

DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/35_2015

УДК 552.578:551.79(268.45)

Петрова В.И.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга» (ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга»), Санкт-Петербург, Россия; Санкт-Петербургский Государственный Университет, Институт Наук о Земле, Санкт-Петербург, Россия, petrovavi@mail.ru

Батова Г.И., Куршева А.В.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга» (ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга»), Санкт-Петербург, Россия

Литвиненко И.В.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга» (ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга»), Санкт-Петербург, Россия; Санкт-Петербургский Государственный Университет, Институт Наук о Земле, Санкт-Петербург, Россия

Моргунова И.П.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга» (ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга»), Санкт-Петербург, Россия

УГЛЕВОДОРОДЫ В ДОННЫХ ОСАДКАХ ШТОКМАНОВСКОЙ ПЛОЩАДИ – РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, ГЕНЕЗИС, ВРЕМЕННЫЕ ТРЕНДЫ

Изучение состава, распределения и генезиса углеводородов в компонентах геологической среды акваторий позволяет решать задачи прогноза нефтегазоносности недр и одновременно создает основу для последующего геоэкологического контроля при разведочных и добычных работах. По материалам многолетнего изучения позднечетвертичных донных отложений Южно-Баренцевской впадины определены основные геохимические параметры рассеянного органического вещества. Проведенные исследования показали, что органо-геохимический фон голоценовых отложений Штокмановской площади формировался за счет седиментационного потока осадочного материала и возможного эндогенного влияния, определяющего специфику локальной аномалии содержания и состава рассеянного органического вещества. Это выражается в повышенном содержании ароматических углеводородов и полиаренов, а также Сорг, но при отсутствии его жёсткой корреляции с гранулометрическим составом осадков. Состав углеводородных молекулярных маркеров свидетельствует об обогащенности верхней части осадочного разреза компонентами термально зрелого рассеянного органического вещества, что может быть обусловлено выбросами при точечной разгрузке газового флюида осадочных пород нижних стратиграфических горизонтов и/или сипинговой миграцией.

Ключевые слова: донные осадки, углеводороды, биомаркеры, полициклические ароматические углеводороды, Баренцево море, Штокмановская площадь.

Введение

Изучение состава, распределения и генезиса углеводородов (УВ) в компонентах геологической среды акваторий позволяет решать задачи прогноза нефтегазоносности недр и

одновременно создает основу для последующего геоэкологического контроля при разведочных и добычных работах. Особенно актуально решение данной проблемы для нефтегазоперспективных районов акваторий, где миграционный поток УВ из продуктивных горизонтов является одним из важных факторов формирования локального геохимического фона [Schumacher, Abraham, 1996]. На этапах последующих геологических и разведочно-поисковых работ, наряду с прямым техногенным воздействием на осадки акватории, возможна интенсификация флюидного подтока УВ. Опережающие мониторинговые исследования могут послужить основой для определения сценария развития данного процесса.

В ходе многолетнего изучения баренцевоморского шельфа были выявлены фоновые характеристики состава и распределения рассеянного органического вещества (РОВ) позднечетвертичных донных отложений [Романкевич и др., 1982; Данюшевская и др., 1990; Петрова, 1999]. Было отмечено, что в осадках Южно-Баренцевоморской впадины геохимические параметры РОВ носят явно аномальный характер [Петрова, 1999], специфика которых не может быть объяснена на основе процессов современной седиментации и диагенеза. Локализация аномалии в районе Штокмановской площади явилась веским аргументом для проведения детальных мониторинговых исследований.

Материалы и методы

Материалом послужили пробы донных осадков, отобранные в ходе экспедиционных работ ВНИИО 1992-2006 гг. (НИС «Геолог Ферсман», «Профессор Логачев», «Иван Петров», ГИСУ «Гидролог») (рис. 1). Образцы для камеральных анализов были отобраны с помощью боксвореров и ударных трубок, помещены в стерильную тару и сохранены при -18°C.

Аналитическая процедура изучения органической составляющей осадков (ОВ) включала: определение содержания органического (Сорг) и карбонатного (Скарб) углерода, соклетную экстракцию битумоидов, определение их группового состава, хроматографическое фракционирование с выделением суммы метано-нафтенной и ароматической фракций УВ. Анализ фракций УВ проводился методом ГХ-МС на комплексе Hewlett Packard 5973 с квадрупольным масс-детектором и программным комплексом обработки аналитической информации.

Анализ насыщенных УВ проводился на капиллярной колонке HP DB 30 м x 0,25 мм с неподвижной фазой 5%фенил/95%метилсиликон; газ-носитель – гелий, скорость потока 1,2 мл/мин; температура инжектора 320°C; температурный режим анализа: от 50°C до 320°C по 3°C /мин и 7 мин при 320°C; детектирование - по полному ионному току (SCAN от 50 до

500 m/z, 70 eV). Алкановые УВ были идентифицированы по селективному иону (SIM) 71 m/z, циклановые УВ – по 191 и 217 m/z.

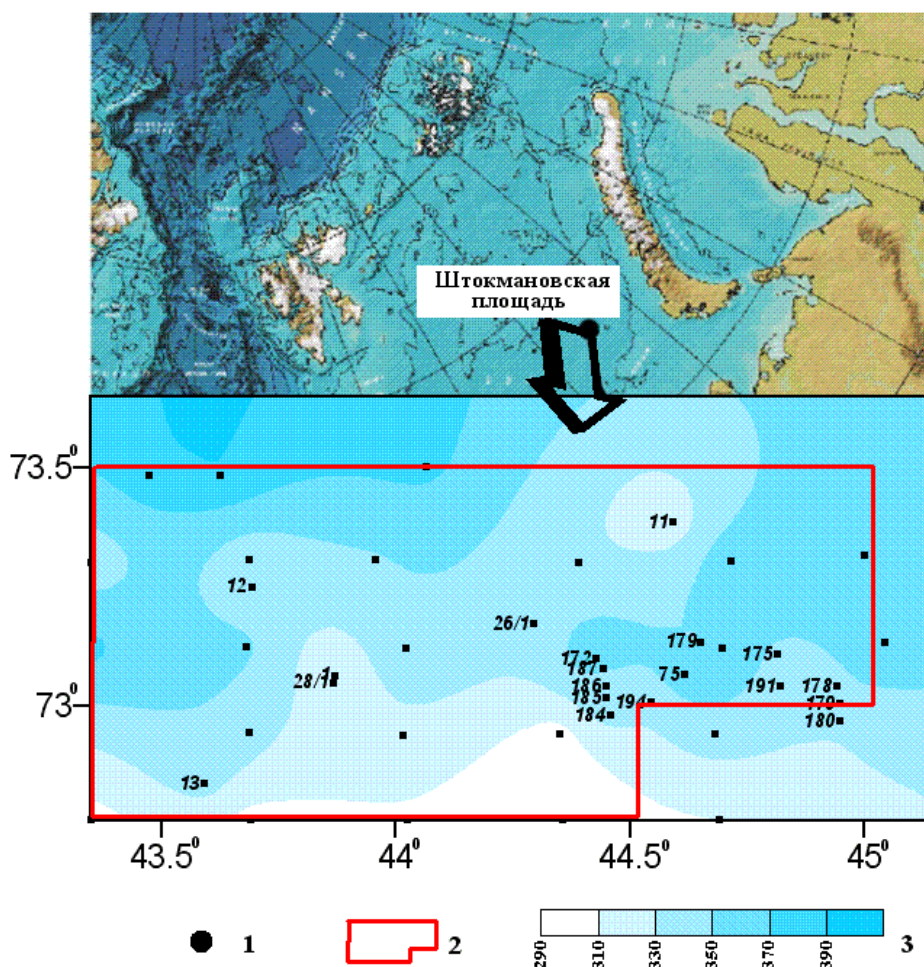


Рис. 1. Карта-схема района исследований

1 – станции пробоотбора; 2 – границы лицензионного участка; 3 – батиметрия (м).

Анализ полициклических ароматических УВ (ПАУ) проводился на той же колонке; газ-носитель – гелий, скорость потока 1,2 мл/мин; температура инжектора 29°C; температурный режим анализа: от 60°C до 200°C по 20°C/мин, до 300°C по 10°C и 5 мин при 300°C; детектирование - по полному ионному току (SCAN от 50 до 500 m/z, 70 eV). Голоядерные ПАУ были идентифицированы по селективным ионам (SIM) 128, 152, 154, 178, 184, 202, 228, 252, 276, 278 m/z; алкилированные - по селективным ионам (SIM) 142, 156, 192, 206, 220, 216, 234, 242 m/z.

Обсуждение результатов

Характеристика района исследований. В районе Штокмановской структуры дно Баренцева моря (см. рис. 1) представляет собой относительно ровную поверхность,

осложненную пологими макроформами рельефа. По результатам интерпретации сонограмм выделялись мелкие изометричные холмы и воронки диаметром до 180 м с высотой бортов 7-10 м, возможно, являющиеся зонами разгрузки газовых потоков (покмарки) [Иванов, 2006; Крылов, Иванов, 1997]. Кайнозойские образования представлены осадочными отложениями преимущественно неоген-четвертичного возраста. Верхняя часть разреза сложена покровным комплексом голоценовых отложений, мощность которых составляет в среднем 2-3 м [Захаренко, Казанин, Павлов, 2014].

