

УДК 550.42+550.43

ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ В ОСАДКАХ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ

© 2013 Р.Б. Шакиров, А.В. Сорочинская, А.И. Обжиров

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
Владивосток, 690041; e-mail: sorochin2001@mail.ru; ren@poi.dvo.ru; obzhirov@poi.dvo.ru*

Представлены результаты комплексных газогеохимических исследований донных осадков Восточно-Сибирского моря по меридиональному профилю от мыса Биллингса к хребту Менделеева. Обнаруженные участки с аномальными концентрациями метана (до 2.4% об.) контролируются тектоническими разломами. Изотопный состав углерода метана, этана и углекислого газа указывает на наличие притока глубинного флюида. Изучение химического состава осадков позволяет выделить участки, где в зонах тектонических разломов, фиксирующихся аномалиями метана в осадках, существуют условия, благоприятные для концентрирования ряда элементов: Mn, Cu, Ag. Экспедиция выполнена совместно с ФГУНПП «СЕВМОРГЕО».

Ключевые слова: Восточно-Сибирское море, метан, гранулометрия, элементный состав, органический углерод.

Газогеохимические исследования в морях российского сектора Арктики представляют в настоящее время особый интерес, так как по оценкам ВНИИокеанологии и ВНИГРИ на российской части западно-арктического шельфа сосредоточено более 75% разведанных запасов всего российского шельфа — 8.2 млрд. т усл. топлива (Бурлин, Ступакова, 2008). В пределах восточной части российской Арктики еще не открыто ни одного месторождения нефти и газа, но перспективы имеются, судя по наличию крупных месторождений в смежных толщах Аляски. По существующим оценкам (Хаин и др. 2009а; Хаин и др., 2009б) восточно-арктический шельф имеет высокий промышленный потенциал для поиска нефти и газа. По расчетам ИНГГ СО РАН начальные геологические ресурсы углеводородов в Северном Ледовитом океане в нефтяном эквиваленте составляют больше 90 млрд. т (Конторович и др., 2010).

Из-за суровых климатических условий и продолжительности ледового периода Восточно-Сибирское море является самой малоизученной акваторией нашей страны с точки зрения оценки углеводородных ресурсов (в отличие от смежных с ним морей Лаптевых и Чукотского). В случае выявления рентабельных запасов углеводородов, согласно оценке извлекаемых ресурсов нефти

в 2-6 млрд. т, а газа — 3.5-8 млрд. м³, они могут стать доступными по условиям их освоения (Новиков, 2006).

Целью данной работы являлось изучение геохимической специфики осадков по региональному профилю от мыса Биллингса к поднятию Менделеева, распределение в них углеводородных газов и концентрирование отдельных элементов. В работе использованы материалы, полученные геолого-геофизической экспедицией в 2008 г. в 45 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в Восточно-Сибирском море.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ

Газогеохимический профиль в Восточно-Сибирском море с юга на север протяженностью в 550 пог. км. от станции VS-10 (69°58.07' с.ш., 175°48.38' в.д.) до станции VS-560 (74°42.63' с.ш., 179°36.41' в.д.) включал 56 донных станций, отработанных с шагом 10 км. Глубины в точках пробоотбора изменялись в диапазоне от 19 до 200 м (рис. 1).

Геолого-тектоническое строение Восточно-Сибирского моря анализируется во многих работах (Верба и др. 2011; Мазарович, 2005; Неотектонические ..., 2004; Хаин и др., 2009б). Для общего описания района и привязки станций

использовалась карта неотектонических структур (Неотектонические ..., 2004), так как авторами не ставилась задача детального выявления взаимосвязи геолого-тектонического строения и газогеохимических данных.

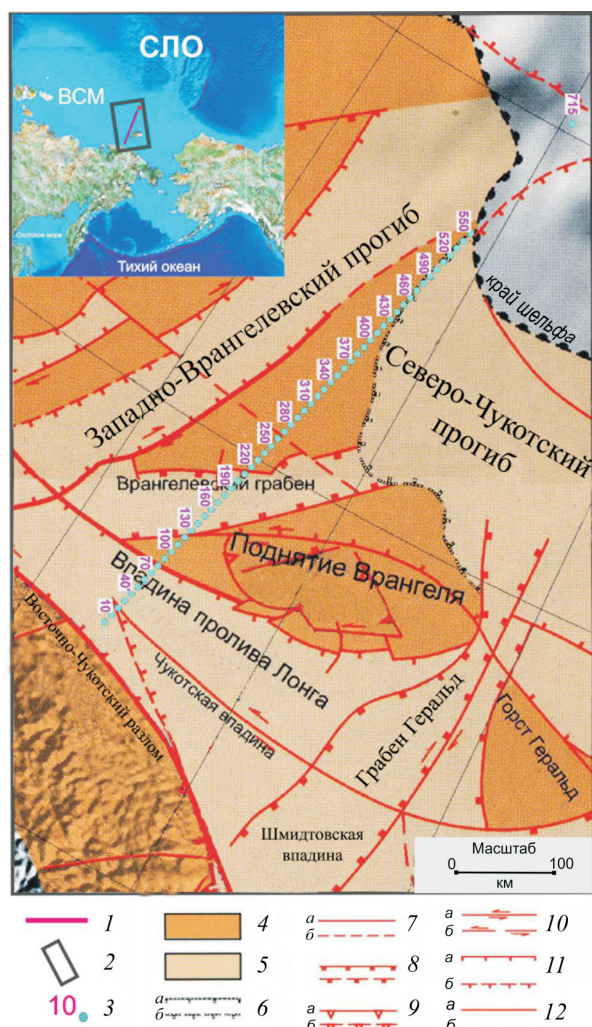


Рис. 1. Район исследований. Положение пикетов опробования донных осадков Восточно-Сибирского моря на карте неотектонических структур, выраженных в рельефе арктического шельфа по (Неотектонические ..., 2004) с изменениями. Условные обозначения: 1 – профиль работ 2008 г.; 2 – полигон работ; 3 – пикеты опробования; 4 – поднятия и горсты; 5 – впадины, грабены, рампы; 6 – границы достоверные (а)/предполагаемые (б) (штрихи направлены в сторону впадин). Активные разломы: (главные разломы показаны утолщенными линиями): 7 – достоверные (а)/предполагаемые (б); 8 – сбросы (штрихи на опущенном крыле); 9 – взбросы (треугольники на приподнятом крыле) достоверные (а)/предполагаемые (б); 10 – сдвиги (стрелками показано направление смещения) достоверные (а)/предполагаемые (б); 11 – неустановленного типа (штрихи – на опущенном крыле) достоверные (а)/предполагаемые (б); 12 – без установленного смещения достоверные (а)/предполагаемые (б). СЛО – Северный Ледовитый океан. ВСМ – Восточно-Сибирское море.

