минеральной составляющей. Даже минелитовые сланцы Карпат и формация Монтеррей Калифорнии при известной доле доманикитных пород в целом являются доманикоидными.

Подсчетом масс ОВ ($C_{нк}$) в стратифере (и метасфере) занимались многие исследователи и у нас, и за рубежом. Наиболее популярным остается подсчет $C_{нк}$ А.Б. Ронова [1976]. По его данным в фанерозое континентального сектора стратиферы (КСС) заключено $7.27 \cdot 10^{15}$ т $C_{нк}$; при массе осадков $1306 \cdot 10^{15}$ т величина кларка составляет 0.56 %. В табл. 3 приведены масштабы и скорости накопления $C_{нк}$ в венде и раннем—среднем палеозое Сибирской платформы в эпохи формирования нефтегазоматеринских формаций, при этом представлены как реальные, ныне существующие массы, так и «виртуальные» — на начало катагенеза и анаэробного диагенеза. В анаэробнозе расходуется в среднем около 25 % $C_{нк}$, еще порядка 30 % — в катагенезе, т.е. в обогащенных горизонтах «нормально развитых» осадочно-породных бассейнов до настоящего времени могло сохраниться в среднем 40—50 % $C_{нк}$, «успешного» захорониться

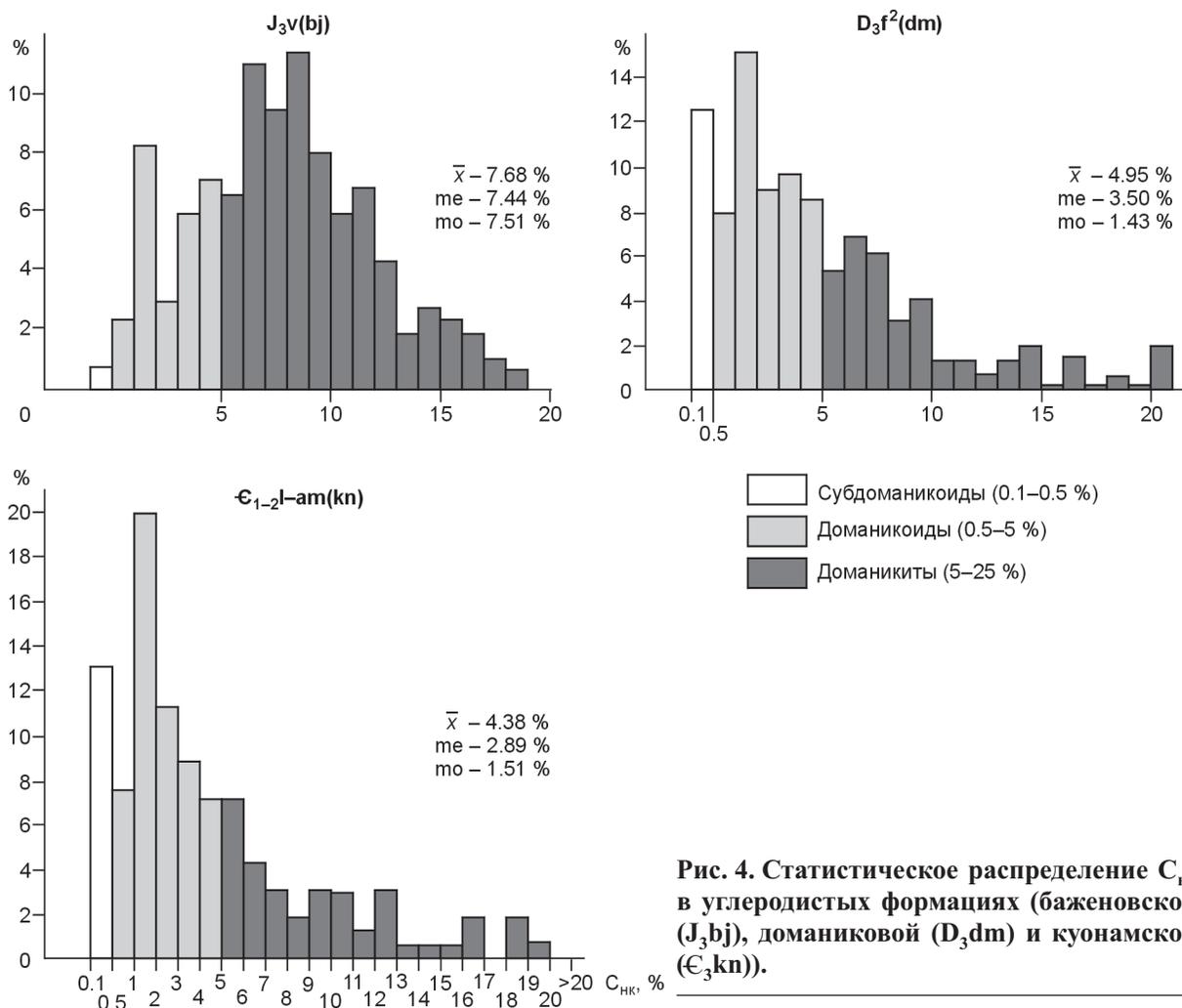


Рис. 4. Статистическое распределение $C_{нк}$ в углеродистых формациях (баженовской (J_3bj), доманикувской (D_3dm) и куонамской ($Є_{3kn}$)).

в осадке после аэробизации. Скорости накопления $C_{нк}$ в эпохи трансгрессий всегда выше, чем в эпохи регрессий, за что, вероятно, ответственны био- и танатоценозы (значительная роль фитобентоза и(или) зооорганизмов определяет накопление ОВ в детритной форме). Скорости трансгрессивных фаз возрастают со временем; для регрессивных — эта тенденция не прослеживается. «Статьи» $C_{нк}$, накопленного в регионе Сибирской платформы, представлены в табл. 4. Суммарная масса его равна $76.2 \cdot 10^{12}$ т; масса фанерозойского $C_{нк}$ — $60.0 \cdot 10^{12}$ т. Площадь Сибирской платформы порядка 3.5 млн км², т.