Согласно существующим представлениям, стратиграфическое расчленение голоценовых отложений в пределах Центральной Баренцевоморской впадины включает периоды от предбореального до атлантического и моложе, при этом разновозрастные отложения отличаются по гранулометрическому составу [Павлидис и др., 1998]. Нижняя пачка темно-серых плотных илов обогащена тонкозернистыми частицами. Осадки береального времени содержат весьма ощутимую примесь песчаных фракций (до 5%). В зеленовато-серых осадках атлантического периода содержание грубозернистых фракций возрастает до 15%.

Изученные осадки представлены в основном алевритовыми пелитами. Максимальное содержание песчаной примеси (до 16%) отмечается в осадках верхней части разреза (табл. 1). Среднее содержание алевритовых частиц в поверхностных осадках составляет 26,7%, возрастая в погруженных до 38%. Тонкозернистый терригенный материал отличается хорошей сортировкой. Литологическое описание колонок и данные гранулометрии соответствуют описанной выше периодизации.

Таблица 1

Характеристика гранулометрического состава голоцен-четвертичных отложений

интервал отбора, м	число образцов	фракция, %			сумма
		песок	алеврит	пелит	
0-0,05	30	16,6	26,7	56,0	99,3
0,05-0,20	31	10,0	28,7	61,0	99,7
0,20-0,50	11	6,1	28,9	63,7	98,7
0,50-1,0	32	6,9	26,3	66,6	99,8
1,0-2,0	53	6,8	34,9	57,7	99,4
>2,0	27	6,0	38,0	55,6	99,6

Средний состав глинистых фракций осадков идентичен: концентрации смектита составляют 21%, гидрослюды 44,5%, каолинита 18,5% и хлорита 16,5% [Андреева и др., 2001]. Данный минеральный состав глинистой фракции является типичным для центральной глубоководной части Баренцева моря [Левитан, Лаврушин, Штайн, 2007; Nürnberg et al., 1995].

Геохимическая характеристика органического вещества донных осадков.

Изученные осадки представлены преимущественно бескарбонатными разностями, характерной особенностью которых является повышенное относительно регионального фона содержание РОВ и его растворимых компонентов. Так среднее содержание Сорг в пелитовых разностях акватории в целом составляет 1,38% [Романкевич, Ветров, 2001]. В осадках Штокмановской площади среднее содержание Сорг составляет 3,5%, а в отдельных пробах достигает 6%.

Следует отметить, что при изучении гранулометрического контроля распределения Сорг в осадках Баренцева моря была показана жесткая корреляционная связь гранулометрического состава осадков и содержания в них Сорг ($r = 0,86$ для пелитовой фракции и $r = 0,35$ для алевритовой) [Петрова и др., 1999]. В осадках Штокмановской площади, характеризующихся повышенными содержаниями Сорг, гранулометрический контроль заметно слабее, особенно для алевритовой фракции (рис. 2), что может быть обусловлено дополнительным источником ОВ, не ассоциированным с минеральной матрицей.

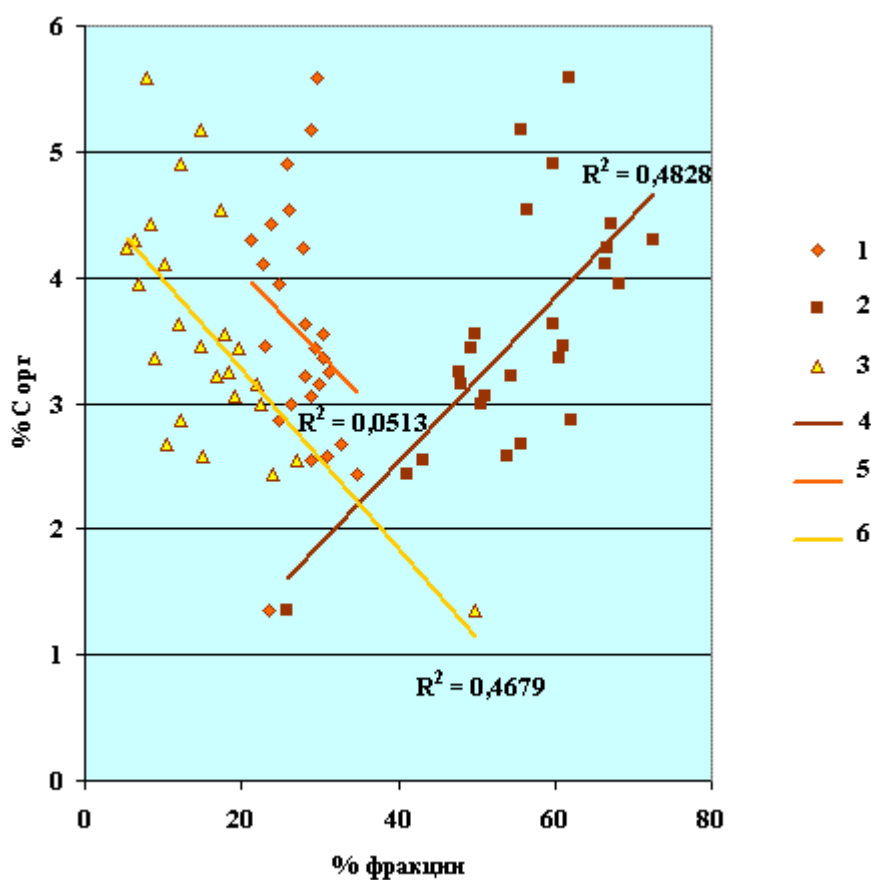


Рис. 2. Корреляционная зависимость содержания Сорг и гранулометрического состава осадков
1 – алеврит; 2 – пелит; 3 – песок; 4 – линейный (пелит); 5 – линейный (алеврит); 6 – линейный (песок).

Основные органо-геохимические параметры также свидетельствуют о существенном своеобразии поверхностных осадков изученного района - значительной обогащенности гуминовыми кислотами (до 56,7% на ОБ). Суммарная битуминозность ОБ близка к средней для Баренцева моря (1,7-3,3%) [Романкевич и др., 1982], однако соотношение нейтральных и кислых компонентов (Ахл/Асп-б) варьирует в широких пределах от 0,3 до 2,0. В групповом составе битумоидов доминируют смолисто-асфальтеновые компоненты, что характерно для современных осадков. Вместе с тем, содержание масел также варьирует от 8 до 20%, возрастая вниз по разрезу до 34%.

Содержание УВ в осадках в среднем несколько превышает фоновое (0,004 и 0,003% соответственно) [Романкевич и др., 1982]. При этом, содержание ароматических соединений в составе УВ значительно выше величин, характерных для Баренцева моря (до 57% от суммы УВ), что наблюдалось ранее лишь в донных отложениях, содержащих катагенетически преобразованное РОВ [Данюшевская и др., 1985]. Для голоценовых осадков, содержащих диагенетически преобразованное РОВ (ООВ = 55,5%), обогащенное гуминовыми кислотами, трудно объяснить столь высокую ароматичность. Установить причины данного противоречия на уровне битуминологических характеристик не представлялось возможным, что послужило основанием для проведения исследований на молекулярном уровне.

Углеводороды в донных осадках – распределение и молекулярный состав.

Суммарное содержание УВ в поверхностных осадках Штокмановской площади не превышает значений (0,004-0,006%), характерных для алеврито-глинистых разностей центральной части Баренцева моря [Романкевич, Ветров, 2001]. Содержание н-алканов (1-5 мкг/г) также соответствует фоновому, а их бимодальное распределение и состав (рис. 3) свидетельствуют о смешанном сапропелево-гумусовом генезисе РОВ, типичном для данного района.

Вместе с тем, индекс нечетности ($CPI_{C_{22-33}} = 1,7-3,3$) несколько ниже величин, характерных для гумусового РОВ раннедиагенетической стадии трансформации (рис. 4). Так, для голоценовых шельфовых осадков западно-арктического региона CPI_{22-33} варьирует в широких пределах - 2,5–8,1 (среднее 5,2) [Fernandes, Sicre, 2000]. Определить вклад ископаемого РОВ в общий пул н-алканов позволяет расчет относительного содержания «литифицированных» (постдиагенетических) компонентов [Yamamoto, Polyak, 2009]. В поверхностных осадках Штокмановской площади этот показатель составляет 37-52% (в среднем 46%) (см. рис. 4), что указывает на значительное влияние осадочного материала, содержащего термально зрелое РОВ. Вниз по осадочному разрезу относительное содержание «литифицированных» н-алканов несколько снижается (в среднем 32%), что может быть

обусловлено изменениями условий осадконакопления, в том числе источников поступления осадочного материала.