В неотектоническом строении Восточно-Сибирского моря выделяется ряд главных структур, границы которых, как правило, составляют новейшие разломы различной специализации, в основном, сбросовые и сдвиговые дислокации. Газогеохимический профиль пересекает с юга на север следующие структуры: впадину пролива Лонга (станции 50-80), поднятие Врангеля (станции 100-120), Врангелевский грабен (станции 130-220), поднятие, ограниченное сбросами окружающих структур (станции 230-460), Северо-Чукотский прогиб и бровку шельфа (станции 470-560) (Неотектонические ..., 2004). Мощность осадочного чехла в районе исследований может достигать 7 км при широком развитии положительных структур (Малышев, Обметко, 2010).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Отбор проб донных осадков проводился ударной прямоточной трубкой (длина 4 м, внутренний диаметр 60 мм) с последующим литологическим описанием и изучением особенностей распределения концентраций углеводородных газов (УВГ). Концентрации метана и тяжелых углеводородных газов (ТУВГ), до пентана включительно, в осадках определялись методом равновесных концентраций (headspace) на борту судна на газовом хроматографе «Кристалл-Люкс 4000М» (Хахенберг, Шмидт, 1979). Ошибка определения составляла не более 5%. Изотопный состав углерода метана и углерода углекислого газа определялся на масс-спектрометре Finnigan MAT-252. Для получения дополнительной информации об активных геологических процессах были изучены осадки, в которых анализировалось содержание углеводородных газов: определен гранулометрический и элементный состав и содержание органического углерода. Гранулометрический анализ осадков выполнен лазерно-дисперсионным методом на установке «Microtrac-100». При определении содержания в донных осадках основных элементов использовался метод атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES), при определении содержания примесных элементов – метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). Погрешность определения для основных элементов 1-2%, для микроэлементов не более 15%. Содержание органического углерода определялось методом сжигания на анализаторе фирмы «SHIMADZU».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Газогеохимические исследования. Газогеохимическая съемка в донных осадках по профилю выявила во всех пробах наличие метана: от

2.0 ppm до 2.4% (табл. 1). Фоновые концентрации метана составили 3-4 ppm, что сопоставимо, например, с фоновыми концентрациями метана в осадках Охотского моря, измерения которых выполнялись по единой методике (Хакенберг, Шмидт, 1979). В центральной части профиля (рис. 2) выделяется участок разгрузки метана (2.4 объем. %, станция 270) в ураганных концентрациях, характерных для гидратоносных осадков Охотского моря (Шакиров, Обжиров, 2009). ТУВГ в донных отложениях представлены этаном (максимальное значение 0.43 ppm), этиленом, пропиленом (max – 0.61 ppm), пропаном (max – 0.33 ppm), бутаном (max – 0.7 ppm) и пентаном (max – 17 ppm). Для 14 проб газа из различных участков профиля был определен изотопный состав углерода метана, этана и углекислого газа. Изотопный состав углерода метана изменяется от -27.7 до -72.2‰ VPDB; этана от -17.0 до -31.8‰ VPDB; углекислого газа от -17.7 до -23.7‰ VPDB. Полученные данные изотопного состава углерода попадают в интервал значений, характерных для газов углегазоносных и газонефтеносных осадочных формаций северо-востока России (Гресов и др., 2009).

Согласно нашим данным, изотопный

состав углерода метана и этана из Восточно-Сибирского моря относится к области газов со смешанным генезисом (термогенным и бактериальным) с преобладанием термогенной доли (рис. 3). Метан с изотопным составом углерода -45.8 – -56.1‰ VPDB (станции 40-60) характерен для угленосных формаций. Наиболее «тяжелый» по углероду метан обнаружен на станции 90: -27.9‰ VPDB. Такой метан близок к метану сахалинских грязевых вулканов (Ершов и др., 2011). Наиболее «легкий» метан (-72.2‰ VPDB) зафиксирован на станции 280, в зоне, где определены его максимальные концентрации в осадке. В общем случае, при разгрузке природного газа из зоны скопления углеводородов, термогенная компонента должна преобладать. Однако в местах активных «холодных» метановых проявлений (таких как газогидратные), часто обнаруживается газ с относительно легким составом углерода, например, северо-восточный склон о. Сахалин (Охотское море), где $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ изменяется от -55 до -77.5‰ VPDB. Эта особенность объясняется активными микробиальными процессами в верхних слоях донных отложений, где происходит многоактное фракционирование углерода, в том числе и поступающего из термогенных

Таблица 1. Содержание метана в осадках на разных интервалах (ppm) и изотопный состав углерода CH_4 , C_2H_6 и CO_2 (‰ VPDB) по профилю в Восточно-Сибирском море.

Станции	Интервалы отбора, см			$\delta^{13}\text{C}$		
	0-20	30-60	80-120	CH_4	C_2H_6	CO_2
10	-	$\frac{54.8}{35.1(2^*)-74.5}$	-	-56.8	-	-21.7
20	$\frac{3.2}{2.3-4.0(2^*)}$	5.7(1*)	-	-	-	-
30	$\frac{3.0}{2.3-3.7(2^*)}$	6.6(1*)	-	-	-	-
40	$\frac{6.2}{3.7-8.6(2^*)}$	6.6(1*)	-	-45.8	-29.1	-22.8
50	3.6(1*)	5.9(1*)	-	-	-	-
60	$\frac{4.1}{3.2-5.0(2^*)}$	$\frac{9.8}{7.8-11.7(2^*)}$	$\frac{19.4}{15.4-23.4(2^*)}$	-	-	-
70	3.8(1*)	$\frac{10.6}{6.7-14.4(2^*)}$	23.2(1*)	-	-	-
80	3.6(1*)	$\frac{19.4}{9.8-29.1(2^*)}$	$\frac{25.0}{19.1-31.0(2^*)}$	-60.8	-	-22.0
90	3.0(1*)	16.9(1*)	$\frac{46}{42.5-49.4(2^*)}$	-29.5	-24.6	-17.7

ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ

Таблица 1. Продолжение.