е. средняя плотность $C_{нк}$ в осадочном чехле платформы составляет $21.8 \cdot 10^6$ т/км², в фанерозойской части — $17.2 \cdot 10^6$ т/км². В пределах этого региона нет длительно существовавших халистатических областей, но зато происходило мощное накопление гумусового ОВ в концентрированной и рассеянной формах в позднем палеозое и мезозое (см. табл. 4), т.е. данный регион по плотностям $C_{нк}$ ничуть не беднее остальных и вполне может представлять КСС. Площадь суши составляет 149 млн км², тогда суммарное количество $C_{нк}$ в КСС будет $3.25 \cdot 10^{15}$ т, а в фанерозойской части — $2.56 \cdot 10^{15}$ т. Воспользовавшись данными А.Б. Ронина [1976] по подсчетам массы осадков в КСС — $1306 \cdot 10^{15}$ т для фанерозоя и $1858 \cdot 10^{15}$ т совместно с верхним протерозоем (рифеем), получим кларковое содержание $C_{нк}$ 0.18 и 0.20 % соответственно. По сравнению с данными А.Б. Ронина это почти в 3 раза ниже цифр и, безусловно, их необходимо уточнить. Возможно, этим исследователем не использовались сверхрассеянные концентрации $C_{нк}$ (<0.1 %) и поэтому средние значения получились завышенными [Баженова, 2003]. Св.А. Сидоренко [1991] приводит суммарную цифру $C_{нк}$ для осадочно-метаморфических формаций докембрия, равную $28 \cdot 10^{15}$ т. При массе пород $4100 \cdot 10^{15}$ т (подсчет А.Б. Ронина) величина кларка составит 0.68 %. Вероятно, величина, полученная Св.А. Сидоренко, значительно завышена. По Б. Тиссо и Д. Вельте [1981], напротив, масса $C_{нк}$ в метасфере равна $1.4 \cdot 10^{15}$ т, и она явно занижена. Кстати, Н.Б. Вассоевич еще в 1973 г. показал, что по мере изученности кларковое содержание $C_{нк}$ для КСС постоянно снижалось [Вассоевич, 1986]. Вероятно, настало время пересмотра и более достоверного подсчета на новом этапе изученности масс $C_{нк}$, его кларков и субкларков в стратифере и метасфере Земли.