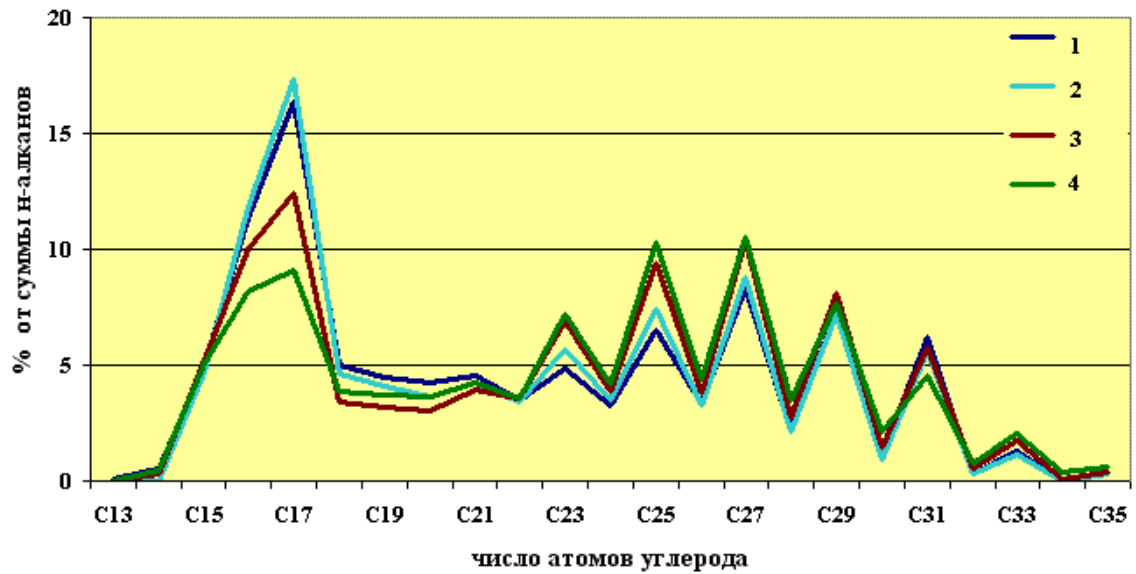


Рис. 3. Распределение n-алканов в голоцен-четвертичных осадках Штокмановской площади
1 – 2-5 см; 2 – 20-50 см; 3 – 50-100 см; 4 – >100.

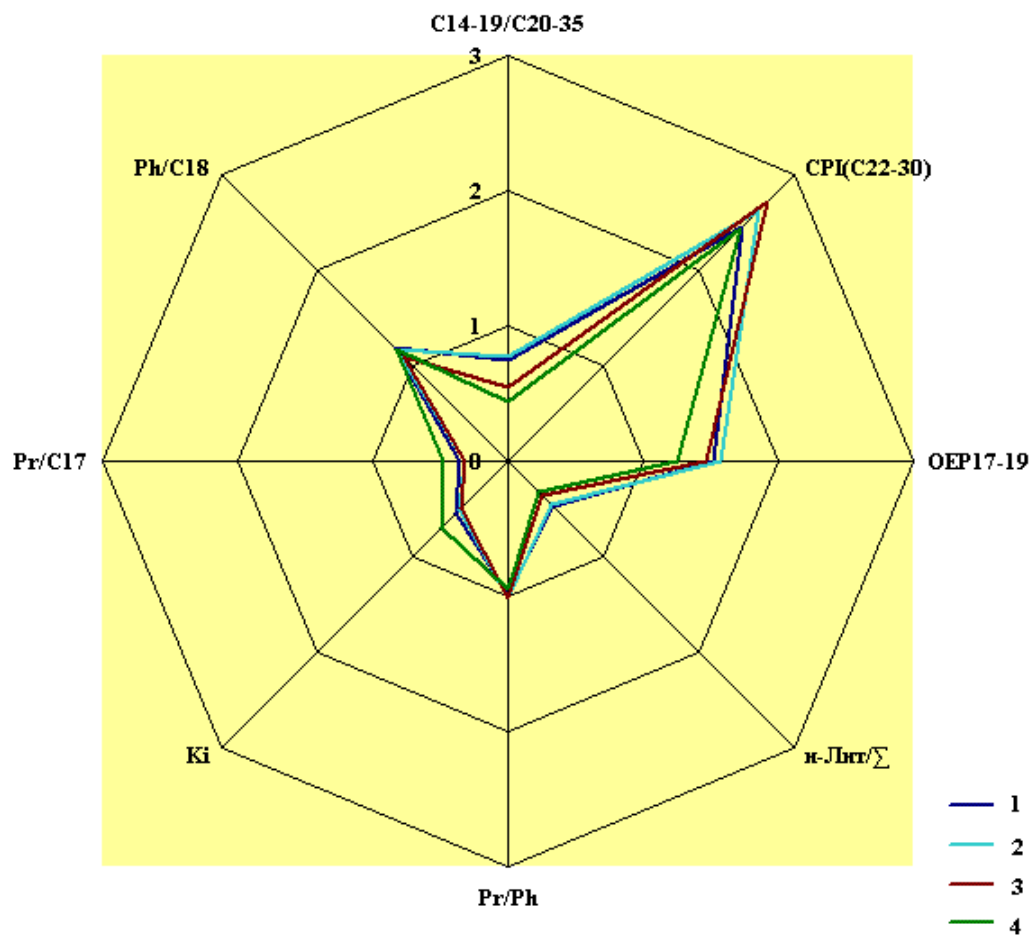


Рис. 4. Геохимическая характеристика n-алканов и изопреноидов голоцен-четвертичных осадков Штокмановской площади
1 – 2-5 см; 2 – 20-50 см; 3 – 50-100 см; 4 – >100.

Сопоставление осредненных геохимических параметров, характеризующих специфику распределения *n*-алканов и изопреноидов в разрезе изученных голоцен-четвертичных отложений, свидетельствует лишь о типичном постседиментационном изменении их состава. Так, наблюдается закономерная диагенетическая утрата лабильных низкомолекулярных соединений (*n*-C₁₅₋₁₉) со снижением их индекса нечетности (ОЕР). В нижней части разреза несколько возрастает коэффициент изопреноидности (Ki), что указывает на интенсивную микробиальную трансформацию ОВ. О высокой интенсивности микробиальных процессов свидетельствуют и особенности состава терпеноидов (рис. 5). Вниз по осадочному разрезу наблюдается снижение относительного содержания гопенов, продуктов раннедиагенетической трансформации гопанолов, и увеличение содержания ββ-гопанов, интермедиатов последовательного преобразования биогопанов в геогопаны [Peters, Walters, Moldowan, 2005]. При этом содержание моретанов и собственно гопанов изменяется незначительно, что указывает на относительную стабильность во времени потока осадочного материала, содержащего термально зрелое РОВ.

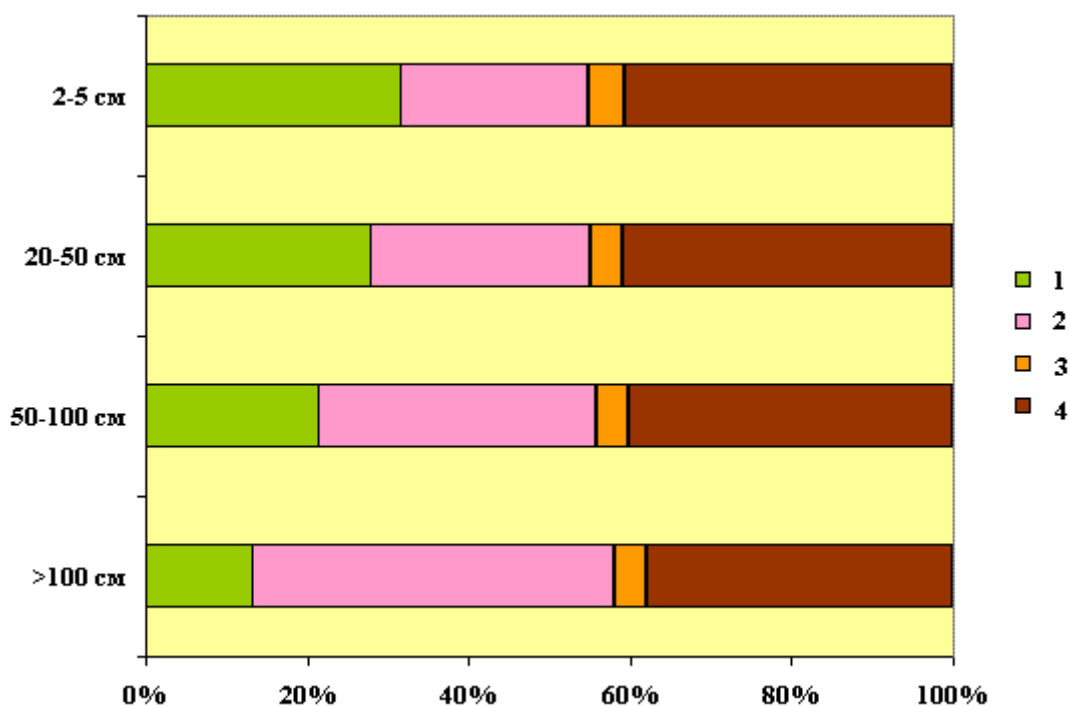


Рис. 5. Композиционный состав терпанов в голоцен-четвертичных осадках Штокмановской площади

1 – гопены; 2 – ββ-гопаны; 3 – моретаны; 4 – гопаны.

Данное наблюдение вполне согласуется с геохимическими параметрами, характеризующими уровень термальной зрелости тритерпанов (рис. 6). Максимальные значения этих показателей (T_s/T_s+T_m , $29T_s/(29T_s+C29)$, $C31(S/S+R)$) зафиксированы в

осадках до 50 см, минимальные - >100 см. При этом вниз по разрезу композиционный состав терпанов заметно обогащается продуктами трансформации бактериального ОБ (C23tric/C30, Tb/Ts+Tm+Tb).