100	9.1(1*)	151.7(1*)	220.9(1*)	-56.1	-	-21.9
110	2.4(1*)	12.8(1*)	$\frac{14.8}{14.6 - 15.0(2*)}$	-	-	-
120	6.6(1*)	13.8(1*)	$\frac{17.1}{15.0 - 19.2(2*)}$	-	-	-
130	3.1(1*)	$\frac{9.8}{5.4 - 14.3(2*)}$	29.2(1*)	-	-	-
140	4.0(1*)	$\frac{5.4}{4.2 - 6.5(2*)}$	4.9(1*)	-	-	-
150	7.9(1*)	2.6(1*)	$\frac{10.8}{10.0 - 11.6(2*)}$	-	-	-
160	9.7(1*)	$\frac{30.8}{8.8 - 52.7(2*)}$	-	-	-	-
170	4.6(1*)	$\frac{7.8}{7.4 - 8.2(2*)}$	-	-	-	-
180	5.7(1*)	19.4(1*)	-	-	-	-
190	2.1(1*)	-	-	-53.6	-26.1	-22.9
200	2(1*)	-	-	-	-	-
210	2.5 (1*)	-	-	-	-	-
220	5.3(1*)	13.7(1*)	-	-	-	-
230	5.9(1*)	$\frac{35.6}{30.9 - 40.6(2*)}$	40.4(1*)	-	-	-
240	3.7(1*)	9.4(1*)	10(1*)	-	-	-
250	5.1(1*)	7.3(1*)	-	-	-	-
260	5.6(1*)	14.6(1*)	19.5(1*)	-59.0	-31.8	-22.6
270	41.9(1*)	1278.0(1*)	23787.8(1*)	-	-	-
280	13(1*)	21.2(1*)	16.2(1*)	-72.2	-	-23.5
290	4.5(1*)	13.6(1*)	$\frac{17.7}{14.9 - 20.5(2*)}$	-	-	-

Таблица 1. Продолжение.

300	4.5(1*)	15.6(1*)	22.3(1*)	-	-	-
310	2.4(1*)	12.4(1*)	$\frac{12.8}{11.2 - 14.5(2*)}$	-	-	-
320	3.9(1*)	6.3(1*)	$\frac{14.0}{10.8 - 17.3(2*)}$	-60.1	-	-23.7
330	2.6(1*)	9.7(1*)	16.6(1*)	-	-	-
340	3.1(1*)	$\frac{10.1}{7.2 - 13.0(2*)}$	-	-	-	-
350	3.3(1*)	$\frac{6.0}{5.3 - 6.8(2*)}$	8.9(1*)	-	-	-
360	6.4(1*)	$\frac{10.6}{8.9 - 12.3(2*)}$	-	-	-	-
370	-	$\frac{36.8}{16.5 - 57.1(2*)}$	101.8(1*)	-58.8	-	-22.4
380	2.6(1*)	4.8(1*)	-	-	-	-
390	2.7(1*)	4.4(1*)	-	-	-	-
400	3.0(1*)	4.4(1*)	9.1(1*)	-	-	-
410	3.8(1*)	13.4(1*)	11.7(1*)	-	-	-
420	4.4(1*)	8.6(1*)	8.3(1*)	-	-	-
430	5.7(1*)	13.4(1*)	$\frac{23.8}{20.0 - 27.5(2*)}$	-60.3	-	-24.3
440	6.1(1*)	12.0(1*)	-	-	-	-
450	4.8(1*)	14.3(1*)	$\frac{43.1}{37.8 - 48.4(2*)}$	-62.0	-	-
460	5.4(1*)	19.0(1*)	30.1(1*)	-	-	-
470	5.8(1*)	15.6(1*)	24.2(1*)	-	-	-
480	7.4(1*)	8.2(1*)	-	-	-	-

Таблица 1. Окончание.

490	11.1(1*)	20.9(1*)	$\frac{28.4}{24.9 - 32.0(2*)}$	-62.0	-	-23.4
500	13.8(1*)	26.3(1*)	$\frac{33.2}{31.3 - 35.2(2*)}$	-	-	-
510	7.9(1*)	8.8(1*)	12.0(1*)	-	-	-
520	3.8(1*)	8.8(1*)	$\frac{10.7}{10.3 - 11.1(2*)}$	-	-	-
530	4.9(1*)	8.8(1*)	$\frac{17.2}{16.4 - 18.0(0*)}$	-	-	-
540	4.1(1*)	$\frac{8.4}{7.5 - 9.2(2*)}$	-	-	-	-
550	2.8(1*)	$\frac{5.6}{3.7 - 7.5(2*)}$	$\frac{22.9}{22.5 - 23.6(2*)}$	-50.3	-17.0	-23.0
560	4.7(1*)	$\frac{9.3}{4.3 - 14.3(2*)}$	$\frac{25.2}{20.2 - 30.3(2*)}$	-	-	-

Примечание: * — число проб в интервале; в числителе — среднее значение, в знаменателе — диапазон концентраций.

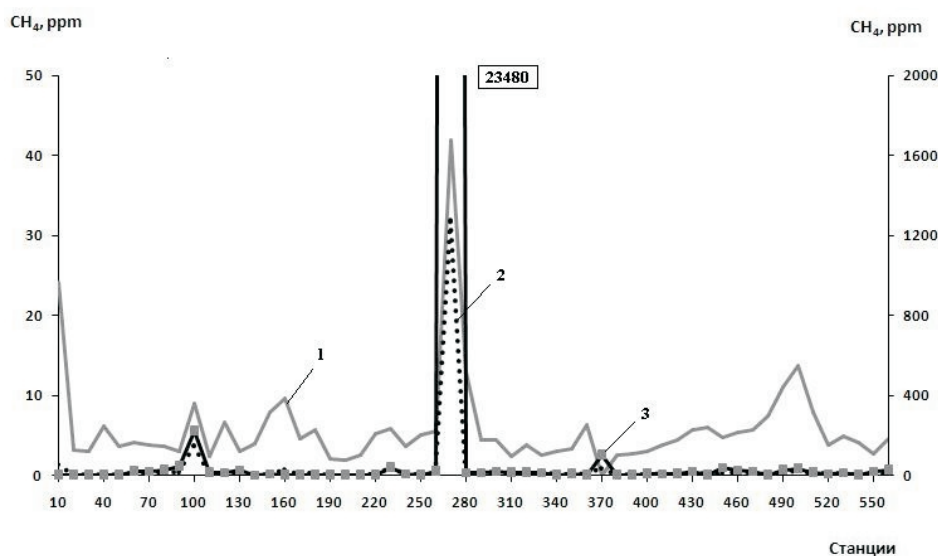


Рис. 2. Распределение метана в осадках Восточно-Сибирского моря по профилю в интервалах 0-20 см (1), 30-60 см (2), 80-120 см (3).