Таблица 3. Масса и скорость накопления $C_{нк}$ в венде и раннем—среднем палеозое Сибирской платформы

Возраст НГМГ	Фаза циклов	Масса $C_{нк}$, 10^{12} т			Длительность седиментации, млн лет	Скорость накопления $C_{нк}$, мг/м ² в год
		На современном этапе	К началу катагенеза	К началу анаэробного диагенеза		
V ₁	Трансгрессии и регрессии	0.2	0.5	0.6	15	135
V ₂ np	Трансгрессии	0.6	1.1	1.8	6	276
V ₂ tr	Регрессии	1.1	2.3	3.3	10	204
Є ₁ dn	Трансгрессии	2.6	5.1	6.8	8	470
Є ₁₋₂ l+am	Регрессии	4.7	6.2	7.0	12	262
Єsh	Трансгрессии	0.6	1.0	1.3	5	775
O ₂₊₃	Регрессии	0.1	0.2	0.4	7	125
S ₁ l ²	Трансгрессии	1.5	2.5	3.5	5	977
S ₂	Регрессии	0.5	0.6	0.9	10	178
<i>Итого</i>		11.9	19.5	25.6		

Таблица 4. Распределение масс $C_{нк}$ в различных геологических объектах Сибирской платформы

Характер объекта	Возраст объекта	Масса $C_{нк}$	
		10^{12} т	% от общей суммы
Нефтегазоматеринские доманикоидные и субдоманикоидные формации (сингенетичные формы ОБ)	V—D	12.0	15.75
Нефтегазоматеринские доманикоидные и субдоманикоидные формации (сингенетичные формы ОБ)	R	14.0	18.37
Морские формации со свехрассеянной формой ОБ (сингенетичные формы ОБ)	R—C ₁	4.5	5.91
Угленосная формация Тунгусской синеклизы (без промышленных углей)	C ₂ —P ₂	9.0	11.81
Формации Хатангско-Вилуйского бассейна с существенно гумусовым ОБ (без промышленных углей)	P ₁ —MZ	30.6	40.16
Угольные месторождения платформы в целом	C ₃ —K ₁	2.5	3.28
Прогнозные запасы углеводородов	R—K	0.1	0.13
Эпигенетичные битумы в рассеянной и слабоконцентрированной форме плюс месторождения асфальтовых битумов	R—K	3.5	4.59
<i>Итого</i>	R—K	76.2	100

Таблица 5. Генерация углеводородов различными типами ОБ от начала до конца катагенеза и сохранность ОБ и $C_{нк}$

Типы ОБ	Генерация УВ в % на ОБ начала катагенеза			Соотношение нефть/газ	Сохранность ОБ и $C_{нк}$ в % на ОБ начала катагенеза	
	нефть	газ	сумма УВ		ОБ	$C_{нк}$
Альгогенные сапропелиты	35.16	15.73	50.89	2.24	26.2	35.1
Оксисорбосапропелиты с альгогенной основой	23.20	11.98	35.18	1.94	33.0	45.5
Альгозоогенные сапропелиты с тентакулитовой основой	29.40	11.73	41.13	2.51	35.6	48.7
Альгозоогенные сапропелиты с граптолитовой основой	21.32	14.19	35.51	1.50	38.3	52.8
Гумито-сапропелиты (Г — 25 %, С — 75 %)*	26.80	16.31	43.11	1.64	32.7	44.2
Гумито-сапропелиты (Г — 50 %, С — 50 %)	18.68	16.89	35.57	1.11	39.0	51.3
Сапропелито- гумиты (Г — 80 %, С — 20 %)	8.54	17.59	26.13	0.49	47.0	63.5
Гумиты	1.94	18.05	19.99	0.11	52.2	69.6

*Г — гумиты, С — сапропелиты.

В табл. 5 сведены данные по генерации УВ различными фацциально-биоценоотическими типами от начала до конца катагенеза и степень сохранности ОБ и $C_{нк}$ в этих типах в конце катагенеза. Данные получены путем расчетного моделирования. Сначала о степени сохранности. Обе эти величины (и ОБ, и $C_{нк}$) изменяются от 26.2—52.2 до 35.1—69.6 % соответственно, наименьшие их значения характеризуют альгосапропелиты, наибольшие — гумиты. Каждая из этих величин связана обратной, почти строго про-

порциональной зависимостью с суммой генерированных УВ; из закономерности выпадают лишь значения для оксисорбосапропелитов, что и понятно, так как в процессе катагенеза этот тип ОВ генерирует наибольшее количество кислых компонентов. Из анализа табл. 5 следует, что даже в самом сапропелевом ОВ, дающем максимальное количество УВ, в том числе и нефти, сохранность $C_{нк}$ при полном цикле катагенеза составляет более трети; поэтому нельзя согласиться с Н.В. Лопатиным [1983], что в метасфере сохранилось лишь 10 % $C_{нк}$. Главное же в табл. 5 — изменения от типа к типу суммы УВ и соотношения нефть/газ.