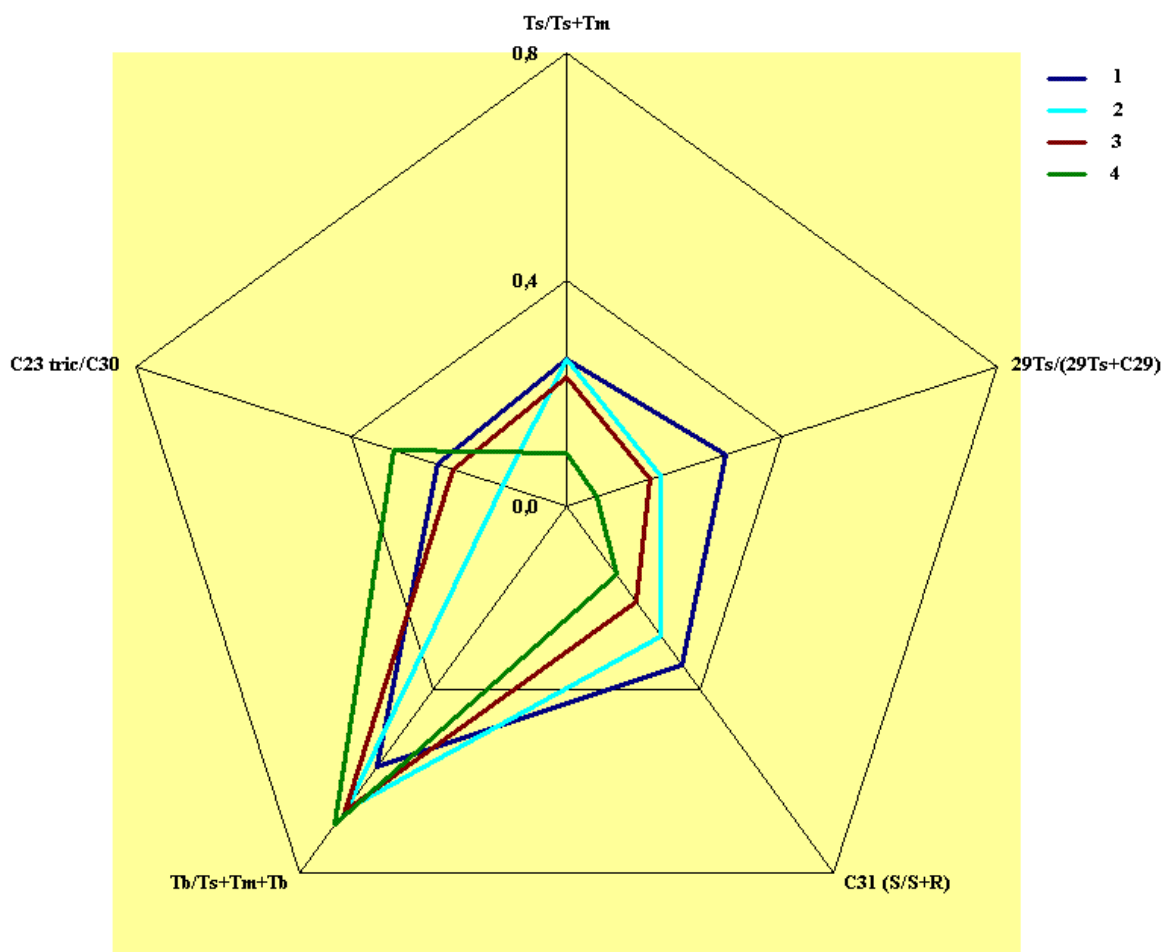


Рис. 6. Геохимическая характеристика терпанов голоцен-четвертичных осадков Штокмановской площади

1 – 2-5 см; 2 – 20-50 см; 3 – 50-100 см; 4 – >100.

Особенности состава и распределения стеранов также свидетельствуют об относительной обогащенности темально зрелым РОВ осадков верхней части разреза. На это указывает диаграмма корреляции стерановых коэффициентов зрелости (рис. 7), согласно которой в погруженных осадках (> 50 см) доминируют компоненты раннедиагенетической трансформации стеролов - биостераны. В осадках верхней части разреза заметно возрастает содержание геостеранов, характерных для РОВ постдиагенетического уровня трансформации.

Соотношение стерановых геохимических показателей, характеризующих генезис исходного ОБ, свидетельствует о преимущественно гумусо-сапропелевом их составе ($C_{27}/C_{29} = 0,37-0,50$) (рис. 8). Лишь в поверхностных осадках (2-5 см) наблюдается

преобладание сапропелевой составляющей ($C_{27}/C_{29} = 0,83$), что полностью согласуется с характером распределения n-алканов, в составе которых доминируют маркеры гидробионтов (см. рис. 3).

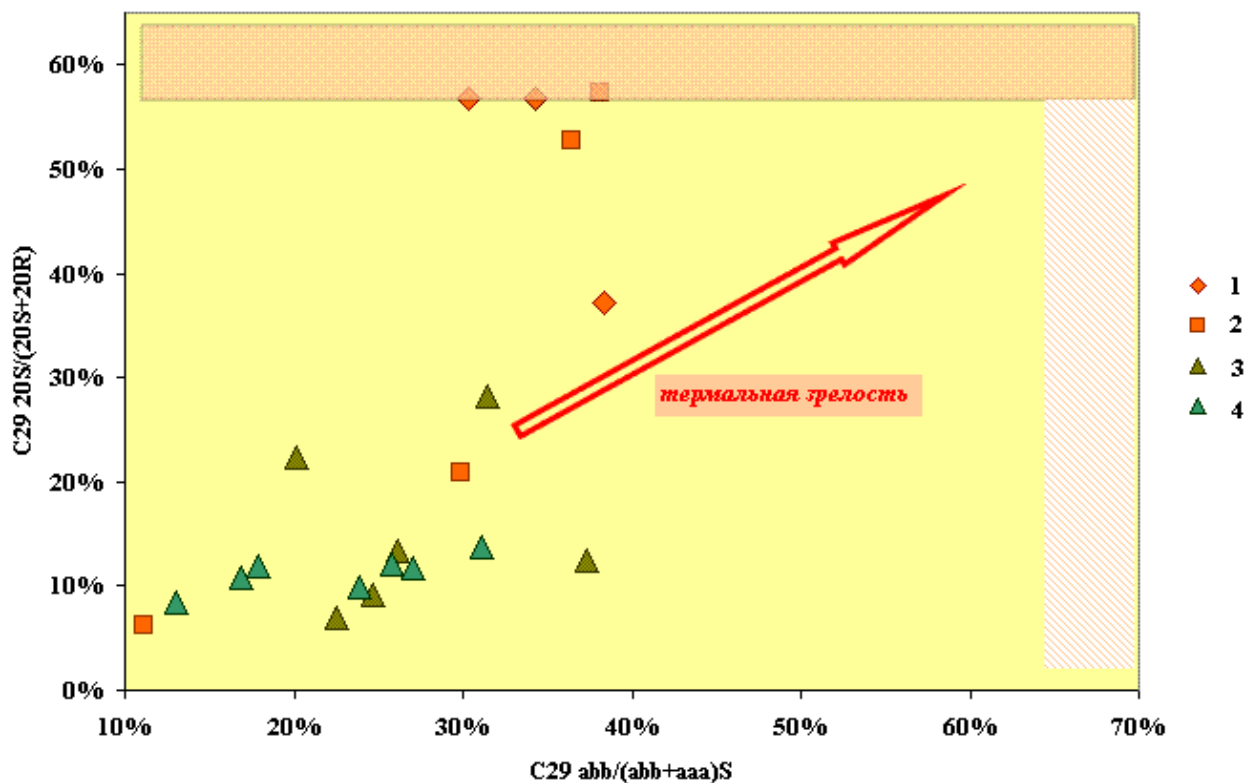


Рис. 7. Корреляция стерановых коэффициентов зрелости рассеянного органического вещества донных осадков Штокмановской площади
1 – 2-5 см; 2 – 20-50 см; 3 – 50-100 см; 4 – >100.

Особенности распределения ПАУ в донных осадках акваторий определяются целым рядом как природных, так и техногенных факторов, что приводит к значительным вариациям их количественного содержания и молекулярного состава [Lipiatou, Saliot, 1991]. При трансформации биогенного ОВ на этапе раннего диагенеза формируется пул «биогенных» ПАУ, таких как кадален, ретен, перилен, алкилхризены. Присутствие «нафтидогенных» компонентов (голядерные и алкилзамещенные нафталины, фенантрены, дибензтиофены), характерных для РОВ катагенетического уровня зрелости, может быть обусловлено эрозией и переотложением древних осадочных пород, грязевым вулканизмом, гидротермальной активностью, эндогенной миграцией. Высокотемпературные процессы (вулканизм, контактный метаморфизм) способствуют образованию термодинамически стабильных «пирогенных» ПАУ (флуорантен, бензфлуорантены, бензпирены и т.п.). Техногенные

источники также могут являться поставщиками «пирогенных» и «нафтидогенных» компонентов.