источников и подпитывающего микробиологические сообщества. Можно предположить, что метан, облегченный по углероду в зонах проницаемости, не является типично микробиальным, а наоборот, указывает на наличие притока углеводородных флюидов из глубинных горизонтов осадочной толщи. Возможно, этим объясняется наличие «легкого» по изотопному составу углерода метана на станции 280 (данный участок контролируется тектоническим разломом). Это

подтверждается и величинами изотопного состава углерода углекислого газа (-23.5‰ VPDB): значения сопоставимы со средней величиной изотопного состава углерода углекислого газа из проб, где в изотопном составе углерода метана преобладает термогенная компонента.

Среднее значение изотопного состава углерода углекислого газа совпадает по генезисному признаку с таковым из угленосных толщ с высокой степенью метаморфизма (на-

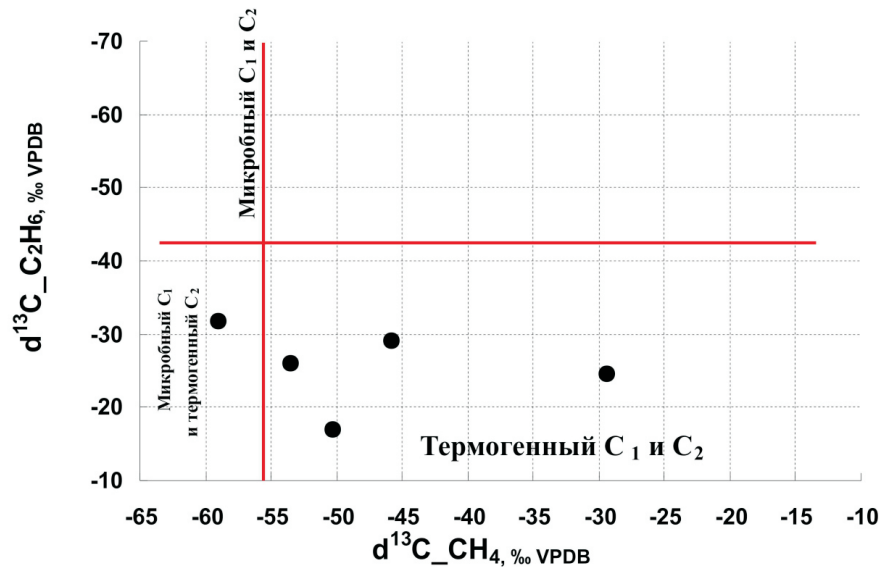


Рис. 3. Изотопный состав углерода метана и этана в осадках Восточно-Сибирского моря.

пример, угольные месторождения Сахалина). Молекулярная масса газовой углеводородной фракции (МУВ – средневзвешенное значение по массе индивидуальных членов ряда C_1 - C_5) и весовая концентрация углеводородных газов, нормированная по отношению МУВ, исследовались как единый количественный показатель генезисных особенностей УВГ (Гресов, 2011). Среднее значение МУВ 25.31 определенное по профилю, характерно для газов газонефтяных и нефтяных залежей, при этом весовые концентрации C_1 - C_5 (600-6-8-27-360) подтверждают, что газогеохимическое поле является полигенезисным образованием. Газовые компоненты такого поля образуются при наложении глубинных газов первичной генерации углегазового и нефтегазового рядов и газов, формирующихся при вторично-миграционных процессах.

Таким образом, по результатам газогеохимических исследований в Восточно-Сибирском море есть предпосылки обнаружения углеводородных залежей, при этом вероятен вклад глубинного вещества, а его миграционный приток в верхнюю часть разреза создает зоны аномальных газогеохимических полей.

Изучение осадков. Восточно-Сибирское – типичное шельфовое море полярных областей, где в питающих провинциях механическое выветривание горных пород преобладает над химическим и биологическим и, соответственно, в морских осадках преобладает терригенная составляющая. По результатам изучения гранулометрического состава (табл. 2) основной тип осадка по профилю – алеврит пелитовый, на станциях расположенных во Врангелевском грабене, осадок представлен алевритом псаммитовым, на станциях более удаленных от берега

– пелитом алевритовым (рис. 4). Значительные содержания пелитовой фракции (21-72%) присутствуют во всех пробах по профилю, что связано с подледно-морскими условиями седиментации (Павлидис, 1979).

Общий химический состав осадков представлен в таблице 3. Основным компонентом осадков в Восточно-Сибирском море является кремнезем (51.18-79.67% SiO_2) из-за резкого преобладания терригенного осадконакопления. Обогащение осадков магнием, железом, калием и натрием, очевидно, связано со значительными содержаниями пелитовой фракции во всех пробах по профилю: Fe_2O_3 (2.32-7.37%), MgO (0.9-3.12%), K_2O (1.68-3.20%), Na_2O (2.56-6.91%). Концентрации $C_{орг}$ в осадках изменяются в широких пределах (0.29-2.27%) и хорошо коррелируются с количеством пелита. Осадки представлены бескарбонатными разностями (значения $C_{карб}$ до 0.06%), что типично для донных отложений арктических морей. Слабая корреляция между $C_{орг}$ и содержанием метана указывает на незначительный расход органического вещества на формирование газовой фазы и подтверждает вывод о смешанном генезисе метана в осадках. Были рассчитаны некоторые литохимические модули, характеризующие геологические процессы в осадках (Юдович, Кетрис, 2000). Отношение Mn/Fe фиксирует разницу в интенсивности водной миграции Mn и Fe . Поведение Mn и Fe в морской воде отличается, так как $Mn(OH)_2$ растворяется значительно легче, чем $Fe(OH)_3$ (Виноградов, 1967). Для осадков южной и центральной частей профиля отношение Mn/Fe не превышает 0.01, что характерно для типичных терригенных обломочно-глинистых осадочных пород. Специфические условия осад-

ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ

Таблица 2. Гранулометрический состав поверхностных донных осадков по профилю в Восточно-Сибирском море.