Основным источником углеводородов ОВ ископаемых осадков являются липидно-липоидные компоненты захороняемых организмов. Альгопланктон обладает наибольшей липидностью (не ниже 10 %). В донных же водорослях (бурых и красных) содержание липидов не превышает 3 %. В планктонных цианеях содержание липидов обычно 10—12 %; более всего липидов в диатомовых (иногда более 20 %). В макрофитах липидов не более, чем в бурых донных водорослях, а чаще менее. Неясно количество липидно-липоидных компонентов в захороняемых зооорганизмах, но судя по геохимическим показателям — элементному составу ОВ, степени его битуминизации, липидность зоопланктона была ниже таковой альгопланктона и выше, чем в альгобентосе. По количеству генерированных жидких УВ (как и по сумме УВ) первое место принадлежит альгопланктону, этот же тип ОВ генерирует больше всего УВ-газа среди прочих типов сапропелитов. Самые «бедные» среди последних — оксисорбосапропелевый и граптолитовый типы, но у них разное соотношение нефть/газ. Альгозоогенное тентакулитовое ОВ в доманиковой формации (D_3) по сумме УВ занимает второе место, но оно дает менее всего УВ-газа среди всех типов органического вещества (этим, вероятно, объясняется чрезвычайно малая газоносность — при высокой нефтеносности — платформенной части Тимано-Печорского бассейна). Наименьшую сумму УВ и жидкой их части дают гумиты при наибольшей доле УВ-газа среди прочих типов ОВ (см. табл. 5). В связи с этим нельзя согласиться с Н.В. Лопатиным [1983], что газоматеринский потенциал ОВ докембрия был в 1.5 раза выше такового «ОВ угольного типа» (с. 150).

В соответствии с эволюцией биосферы можно утверждать, что альгогенные сапропелиты, как правило, сопровождаемые оксисорбосапропелитами с альгогенной основой, господствовали на протяжении всего докембрия, раннего и начала среднего палеозоя — до девона, что и подтверждается геохимическими исследованиями. В конце раннего и среднем палеозое появились альгозоогенные типы сапропелитов, а в девоне — первые гумито-сапропелиты; в позднем палеозое господствующее положение заняли смешанные типы и гумиты, последние — в условиях континентального осадконакопления. В мезозое и кайнозое существовали все типы ОВ, а преимущество тех или иных определялось условиями развития того или иного бассейна. О прогностических следствиях эволюции типов ОВ в дальнейшем.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ЭВОЛЮЦИИ УГЛЕВОДОРОДНОГО СОСТАВА

Выше упоминалось о различной доле липидно-липоидных компонентов у различных захороняемых организмов, в том числе у представителей разных отделов водорослей. В то же время состав липидной фракции различных групп водорослей отличается не очень существенно; преобладают жирные кислоты — насыщенные и ненасыщенные — C_{16} и C_{18} , хотя присутствуют и более короткие и более длинные цепи; в липидах цианей цепи длиннее C_{18} не отмечены. В Chlorophyta наряду с доминирующими C_{18} и C_{16} опознаются цепи C_{26} и C_{28} . Для липоидов высших растений характерны C_{20} — C_{35} ; цепи с числом атомов >30 в незначительном количестве встречаются уже у зеленых водорослей, т.е. в процессе эволюции флоры идет как бы наращивание длины углеродных цепей [Барашков, 1972].