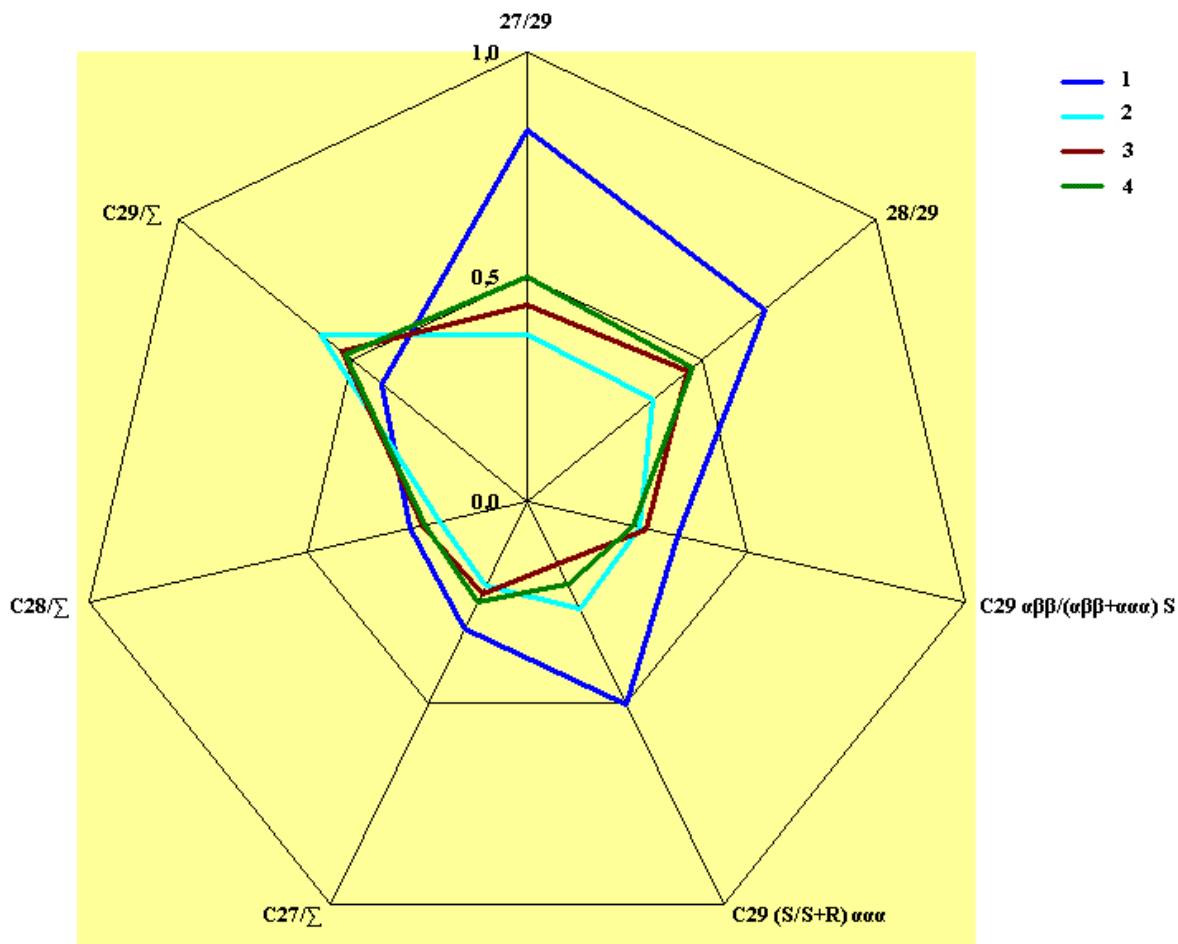


Рис. 8. Геохимическая характеристика стеранов голоцен-четвертичных осадков Штокмановской площади

1 – 2-5 см; 2 – 20-50 см; 3 – 50-100 см; 4 – >100.

Поверхностные осадки Штокмановской площади характеризуются мозаичным распределением ПАУ, суммарное содержание которых варьирует в пределах от 100 до 2500 нг/г осадка. Столь широкий концентрационный диапазон при однообразии литолого-фациальных условий осадконакопления и относительной выдержанности основных геохимических параметров ($A_{xл} = 0,02-0,04\%$; $\Sigma УВ = 0,003-0,005\%$) представляется нетривиальным и вряд ли может быть объяснен естественными флуктуациями геохимического фона.

Сопоставление осредненных геохимических параметров, характеризующих осадки изученного района и юго-восточной части Баренцева моря в целом [Dahle et al., 2009] подтвердило аномальный характер распределения ПАУ в поверхностных осадках Штокмановской площади. При этом специфика аномалии имеет устойчивый временной

тренд (рис. 9) и заключается в повышенном суммарном содержании ПАУ, а в их составе пирогенной и, особенно, нафтидогенной составляющих. Вместе с тем, индексы, характеризующие уровень техногенного загрязнения осадков в них существенно ниже региональных за весь период наблюдений.

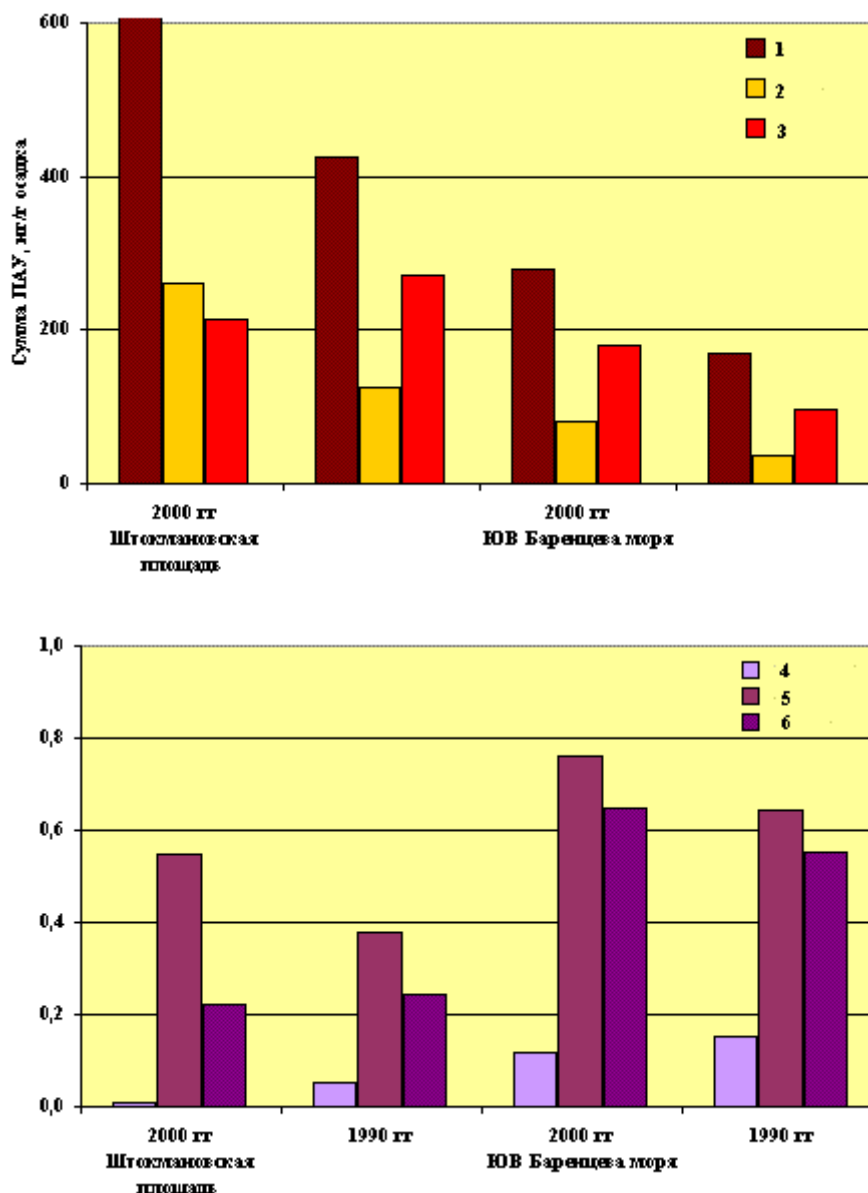


Рис. 9. Сравнительная характеристика содержания и состава полициклических ароматических углеводородов в донных осадках Штокмановской площади и юго-восточной части Баренцева моря

1 – ΣПАУ; 2 – НФД; 3 – ПИР; 4 – АНТ/178; 5 – .ФЛ/202; 6 – .ИНД/276.

Весьма своеобразны состав и распределение ПАУ в осадочном разрезе голоценовых отложений (рис. 10).

В осадках верхней части разреза (< 50 см) преобладают нафтидогенные ПАУ (НФД), что в сочетании с повышенным значением метилфенантренового индекса (MPI)

свидетельствует о значительном уровне термальной зрелости РОВ. В этой же части разреза отмечается большое содержание пирогенных компонентов, не достигающее, впрочем, значений, свидетельствующих о значительном техногенном загрязнении ($A_n/178 < 0,1$; $\Phi_{л}/202 = 0,54-0,55$).