Станции	Глубина моря, м	Сумма фракций, об. %.			Тип осадка
		Псаммит 1-0.1 мм	Алеврит 0.1-0.01 мм	Пелит <0.01 мм	
70	43	2.65	50.37	46.97	API
80	41	2.65	50.37	44.32	API
90	39	2.44	49.52	48.03	API
100	39	1.80	51.53	46.67	API
110	38	1.71	54.34	43.96	API
120	37	0.90	52.92	46.18	API
130	37	0.30	50.11	49.59	API
140	35	1.74	50.39	47.87	API
150	31	1.79	56.73	41.48	API
160	31	3.29	55.44	41.27	API
170	28	6.77	57.69	35.54	API
190	25	36.28	42.62	21.10	APs
200	25	33.09	43.58	23.32	APs
210	25	31.64	44.05	24.31	APs
230	33	4.09	56.39	39.52	API
240	34	0.25	45.34	48.49	MA
260	35	1.24	40.86	48.65	MA
270	41	0.00	47.27	50.88	MA
280	45	0.00	40.89	59.11	PIA
290	45	0.00	43.92	56.08	PIA
300	46	0.00	49.63	50.18	PIA
330	61	0.01	52.34	45.93	API
340	55	0.98	51.47	34.45	API
350	54	0.19	51.52	46.47	API
360	54	0.25	49.66	47.79	API
370	55	0.00	51.01	48.72	API
380	55	0.17	25.84	72.51	PIA
400	56	0.36	48.32	47.47	PIA
410	56	0.91	49.34	39.51	API
420	58	0.39	50.56	45.81	API
430	60	0.37	53.92	42.58	API
440	63	0.34	51.71	45.34	API
450	66	0.28	56.33	41.12	API
460	67	0.00	50.68	48.90	API
470	70	0.08	58.44	39.29	API
480	72	0.29	56.96	38.16	API
490	85	0.00	54.77	45.04	API
500	99	0.00	54.12	45.69	API
510	112	0.00	54.20	45.54	API
520	127	0.00	51.99	47.76	API
560	200	0.00	44.05	55.27	PIA

Примечание: API – алеврит пелитовый; PIA – пелит алевритовый; APs – алеврит псаммитовый; MA – миктит алевритовый.

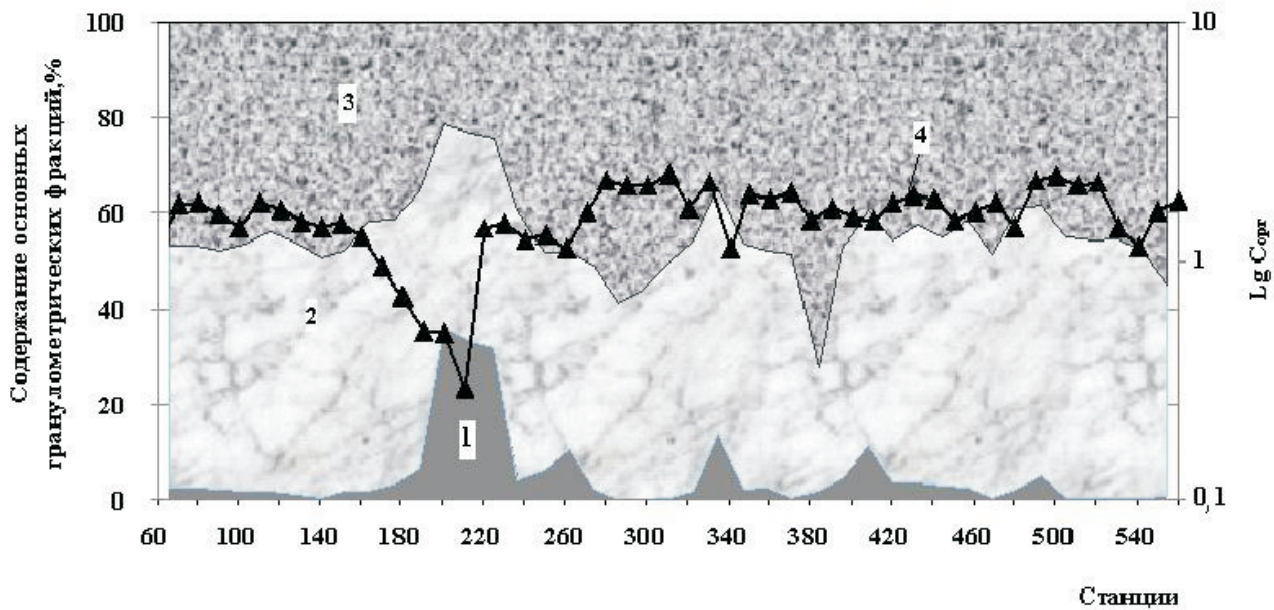


Рис. 4. Схема гранулометрического состава осадков и распределение $C_{орг}$ (логарифмическая шкала): 1 – псаммит; 2 – алеврит; 3 – пелит; 4 – $C_{орг}$.

конакопления складываются в северной части профиля, на границе континентального шельфа, которая контролируется субширотным Менделеевско – Беринговским разломом. Отношение Mn/Fe здесь достигает максимального значения – 0.159, что характерно для пелагических аквагенных глин. По литературным данным (Кабаньков и др., 2008; Петрова и др., 2010), донные отложения южной части поднятия Менделеева представлены глубоко преобразованными древними осадочными породами. Максимальный сдвиг отношения Mn/Fe может указывать на процессы накопления взвешенных форм Mn в придонных водах в результате его постепенного окисления: $Mn^{+2} + O_2 \rightarrow MnO_2$ (Юдович, 2001).