Подробный анализ изменений алифатической и ароматической фракций синбитумоидов, не существенно затронутых эмиграцией (на грациях $ПК_3$ — $МК_1$), в процессе эволюции от рифея до кайнозоя дан в работе В.К. Шиманского с соавт. [2004]. Краткие результаты по алифатической фракции сводятся к следующему. В метанонафтенной фракции синбитумоидов ранних этапов катагенеза ($ПК$ — $МК_1$), не затронутых существенно эмиграцией, состав алифатических УВ неплохо согласуется с биоценотическим составом исходного ОВ. В образцах рифея—венда—кембрия, где в ОВ преобладают остатки цианей, распределение n -алканов одномодальное, максимум приходится на C_{16} — C_{18} ; ощутимая примесь донных Rhaeophyta вызывает появление второго максимума (C_{18} — C_{20} или C_{20} — C_{22}) либо смещение общего максимума в данную область, при этом возрастает количество n -алканов с числом атомов >30 — от 2.5—3.5 до 7.5 %. В синбитумоидах баженовской свиты (J_3) с планктонным ОВ максимум n -алканов соответствует C_{15} — C_{17} , а в тюменской свите ($J_{1,2}$) со смешанным сапропелево-гумусовым ОВ — C_{23} — C_{25} ; отношение $n-C_{27}/n-C_{17}$ в баженовской свите (J_3) — 0.1—0.4, а в тюменской — 0.3—3.2. В палеогене—нижнем миоцене Крымско-Кавказского региона, где в основе ОВ динофлагелляты с той или иной примесью остатков высшей флоры, распределение n -алканов обычно двумодальное с первым максимумом C_{17} — C_{18} или C_{20} — C_{21} и вторым C_{27} — C_{29} . В кайнозое Анадырского нефтегазоносного бассейна (НГБ), где в ОВ значительна доля высшей флоры, распределение n -алканов имеет «растянутый» полимодальный характер с максимумами C_{21} — C_{25} и C_{26} — C_{30} , здесь же наиболее высокий процент n -алканов $>C_{30}$ (до 16 %). В

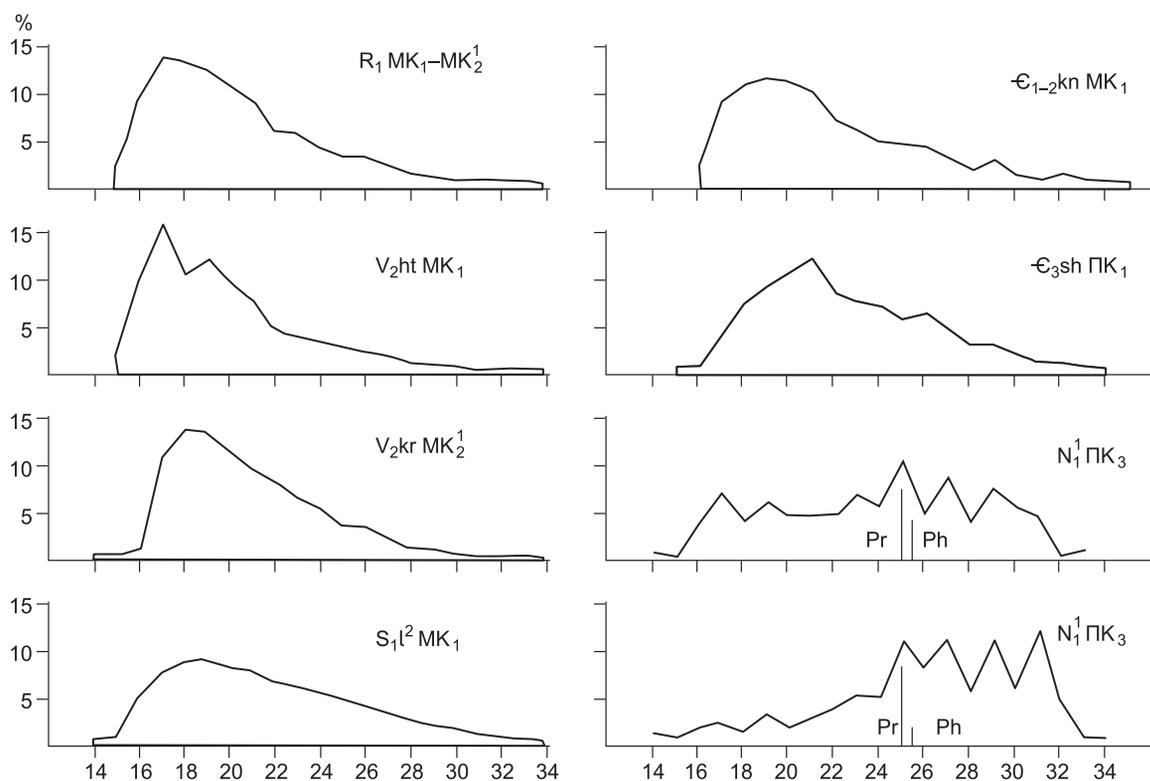


Рис. 5. Молекулярно-массовое распределение нормальных алканов в синбитумоидах нефтегазоматеринских горизонтов разного возраста.