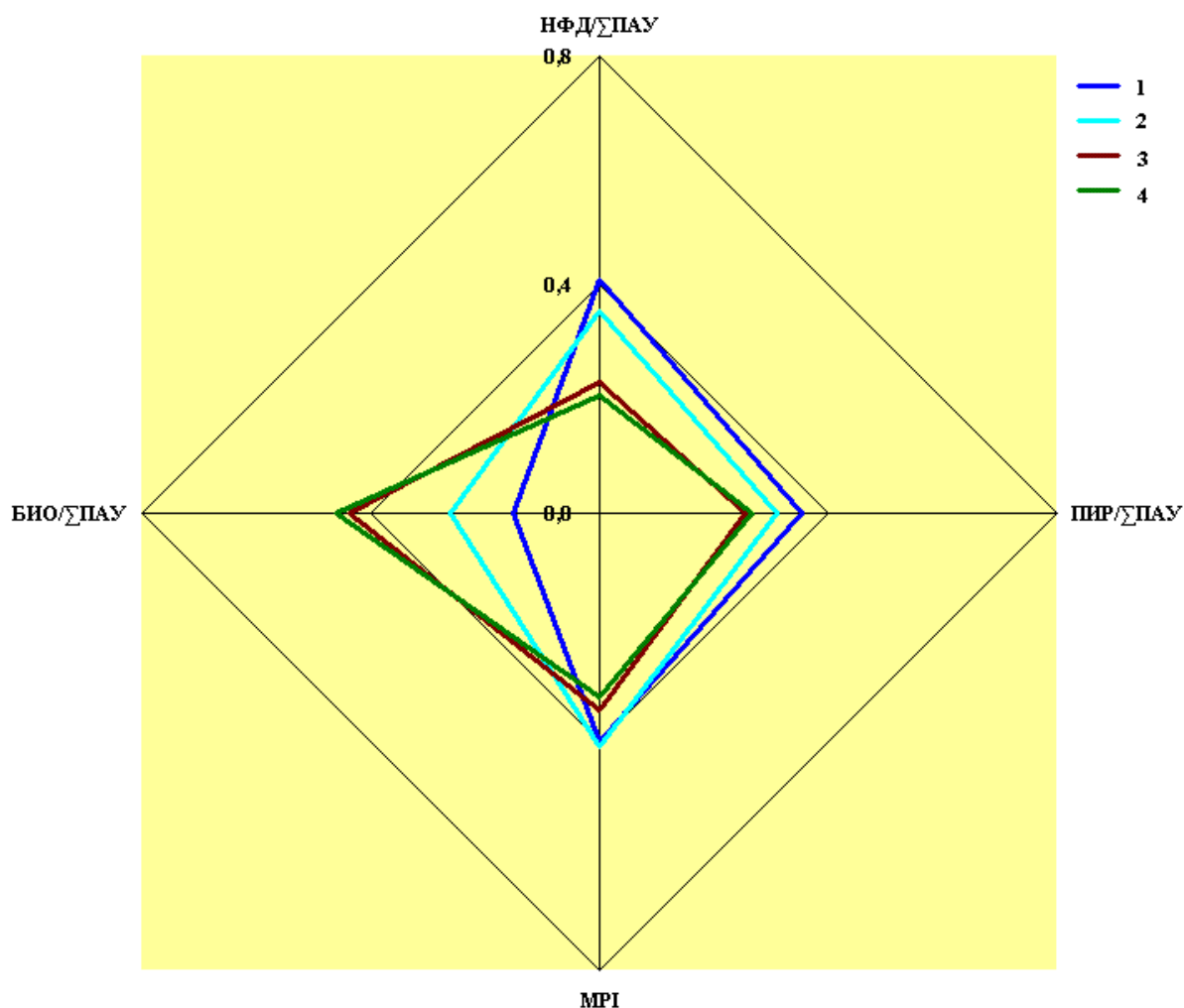


Рис. 10. Геохимическая характеристика полициклических ароматических углеводородов голоцен-четвертичных осадков Штокмановской площади
1 – 2-5 см; 2 – 20-50 см; 3 – 50-100 см; 4 – >100.

Содержание биогенных ПАУ, и в особенности перилена, резко возрастает в осадках нижней части разреза, что связывают обычно с их новообразованием в процессе восстановительной стадии диагенеза [Venkatesan, 1988].

Сопоставление осредненных данных с геохимическими параметрами, характеризующими конкретные осадочные разрезы, свидетельствует об общности выявленных тенденций. На рис. 11 приведены графики распределения различных групп ПАУ в осадочных колонках, отобранных на Штокмановской площади в рейсе ГС «Гидролог» (2002 г.), наглядно иллюстрирующие данное наблюдение.

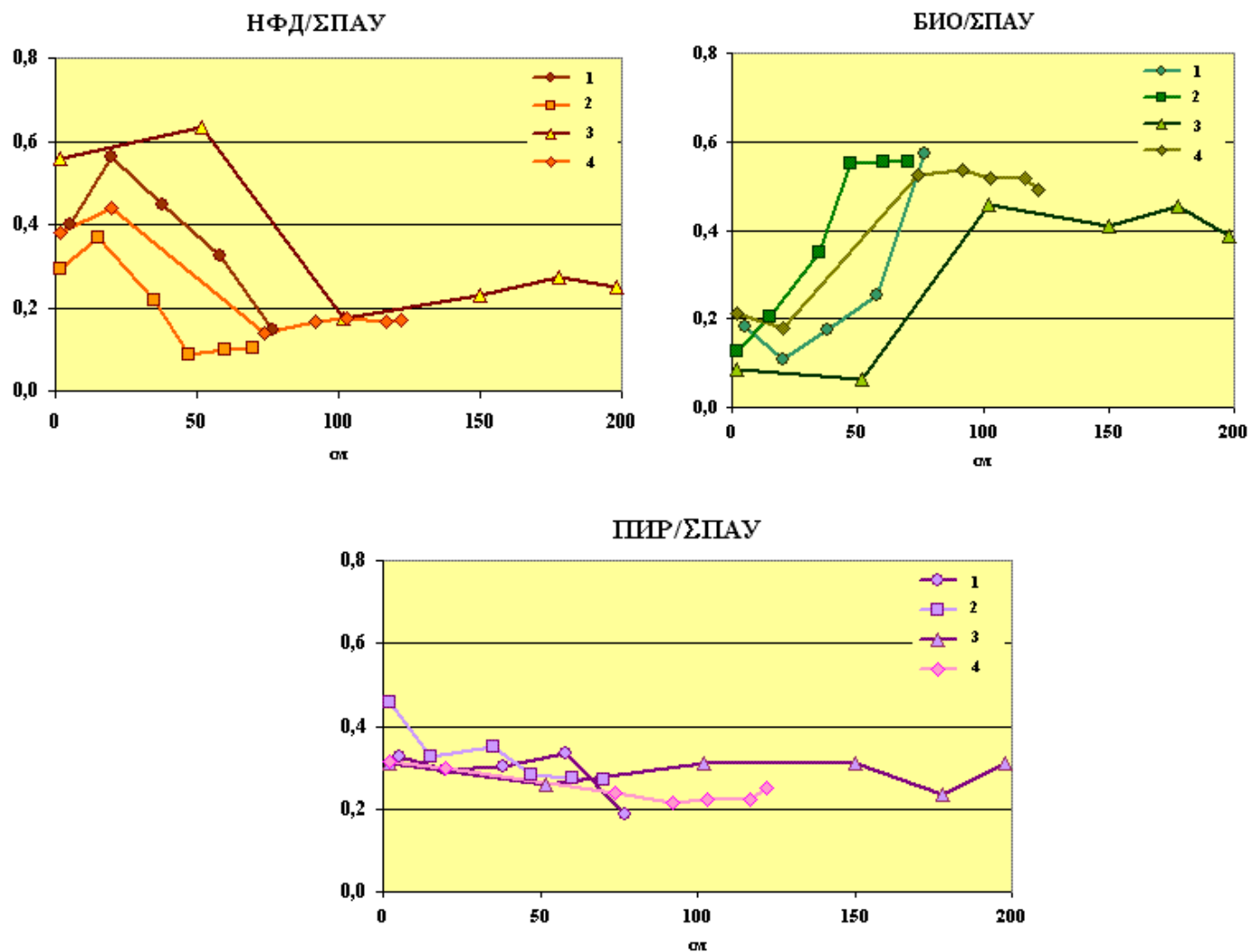


Рис. 11. Распределение молекулярных групп полициклических ароматических углеводородов в осадочном разрезе голоцен-четвертичных отложений Штокмановской площади

1 – Г-01; 2 – Г-11; 3 – Г-12; 4 – Г-13.

Содержание биогенных компонентов резко возрастает в нижней части разреза (> 50 см) и составляет 40-60% от суммы полиаренов. Содержание пирогенных ПАУ остается практически неизменным во всех осадочных разрезах и не превышает 20-30% от суммы. В то время как нефтидогенные ПАУ доминируют в верхнем (< 50 см) слое осадков.

Особенности содержания и состава полиаренов в донных осадках Штокмановской площади позволяют предположить существование дополнительного фактора, определяющего специфику их распределения. Таким фактором может являться газовая эманация из нижележащих продуктивных горизонтов.