Величина отношения $(Mn+Fe)/Ti$ или титановый модуль считаются признаком гидротермального влияния на морские осадки. Значения Ti -модуля в осадках изменяются от 7 до 17, и более характерны для терригенных осадков, нежели для металлоносных (Страхов, 1976), но на станциях в северной части профиля отмечается увеличение этого коэффициента.

Отношение Al_2O_3/SiO_2 или алюмосиликатный модуль отражает степень разделения силикатов и алюмосиликатов в процессе постседиментационного преобразования, т.е. степень химической дифференциации осадочного материала. Наиболее значимым процессом, с точки зрения геохимической трансформации вещества является гидролиз, который, в свою очередь, определяется тектоническим режимом областей сноса и климатическими условиями (Русakov и др., 2010). Значения алюмосиликатного модуля увеличиваются в осадках северной

части профиля (от 0.11 до 0.27). При увеличении отношения Al_2O_3/SiO_2 увеличивается содержание металлов в осадке: Co, Ni, Cu, Zn, V (рис. 5).

По результатам химического анализа поверхностный слой осадков обогащен серебром в 1.5-2 раза по сравнению со средним содержанием в глинистых сланцах (Перельман, 1979). При этом, осадки с повышенными содержаниями серебра приурочены к активным неотектоническим структурам, где зафиксированы аномальные содержания метана (рис. 6). Эти осадки характеризуются достаточно высокими концентрациями $C_{орг}$, и выявлена положительная корреляция между содержанием Ag и $C_{орг}$. Очевидно, возникающие в районах метановых аномалий специфические физико-химические условия благоприятствуют накоплению серебра. Важным фактором, способствующим концентрированию серебра в осадках являются и биохимические процессы (Варшал и др., 1994), также активизирующиеся в местах выходов метана (рис. 6).

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований в Восточно-Сибирском море установлено, что имеются предпосылки для обнаружения нефтегазовых залежей, при этом возможен вклад глубинного вещества. Миграционный приток термогенных газов в верхнюю часть разреза создает благоприятные условия для использования газогеохимических полей при поисках залежей углеводородов на шельфе Восточно-Сибирского моря.

Поверхностные осадки на отработанном профиле можно разделить на типично терригенные

ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ

Таблица 3. Общий химический состав осадков по профилю в Восточно-Сибирском море.

Элемент	Номер станции																											
	70	90	100	110	120	130	160	200	230	240	260	270	280	290	300	330	350	370	380	410	440	470	500	520	560			
	мас., %																											
SiO ₂	64.85	63.77	64.92	63.5	62.85	64.08	67.80	79.67	66.18	66.95	68.30	56.92	56.65	59.34	58.99	56.77	59.69	60.32	60.27	64.55	63.82	64.04	53.71	53.93	51.18			
TiO ₂	0.57	0.58	0.58	0.57	0.58	0.58	0.53	0.38	0.54	0.53	0.48	0.56	0.52	0.56	0.55	0.54	0.54	0.53	0.63	0.54	0.54	0.56	0.55	0.53	0.53			
Al ₂ O ₃	12.38	12.67	12.89	12.6	12.47	12.47	11.72	8.60	11.96	11.73	11.34	12.78	12.28	12.83	11.95	11.89	12.08	12.23	16.00	12.19	12.29	12.21	12.43	12.45	13.25			
Fe ₂ O ₃	4.97	5.31	5.41	5.31	5.58	5.20	4.54	2.32	4.95	4.43	4.44	6.56	6.25	6.44	5.97	7.37	6.30	6.57	6.45	5.01	5.37	5.42	6.66	6.51	6.77			
CaO	1.46	1.51	1.33	1.46	1.49	1.40	1.19	1.14	1.25	1.16	1.11	1.13	1.31	1.27	1.39	1.51	1.59	1.46	1.20	1.44	1.51	1.48	1.39	1.47	1.42			
MgO	2.12	2.17	2.12	2.18	2.15	2.15	1.71	0.90	1.83	1.85	1.71	2.50	2.57	2.58	2.43	2.60	2.48	2.31	2.14	2.08	2.20	2.21	3.08	2.97	3.12			
K ₂ O	2.17	2.21	2.24	2.15	2.19	2.19	2.06	1.68	2.13	2.13	2.16	2.36	2.30	2.31	2.18	2.21	2.18	2.62	3.20	2.64	2.65	2.63	2.95	2.92	3.13			
Na ₂ O	3.73	3.48	3.46	3.45	3.28	3.32	3.22	2.56	3.51	3.68	3.39	4.69	4.66	4.43	4.45	4.66	4.49	3.82	2.86	3.41	3.41	3.34	5.46	5.09	6.91			
MnO	0.037	0.038	0.038	0.37	0.037	0.035	0.032	0.021	0.033	0.030	0.029	0.036	0.035	0.037	0.036	0.050	0.038	0.043	0.076	0.035	0.037	0.040	0.345	0.933	0.417			
P ₂ O ₅	0.19	0.23	0.17	0.20	0.42	0.25	0.26	0.13	0.33	0.19	0.18	0.33	0.35	0.35	0.35	0.73	0.42	0.31	0.21	0.18	0.20	0.19	0.24	0.22	0.18			
C _{опр}	1.72	1.58	1.39	1.74	1.65	1.46	1.27	0.5	1.44	1.23	1.12	1.62	2.15	2.08	2.06	2.13	1.92	1.94	1.48	1.47	1.79	1.76	2.27	2.12	1.77			
	г/г																											
Cr	67.56	73.10	68.09	67.66	71.62	68.71	59.23	31.23	58.80	61.85	54.64	81.59	77.78	82.74	76.16	75.29	73.08	76.38	73.26	66.30	72.94	70.96	79.19	74.82	82.17			
V	125.9	146.6	136.3	142.7	145.0	140.5	121.2	59.8	130.1	136.1	122.6	188.9	179.8	183.9	173.5	189.0	175.3	177.2	157.8	159.8	173.3	165.2	215.8	214.2	276.8			
Co	8.42	9.95	9.18	8.71	8.95	8.82	8.09	4.81	8.17	7.74	7.37	9.37	9.14	9.58	9.26	10.7	9.91	10.6	13.26	9.81	10.62	11.81	25.55	29.36	34.02			
Ni	25.94	28.05	28.50	27.82	27.96	27.87	30.96	11.59	27.45	26.52	22.29	30.91	29.08	29.98	28.93	29.23	29.39	39.88	45.96	38.48	35.41	46.60	45.02	49.17	67.11			
Cu	13.50	16.71	16.54	15.94	16.89	15.43	13.34	7.23	14.64	14.79	13.19	18.87	20.07	18.48	18.42	18.52	17.89	20.51	467.8	18.71	17.50	16.77	21.68	22.57	32.45			
Zn	90.60	88.44	100.7	99.20	102.5	97.30	79.9	37.70	96.00	84.80	84.50	108.9	106.3	111.9	107.8	113.6	106.3	127.4	173.4	103.0	112.7	112.5	146.8	160.0	185.9			
Ag	0.14	0.18	0.15	0.16	0.16	0.17	0.16	0.12	0.19	0.18	0.18	0.21	0.18	0.17	0.18	0.15	0.16	0.20	0.18	0.15	0.15	0.16	0.21	0.18	0.20			
Pb	12.72	18.73	15.25	14.51	14.74	14.54	12.86	9.64	13.37	13.79	13.25	17.48	16.47	16.23	16.7	17.57	16.8	19.12	19.91	15.42	16.57	15.34	18.81	18.45	19.78			