целом алифатические УВ синбитумоидов содержат генетическую информацию о природе ОВ. Диаграммы молекулярно-массового распределения *n*-алканов в синбитумоидах нефтегазоматеринских горизонтов разного возраста, иллюстрирующие вышевысказанные положения, представлены на рис. 5. Общий вывод из вышеуказанной работы [Шиманский и др., 2004] таков: намечаются «наследственные триады» исходное ОВ—синбитумоиды—нефть, и вслед за эволюцией исходного материнского ОВ определенную эволюцию претерпевают и остальные члены триад. Особенно ярко это проявляется при сопоставлении морского и континентального источников ОВ — УВ; менее заметно при сравнении объектов «море—море», хотя определенные отличия в составе УВ можно разглядеть и в этом случае.

В упоминаемой работе А.Э. Конторовича с соавт. [1996б], посвященной проблеме нефтегазоносности докембрия, приводится интересный анализ УВ-фракций битумоидов и нефтей соответствующего возраста. Здесь наблюдается один любопытный момент, который требует уточнения. При анализе нефтяной фракции А.Э. Конторович высказывает предположение, что преобладание этилхолестана среди стеранов есть особенность сапропелитов докембрия, хотя ранее считалось, что доминирование этого УВ свидетельствует о наличии гумитов в исходном ОВ. Однако исследование синбитумоидов и нефтей Тимано-Печорского бассейна в возрастном диапазоне от силура до триаса, в том числе и заведомо сапропелевой доманиковой формации (D_3), во всех случаях показывает преобладание этилхолестана. Отношения холестана и метилхолестана к этилхолестану всегда меньше единицы. Единственное исключение — это нефть Командиршорской верхнефранской залежи, где наблюдается доминирование метилхолестана, во всех остальных случаях имеющего наименьшую концентрацию среди стеранов [Органическая геохимия..., 2008]. Из сказанного следует, что распределение стеранов не является надежным фациально-биоценотическим показателем.

ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ ЭВОЛЮЦИИ НАКОПЛЕНИЯ ОВ И ЕГО БИОЦЕНОТИЧЕСКИХ ТИПОВ

Согласно Н.В. Лопатину [1983], докембрий — это время нефти и горючих сланцев, а фанерозой — время угля и горючих газов. Парадоксальность этого противопоставления, конечно же, не верна. Правильно здесь только то, что ОВ докембрия было таковым и не могло генерировать только УВ-газы, или существенно УВ-газы. Да ведь и первая треть фанерозоя (Є—S) была лишена макрофитов и у ОВ этого возраста не было преимущества по сравнению с докембрийским ОВ в отношении газообразования. Действительно, бассейны, где в нефтегазоматеринских формациях ОВ сапропелевое, либо существенно сапро-

пелевое, преимущественно нефтеносны по закону генетического дефицита газа сапропелевого ОВ [Баженова, 2000].

Что касается былой нефтегазонасности раннего («дочехольного») докембрия, то можно сказать следующее. Следы газовых залежей в нем не сохранились, но следы нефтяных залежей встречаются достаточно часто, однако эти факты не систематизированы и не изучены. На станции метро Ленинский проспект в Санкт-Петербурге можно наблюдать колонны из аркозовых песчаников, насыщенных твердым битумом; здесь даже просматриваются детали строения бывших залежей. Подобные явления отмечались автором в различных архитектурных сооружениях разных городов. Следует упомянуть так называемый шунгит I разности пос. Шуньга и Нигозерского карьера Карелии (жилы и включения антраксолита — остатки раннепротерозойских залежей внутри материнских формаций).

В работе А.Э. Конторовича с соавт. [1996а] описана раннерифейская нефть бассейна Мак-Артур в Австралии как самая древнейшая сохранившаяся нефть планеты. Однако у этой нефти есть возрастной аналог, правда, гипергенно-измененный до мальты — асфальта. Имеется в виду крупная залежь битумов на северном склоне Анабарской антеклизы в бассейне рек Фомич—Рассоха, где битумы насыщают базальные песчаники мукунской серии (R_1), перекрываемые устьильинской свитой также нижнерифейской — древнейшей нефтегазоматеринской формацией в чехле Сибирской платформы.