Согласно механизму сипинговой миграции [England et al., 1987], УВ могут двигаться как отдельная фаза по порам осадочных пород и оставлять геохимический след в поверхностных осадках благодаря аккумуляции, особенно в местах газовой разгрузки. Отмеченные выше морфоструктурные особенности поверхности морского дна (воронки покмарков) делают данное предположение непротиворечивым. Тем более, что наличие вертикальной миграции газовых флюидов в районе Штокмановской структуры в настоящее время подтверждено геофизическими исследованиями [Захаренко, Казанин, Павлов, 2014]. Остается объяснить, каким образом может влиять газовый флюид на состав ароматических УВ поверхностных донных осадков.

Представить схематически механизм миграции возможно, рассматривая особенности сверхкритической флюидной хроматографии [Киселев, Яшин, 1979], характерной чертой которой является использование в качестве подвижной, элюирующей фазы газов в сжатом состоянии. Известно, что газы при высоком давлении и умеренной температуре могут пребывать в так называемом сверхкритическом состоянии, приобретая свойства, промежуточные между свойствами газа и жидкости. При этом их элюирующая способность резко возрастает благодаря уменьшению коэффициента распределения (константы Генри) элюируемых веществ. Этот эффект может быть весьма значительным - возможно увеличение элюирующей силы на четыре порядка. При этом будут сохраняться все основные закономерности хроматографического процесса, а именно, зависимость последовательности элюирования от молекулярного строения извлекаемых веществ.

Теперь, если принять газовый флюид за газ-носитель, а осадочные породы и содержащееся в них РОВ за сорбент и сорбат, легко представить, что извлекаться газовым потоком будут преимущественно низкомолекулярные вещества неразветвленного, компактного строения. Кроме того, известно, что поверхностное натяжение является одним из механизмов перемещения УВ флюидов в осадочной толще. Чем оно больше, тем интенсивнее проявляется капиллярный подъем. Поверхностное натяжение зависит от

молекулярного веса и структуры молекул УВ. При том же содержании атомов углерода в молекуле у ароматических УВ оно заметно больше, чем у метановых.

По мере продвижения к дневной поверхности, с понижением давления и температуры, и особенно, на границе раздела вода-дно, где резко меняются физико-химические условия среды, может происходить частичная утрата газовым флюидом наименее растворимых органических соединений, и соответственное обогащение ими поверхностных осадков.

Как уже было показано выше, распределение ПАУ в изученных голоценовых осадках весьма неоднородно количественно и качественно. Это становится понятным, если принять, что разгрузка газового потока не равномерна по площади, а мозаична. В осадках, близких к местам разгрузки, должно возрасть не только суммарное содержание ПАУ, но и меняться их соотношение за счет наложения эндогенной составляющей на современный геохимический фон. Аналогичные наблюдения были сделаны при проведении геохимических исследований поверхностных осадков North Viking Graben [Hvoslef et al., 1996], где авторы обнаружили корреляцию процессов сипинга с ароматичностью РОВ донных осадков, а также в норвежском секторе Баренцева моря в зоне распространения покмарков [Voitsov et al., 2011].

Выводы

Проведенные исследования показали, что органо-геохимический фон голоценовых отложений Штокмановской площади формировался за счет седиментационного потока осадочного материала и возможного эндогенного влияния, определяющего специфику локальной аномалии содержания и состава РОВ. Это выражается в повышенном содержании Сорг, при отсутствии его жесткой корреляции с гранулометрическим составом осадков, ароматических УВ и ПАУ. Состав углеводородных молекулярных маркеров свидетельствует об обогащенности верхней части осадочного разреза компонентами термально зрелого РОВ, что может быть обусловлено выбросами при точечной разгрузке газового флюида осадочных пород нижних стратиграфических горизонтов и/ или сипинговой миграцией.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (Проект «Экологический менеджмент нефтяных районов Баренцева моря: Норвежско-Российское сотрудничество» (Грант №14-04-93083)).

Литература

Андреева И.А., Ванштейн Б.Г., Зинченко А.Г., Кабаньков В.Я., Кийко О.А., Петрова В.И. Геоэкологический атлас Баренцева моря. Геология морей и океанов // Материалы XIV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. - 2001. - Т.2. - С.80-81.

Данюшевская А.И., Козлова И.С., Кириллов О.В., Матвеева В.А., Яшин Л.С. Геохимические особенности органического вещества донных отложений Баренцева моря // Океанология. - 1985. - Т.24. - № 1. - С.102-111.

Данюшевская А.И., Петрова В.И., Яшин Д.С., Батова Г.И., Артемьев В.Е. Органическое вещество донных отложений полярных зон мирового океана. - Л.: Недра, 1990. - 280 с.

Захаренко В.С., Казанин Г.С., Павлов С.П. Предпосылки и условия формирования газогидратов на Штокмановской площади Баренцева моря // Вестник МГТУ. - 2014. - Т. 17. - № 2. - С.394-402.

Иванов Г.И. Геоэкология Западно-Арктического шельфа России: литолого-экогеохимические аспекты. - СПб.: Наука, 2006. – 304 с.

Киселев А.В., Яшин Я.И. Адсорбционная газовая и жидкостная хроматография. - М.: Химия, 1979. - 278с.

Крылов А.А., Иванов Г.И. К вопросу о литологии и экогеохимии современных донных осадков глубоководного шельфа центральной части Баренцева моря (на примере Штокмановской структуры) // Вестник СПбГУ. - 1997. - Сер.7. - Вып.4. - С.127-128.

Левитан М.А., Лаврушин Ю.А., Штайн Р. Очерки истории седиментации в Северном ледовитом океане и морях субарктики в течение последних 130 тыс. лет. - М.: ГЕОС, 2007. - 404 с.

Павлидис Ю.А., Ионин А.С., Щербаков Ф.А., Дунаев Н.Н., Никифоров С.Л. Арктический шельф. Позднечетвертичная история как основа прогноза развития. - М.: Геос, 1998. – 187 с.

Петрова В.И. Геохимия полициклических ароматических углеводородов в донных осадках Мирового океана / Автореф. докторск. дисс. - СПб. 1999. - 30 с.

Петрова В.И., Батова Г.И., Андреева И.А., Галишев М.А. Органическое вещество пелитовой фракции голоценовых осадков: взаимосвязь группового молекулярного, дисперсного и минералогического составов. Геология морей и океанов // Материалы XIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. - 1999. - Т.1. - С.300-302.

Романкевич Е.А., Ветров А.А. Цикл углерода в арктических морях России. - М.: Наука, 2001. – 302 с.

Романкевич Е.А., Данюшевская А.И., Беляева А.Н., Русанов В.П. Биогеохимия органического вещества арктических морей. - М.: Наука, 1982. – 240 с.

Boitsov S., Petrova V., Jensen H.K.B., Kursheva A., Litvinenko I., Chen Y., Klungsøyr J. Petroleum-related hydrocarbons in deep and subsurface sediments from South-Western Barents Sea // *Marine Environmental Research*. 2011. V. 71. P. 357-368.

Dahle S., Savinov V., Klungsøyr J., Boitsov S., Plotitsyna N., Zhilin A., Savinova T., Petrova V. Polyaromatic hydrocarbons (PAHs) in the Barents Sea sediments: Small changes over the recent 10 years // *Marine Biology Research*. 2009. V. 5-1. P.101–108.

England W.A., MacKenzie A.S., Mann D.M. and Quigley T.M. The movement and entrapment of petroleum fluids in the subsurface // *Journal of the Geological Society*. 1987. V.144. P. 327-347.

Fernandes, M.B., Sicre, M.-A. The importance of terrestrial organic carbon inputs on Kara Sea shelves as revealed by n-alkanes, OC and $\delta^{13}C$ values // *Organic Geochemistry*. 2000. V. 31. P. 363–374.

Hvoslef S., Christie O.H.J., Sassen R., Kennicutt M.C., Requejo A.G.(R) and Brooks J.M. Test of a new surface geochemistry tool for resource prediction in frontier areas // *Marine and Petroleum Geology*. 1996. V.13. N.1. P.107-124.

Lipiatou E., Saliot A. Fluxes and transport of antropogenic and natural PAH in the western Mediterranean Sea // *Marine Chemistry*. 1991. V. 32. P. 51-71.

Nürnberg D., Levitan M., Pavlidis J., Shelekhova E. Distribution of clay minerals in surface sediments from the eastern Barents and southwestern Kara sea // *Geol. Rund*. 1995. V.84. P.665-682.

Peters K., Walters C.C., Moldowan J. The biomarker guide. Second edition. Cambridge University press. 2005. V. 2. P. 472-1155.

Schumacher, D. and Abraham, A. eds. Hydrocarbon migration and its nearsurface expression: AAPG Memoir 66, 445 p.

Venkatesan M. Occurrence and possible sources of perylene in marine sediments // *Marine Chemistry*. 1988. V. 25. N 1. P. 1-27.

Yamamoto M., Polyak L. Changes in terrestrial organic matter input to the Mendeleev Ridge, western Arctic Ocean, during the Late Quaternary // *Global and Planetary Change* 2009. V.68 P. 30–37.

Petrova V.I.