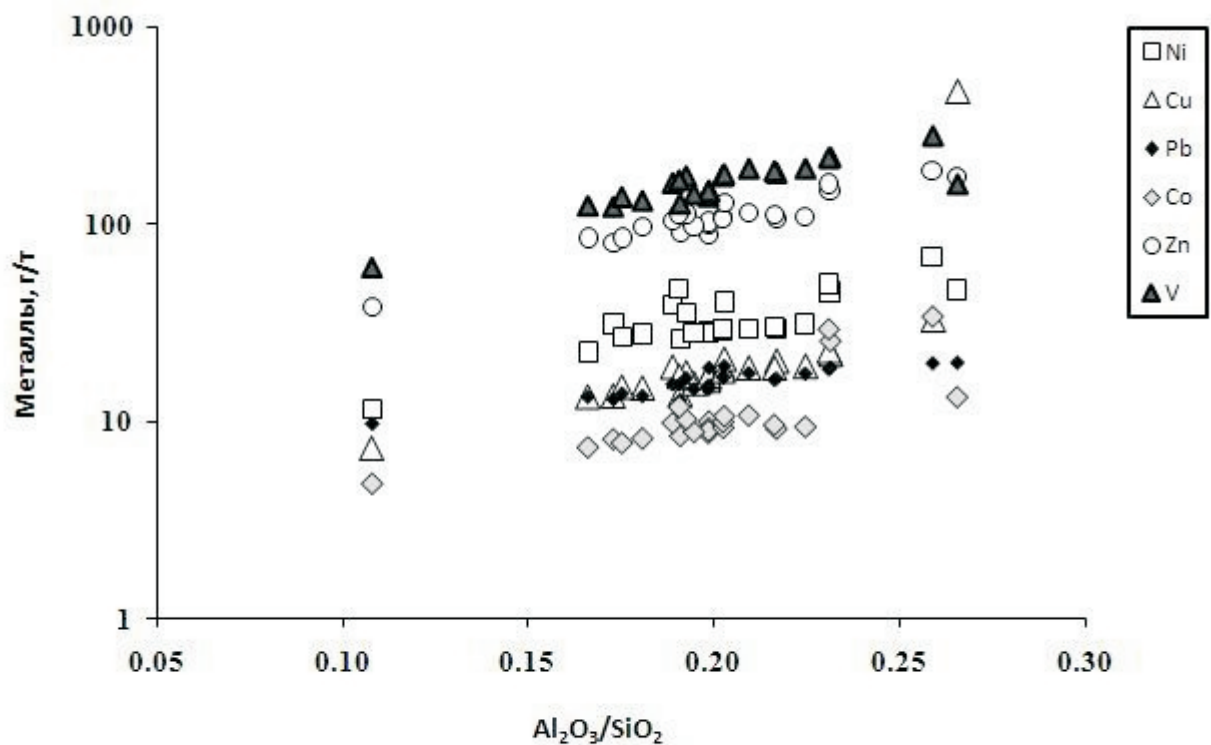


Рис. 5. Содержание некоторых металлов (логарифмическая шкала) в поверхностном слое осадков по профилю относительно алюмо-кремниевого модуля.