В филогенетическом аспекте время преимущественного нефтеобразования закончилось в силуре. В дальнейшем и нефте-, и газообразование шли как бы «параллельными курсами», и величина соотношения нефти к газу в каждом конкретном НГБ определяется не только филогенетическим соотношением материнских формаций с теми или иными типами ОВ, но и онтогенезом самого НГБ — тектонической историей, эволюцией геотермического режима, наличием (или отсутствием) магматизма, современной геодинамикой. Так, филогенетические предпосылки накопления ОВ материнских формаций палеозоя—допалеозоя в домезозойском мегабассейне Сибирской платформы предвещали ему судьбу преимущественно нефтеносного бассейна (наподобие Волго-Уральского или платформенной части Тимано-Печорского бассейна): биоценотические типы ОВ — в основном альгогенные сапропелиты; угленосный поздний палеозой, слагая самые верхи осадочного чехла, по условиям катагенеза не оказал бы существенного влияния на фазовое соотношение УВ в мегабассейне. Все это было бы в случае, если бы развитие мегабассейна закончилось гомогенным этапом. Однако гетерогенный этап, начавшийся в конце позднего палеозоя и продолжающийся и до настоящего времени, превратил этот мегабассейн в нефтегазонасный, где прогнозные ресурсы газа едва ли не более таковых нефти. Механизм подобной трансформации рассматривается в других работах автора и это уже другая тема.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выше рассматривались некоторые вопросы эволюции нефтегазообразования. В отличие от эволюции нефтегазонакопления, проблемы которой здесь не ставились и которая всецело определяется сугубо геологическими факторами: прежде всего тектоническим строением и литологическим составом формаций, т. е. по отношению к нефтегазовой субстанции внешними факторами; эволюция нефтегазообразования в первую очередь детерминирована факторами внутренними, создающими само генерирующее нефть и газ органическое вещество того или иного типа. В качестве такого внутреннего фактора выступает эволюция биосферы. Следует различать собственно нефтегазообразование — онтогенез и его эволюцию — филогенез. В онтогенезе внешние факторы преобразования ОВ и прежде всего геотермический режим бассейна играют первостепенную роль; филогения же в первую очередь обусловлена внутренними факторами. Здесь первостепенное значение имеет планктон и в основном фитопланктон — родоначальник всего разнообразия растительного и животного царств — с одной стороны, и основание трофической пирамиды — с другой. Важно здесь то, что фитопланктон, однажды зародившись, существовал во все геологические эпохи и существует до настоящего времени. Биосфера, эволюционируя, продвигаясь вверх по филогенетическому древу, постоянно оставляла за собой «фитопланктонные тылы», этим себя и поддерживая.

Ранее уже отмечалось, что для морской седиментации существует правило периодичности максимального накопления ОВ, обусловленное бурным «цветением» фитопланктона, которое определялось усиленным минеральным эндогенным и(или) экзогенным питанием, увеличением CO_2 в атмосфере вследствие вулканической деятельности, а также, возможно, космическими причинами. Эти эпохи соответствовали систематической бедности биоценозов, а в фанерозое, стало быть, и укороченной трофической цепи, что также способствовало максимальному захоронению планктоногенного ОВ. Планктон является относительно высоколипидной субстанцией. Рожденные им сапропелиты при постепенном термическом созревании в процессе погружения осадков «производят» нефти больше, чем УВ-газа. Газ, рожденный в зоне мезокатагенеза, нацело растворяется в «своей» нефти, отсюда правило «генетического дефицита», упоминаемое выше.

С появлением низколипидных макрофитов в водоемы стала поступать гумусовая органика как в виде той или иной количественной примеси, так и в самодавящем виде. В морских водоемах «чистые»

гумиты отсутствуют, поэтому мы и не имеем «чисто» газоматеринских формаций. Промышленный газ нефтегазоносных бассейнов — это прежде всего газ нефтегазоматеринских формаций со смешанным ОВ, а также формаций с сапропелевым ОВ в зонах апокатагенеза либо в зонах гетерогенного развития бассейнов. (Здесь не рассматривается «нетрадиционный» газ угольных месторождений подавляюще гумусового генезиса.)

Общий филогенетический вывод таков: нефть — целиком детище планктона, прежде всего фитопланктона, и нюансы ее УВ-состава могут определяться его таксономическими вариациями; пока существует и захороняется в осадках фитопланктон, генетические предпосылки нефтеобразования не иссякнут; газ — генетически «космополитен», но его генетическое преобладание всегда обязано существенной примеси гумитов в материнском ОВ.