All-Russia Scientific Research Institute for Geology and Mineral Resources of the World Ocean named after I.S. Gramberg, St. Petersburg, Russia; St. Petersburg, Russia; St. Petersburg State University, Institute of Earth Science, St. Petersburg, Russia, petrovavi@mail.ru

Batova G.I., Kursheva A.V.

All-Russia Scientific Research Institute for Geology and Mineral Resources of the World Ocean named after I.S. Gramberg, St. Petersburg, Russia

Litvinenko I.V.

All-Russia Scientific Research Institute for Geology and Mineral Resources of the World Ocean named after I.S. Gramberg, St. Petersburg, Russia; St. Petersburg, Russia; St. Petersburg State University, Institute of Earth Science, St. Petersburg, Russia

Morgunova I.P.

All-Russia Scientific Research Institute for Geology and Mineral Resources of the World Ocean named after I.S. Gramberg, St. Petersburg, Russia

HYDROCARBONS IN BOTTOM SEDIMENTS OF THE SHTOKMAN AREA – DISTRIBUTION, GENESIS, TEMPORAL TRENDS

The study of the composition, distribution and genesis of hydrocarbons in the components of the geological environment of water areas allows solving tasks of the forecast of oil and gas potential of mineral resources and at the same time provides a basis for future environmental monitoring in exploration and mining operations. The major geochemical parameters of dispersed organic matter are identified on the basis of long-term study of Late Quaternary sediments of the South-Barents depression. Studies have shown that the organic-geochemical background of Holocene Quaternary sediments of the Shtokman area formed due to the sedimentation flux of sedimentary material and possible endogenous influence, which determines the specificity of the local anomaly content and composition of dispersed organic matter. This results in high content of aromatic hydrocarbons and polyarenes and organic carbon, but in the absence of its correlation with particle size of bottom sediments. The composition of the hydrocarbon molecular markers indicates the enriched upper part of the sedimentary section by components of thermal mature dispersed organic matter that can be caused by emissions from point discharge of gas fluid of sedimentary rocks of the lower stratigraphic horizons and/or seeping migration.

Keywords: *bottom sediments, hydrocarbons, biomarkers, polycyclic aromatic hydrocarbons, Barents Sea, Shtokman area.*

References

Andreeva I.A., Vanshteyn B.G., Zinchenko A.G., Kaban'kov V.Ya., Kiyko O.A., Petrova V.I. *Geoekologicheskiy atlas Barentseva morya. Geologiya morey i okeanov* [Geocological Atlas of the Barents Sea. Geology of the oceans and seas]. Proceedings of XIII International scientific conference (School) on marine geology, 2001, vol. 2, p. 80-81.

Boitsov S., Petrova V., Jensen H.K.B., Kursheva A., Litvinenko I., Chen Y., Klungsoyr J. Petroleum-related hydrocarbons in deep and subsurface sediments from South-Western Barents Sea // *Marine Environmental Research*. 2011. V.71. P. 357-368.

Dahle S., Savinov V., Klungsoyr J., Boitsov S., Plotitsyna N., Zhilin A., Savinova T., Petrova V. Polyaromatic hydrocarbons (PAHs) in the Barents Sea sediments: Small changes over the recent 10 years // *Marine Biology Research*. 2009. V. 5-1. P.101–108.

Danyushevskaya A.I., Kozlova I.S., Kirillov O.V., Matveeva V.A., Yashin L.S. *Geokhimicheskie osobennosti organicheskogo veshchestva donnykh otlozheniy Barentseva morya* [Geochemical characteristics of organic matter of sediments of the Barents Sea]. *Okeanologiya*, 1985, vol. 24, no. 1, p. 102-111.

Danyushevskaya A.I., Petrova V.I., Yashin D.S., Batova G.I., Artem'ev V.E. *Organicheskoe veshchestvo donnykh otlozheniy polyarnykh zon mirovogo okeana* [Organic matter of bottom sediments of the polar regions of the world ocean]. Leningrad: Nedra, 1990, 280 p.

England W.A., MacKenzie A.S.D.M. Mann, and Quigley T.M. The movement and entrapment of petroleum fluids in the subsurface // *Journal of the Geological Society*. 1987. V.144. P. 327-347.

Fernandes, M.B., Sicre, M.-A. The importance of terrestrial organic carbon inputs on KaraSea shelves as revealed by n-alkanes, OC and $\delta^{13}\text{C}$ values // *Organic Geochemistry*. 2000. V. 31. P. 363–374.

Hvoslef S., Christie O.H.J., Sassen R., Kennicutt M.C., Requejo A.G.(R) and Brooks J.M. Test of a new surface geochemistry tool for resource prediction in frontier areas // *Marine and Petroleum Geology*. 1996. V.13. N.1. P.107-124.

Ivanov G.I. *Geoekologiya Zapadno-Arkticheskogo shel'fa Rossii: litologo-ekogeokhimicheskie aspekty* [Geoecology of West Arctic shelf of Russia: lithologic-ekogeokhimicheskoy aspects]. Saint Petersburg: Nauka, 2006, 304 p.

Kiselev A.V., Yashin Ya.I. *Adsorbtsionnaya gazovaya i zhidkostnaya khromatografiya* [Adsorption gas and liquid chromatography]. Moscow: Khimiya, 1979, 278 p.

Krylov A.A., Ivanov G.I. *K voprosu o litologii i ekogeokhimii sovremennykh donnykh osadkov glubokovodnogo shel'fa tsentral'noy chasti Barentseva morya (na primere Shtokmanovskoy struktury)* [On the question of lithology and ecogeochemistry of modern sediment of deepwater shelf of the central part of the Barents Sea (for example, the structure of the Shtokman)]. *Vestnik SPbGU*, 1997, Ser.7, vol. 4, p. 127-128.

Levitan M.A., Lavrushin Yu.A., Shtayn R. *Ocherki istorii sedimentatsii v Severnom ledovitom okeane i moryakh subarktiki v techenie poslednykh 130 tys. Let* [Essays on the history of sedimentation in the Arctic Ocean and subarctic seas during the last 130 thousand years]. Moscow: GEOS, 2007, 404 p.

Lipiatou E., Saliot A. Fluxes and transport of antropogenic and natural PAH in the western Mediterranean Sea // *Marine Chemistry*. 1991. V. 32. P. 51-71.

Nürnberg D., Levitan M., Pavlidis J., Shelekhova E. Distribution of clay minerals in surface sediments from the eastern Barents and southwestern Kara sea // *Geol. Rund*. 1995. V.84. P.665-682.

Pavlidis Yu.A., Ionin A.S., Shcherbakov F.A., Dunaev N.N., Nikiforov S.L. *Arkticheskii shel'f. Pozdnechetvertichnaya istoriya kak osnova prognoza razvitiya* [Arctic shelf. Late Quaternary history as the basis of the forecast]. Moscow: Geos, 1998, 187 p.

Peters K., Walters C.C., Moldowan J. *The biomarker guide*. Second edition. Cambridge University press. 2005. V. 2. P. 472-1155.

Petrova V.I. *Geokhimiya politsiklicheskikh aromaticsikh uglevodorodov v donnykh osadkakh Mirovogo okeana* [Geochemistry of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of the World Ocean]. Synopsis of dissertation. Saint Petersburg, 1999, 30 p.

Petrova V.I., Batova G.I., Andreeva I.A., Galishev M.A. *Organicheskoe veshchestvo pelitovoy fraktsii golotsenovykh osadkov: vzaimosvyaz' gruppovogo molekulyarnogo, dispersnogo i mineralogicheskogo sostavov. Geologiya morey i okeanov* [Organic matter of pelitic fraction of Holocene sediments: the relationship of the molecular group, disperse and mineralogical composition. *Geology of the oceans and seas*]. Proceedings of XIII International scientific conference (School) on marine geology, 1999, vol. 1, p. 300-302.

Romankevich E.A., Danyushevskaya A.I., Belyaeva A.N., Rusanov V.P. *Biogeokhimiya organicheskogo veshchestva arkticheskikh morey* [Biogeochemistry of organic matter of the Arctic seas]. Moscow: Nauka, 1982, 240 p.

Romankevich E.A., Vetrov A.A. *Tsikl ugleroda v arkticheskikh moryakh Rossii* [Carbon cycle in the Arctic seas Russia]. Moscow: Nauka, 2001, 302 p.

Schumacher, D. and Abraham, A. eds. Hydrocarbon migration and its nearsurface expression: AAPG Memoir 66, 445 p.

Venkatesan M. Occurrence and possible sources of perylene in marine sediments // Marine Chemistry. 1988. V. 25. N 1. P. 1-27.

Yamamoto M., Polyak L. Changes in terrestrial organic matter input to the Mendeleev Ridge, western Arctic Ocean, during the Late Quaternary // Global and Planetary Change 2009. V.68 P. 30–37.

Zakharenko V.S., Kazanin G.S., Pavlov S.P. *Predposylki i usloviya formirovaniya gazogidratov na Shtokmanovskoy ploshchadi Barentseva morya* [Background and conditions of formation of gas hydrates in the Shtokman area of the Barents Sea]. Vestnik MGTU, 2014, vol. 17, no. 2, p. 394-402.

© Петрова В.И., Батова Г.И., Куршева А.В., Литвиненко И.В., Моргунова И.П., 2015