Однако конкретное соотношение того и иного вида горючих ископаемых детерминировано не только филогенетическими, но и онтогенетическими факторами, соотношение которых в каждом бассейне индивидуально.

ЛИТЕРАТУРА

Баженова Т.К. Моделирование миграции и аккумуляции углеводородов в венде Сибирской платформы // Материалы 4-й конф. МГУ. М., ГЕОС, 2000, с. 142—145.

Баженова Т.К. К вопросу об эволюции накопления некарбонатного углерода в истории Земли // Углерод: минералогия, геохимия и космохимия. Сыктывкар, Геопринт, 2003, с. 93—95.

Баженова Т.К., Баженова О.К., Шиманский В.К., Фадеева Н.П., Климова Л.И. Геоисторическая эволюция нефтегазоматеринских формаций от рифея до кайнозоя (опыт сравнительного анализа) // Геодинамика, сейсмичность и нефтегазоносность Черноморско-Каспийского региона. Симферополь, 2005, с. 81—83.

Барашков Г.К. Сравнительная биохимия водорослей. М., Пищевая пром-сть, 1972, 336 с.

Вассоевич Н.Б. Геохимия органического вещества и происхождение нефти: Избр. труды. М., Наука, 1986, 368 с.

Вышемирский В.С., Конторович А.Э. Циклический характер нефтенакпления в истории Земли // Геология и геофизика, 1997, т. 38 (5), с. 907—918.

Вышемирский В.С., Конторович А.Э. Эволюция образования углеводородных газов в истории Земли // Геология и геофизика, 1998, т. 39 (10), с. 1392—1401.

Гольданский В. Возникновение жизни с точки зрения физики // Коммунист, 1986, № 1, с. 86—94.

Конторович А.Э. Эволюция нафтидогенеза в истории Земли // Геология и геофизика, 2004, т. 45 (7), с. 784—802.

Конторович А.Э., Вышемирский В.С. Неравномерность нефтеобразования в истории Земли как результат циклического развития земной коры // Докл. РАН, 1997, т. 356, № 6, с. 794—797.

Конторович А.Э., Богородская Л.И., Голышев С.И. Закономерности фракционирования изотопов углерода в седикахитах // Геология и геофизика, 1985 (9), с. 34—42.

Конторович А.Э., Ларичев А.И., Таквелл К., Тейлор Д., Богородская Л.И., Данилова В.П., Меленевский В.Н., Сухоручко В.И. Древнейшая нефть Австралии // Геология и геофизика, 1996а, т. 37 (8), с. 100—115.

Конторович А.Э., Трофимук А.А., Башарин А.К., Беляев С.Ю., Фрадкин Г.Е. Глобальные закономерности нефтегазоносности докембрия Земли // Геология и геофизика, 1996б, т. 37 (8), с. 6—42.

Конторович А.Э., Каширцев В.А., Москвин В.И., Бурштейн Л.М., Земская Т.И., Калмычков Г.В., Костырева Е.А., Хлыстов О.М. Нефтегазоносность отложений озера Байкал // Геология и геофизика, 2007, т. 48 (12), с. 1346—1356.

Лопатин Н.В. Образование горючих ископаемых. М., Недра, 1983, 192 с.

Органическая геохимия Тимано-Печорского бассейна / Т.К. Баженова, В.К. Шиманский, В.Ф. Васильева, А.И. Шапиро, Л.А. Яковлева, Л.И. Климова. СПб., ВНИГРИ, 2008, 162 с.

Ронов А.Б. Вулканизм, карбонатонакопление, жизнь (закономерности глобальной геохимии углерода) // Геохимия, 1976, № 8, с. 1252—1277.

Сидоренко Св.А. Органическое вещество и биолитогенные процессы в докембрии. М., Наука, 1991, 104 с.

Систематика и классификация осадочных пород и их аналогов / Ред. В.Н. Шванов. СПб., Недра, 1998, 352 с.

Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти. М., Мир, 1981, 501 с.

Шиманский В.К., Баженова Т.К., Васильева В.Ф., Гребень А.Е., Неручев С.Г., Шапиро А.И., Климова Л.И., Кунаева Н.Т. Вопросы эволюции исходного органического вещества нефтегазоматеринских формаций и его производных в истории Земли // Новые идеи, теоретические обобщения и методические решения в нефтяной геологии. СПб., Недра, 2004, с. 59—75.

*Поступила в редакцию
10 сентября 2008 г.*