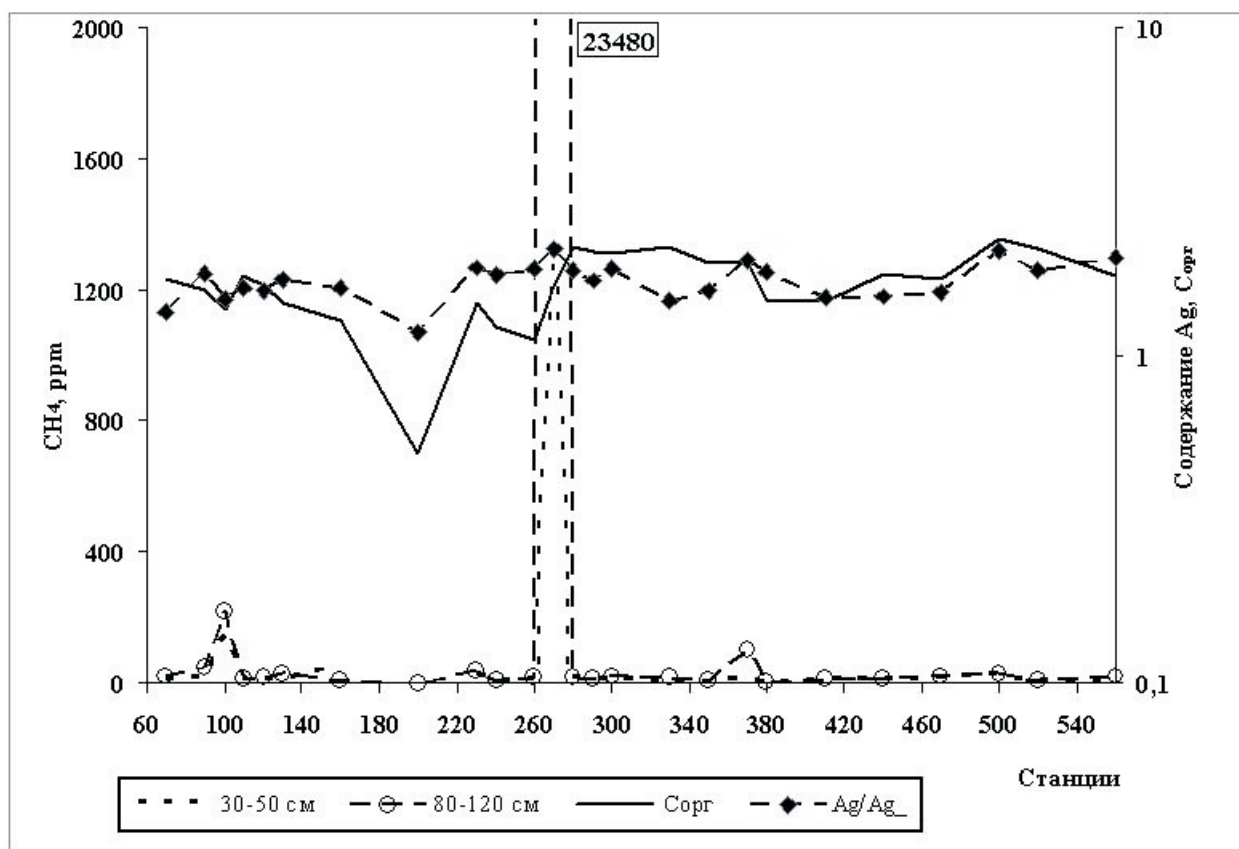


Рис. 6. Содержание Ag, C_{орг} (логарифмическая шкала) в поверхностном слое осадков и концентрации CH₄ на различных интервалах.

(южная и центральная часть профиля) и осадки глубоко преобразованные (континентальный склон и южная часть поднятия Менделеева). В зонах, которые контролируются неотектоническими разломами и характеризуются газовыми аномалиями, существуют разнообразные физико-химические условия осадконакопления, что способствует концентрированию ряда элементов поверхностном слое осадков: Mn, Cu, Ag.

Финансирование экспедиции осуществлено ФГУНПП «Севморгео». Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Соглашение 8319 «Нетрадиционные ресурсы метана Дальнего Востока России: распределение, генезис, промышленное значение, экология», а также в рамках ФЦП «Мировой Океан», гранта ДВО РАН (12-III-A-07-139) и гранта Президента РФ (МК-332.2011.5). Газохроматографические анализы выполнены при участии к.г.-м.н. Е.В. Коровицкой, к.г.-м.н. Н.Л. Пестриковой и н.с. О.С. Яновской (ТОИ ДВО РАН). Лаборатория газогеохимии ТОИ ДВО РАН имеет Свидетельство Росстандарта № 49 от 01 августа 2012 г. об оценке состояния измерений. Авторы выражают благодарность капитану дальнего плавания В.Н. Никифорову и команде НИС «Академик М.А. Лаврентьев» за неоценимое сотрудничество в проведении экспедиции. Авторы признательны рецензентам за конструктивные замечания.

Список литературы

- Бурлин Ю.К., Ступакова А.В.* Геологические предпосылки перспектив нефтегазоносности шельфа Российского сектора Северного Ледовитого океана // Геология нефти и газа. 2008. № 4. С. 13-23.
- Верба М.Л., Беляев И.В., Штыкова Н.Б.* Тектоническая карта Восточно-Сибирского моря // Разведка и охрана недр. 2011. № 10. С. 66-70
- Варшал Г.М., Велюханова Т.К., Баранова Н.Н. и др.* Комплексообразование серебра с гумусовыми кислотами и геохимическая роль этого процесса // Геохимия. 1994. № 8-9. С. 1287-1294.
- Виноградов А.П.* Введение в геохимию океана. М.: Наука, 1967. 212 с.
- Гресов А.И.* Газогеохимическая классификация углеводородных газов углефтегазоносных бассейнов востока России // Тихоокеанская геология. 2011. Т. 30. № 2. С. 87-103.
- Гресов А.И., Обжиров А.И., Шакиров Р.Б.* Метаноресурсная база угольных бассейнов Дальнего Востока России и перспективы ее промышленного освоения. Т.1. Углеметановые бассейны Приморья, Сахалина и Хабаровского края. Владивосток: Дальнаука, 2009. 246 с.
- Ершов В.В., Шакиров Р.Б., Обжиров А.И.* Изотопно-геохимические характеристики свободных газов Южно-Сахалинского грязевого вулкана и их связь с региональной сейсмичностью // ДАН. 2011.Т. 440. № 2. С. 256-261.
- Кабаньков В.Я., Андреева И.А., Крупская В.В. и др.* Новые данные о составе и происхождении донных осадков южной части поднятия Менделеева (Северный Ледовитый океан). // ДАН. 2008.Т. 419. № 5. С. 653-655.
- Конторович А.Э., Эпов М.И., Буриштейн Л.М. и др.* Геология, ресурсы углеводородов шельфов Арктических морей России и перспективы их освоения // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 1. С. 7-17.
- Мазарович А.О.* Строение дна Мирового океана и окраинных морей России: учебное пособие. Москва: ГЕОС, 2005. 95 с.
- Мальшев Н.А., Обметко В.В., Бородулин А.А.* Оценка перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов Восточной Арктики // Научно-технический вестник ОАО НК «Роснефть». 2010. № 1.С. 20-28.
- Неотектонические структуры и активные разломы шельфа // Геология и полезные ископаемые шельфов России. Атлас. М.: Научный мир, 2004. Лист 3-4.
- Новиков Ю.Н.* Сравнительный анализ структуры запасов УВ Северной Азии и Северной Америки как основа прогнозной оценки структуры ресурсов УВ сопредельных арктических и дальневосточных морей // Материалы Международной научно-практической конференции «Геологические проблемы развития углеводородной сырьевой базы Дальнего Востока и Сибири». СПб.: Недра, 2006 г. С. 89-106.
- Павлидис Ю.А., Щербаков Ф.А.* Современные донные осадки арктических морей Евразии // Океанология. 2000. Т. 40. № 1. С. 137-147.
- Перельман А.И.* Геохимия. М.: Высшая школа, 1979. 423 с.
- Петрова В.И., Батова Г.И., Куршева А.В. и др.* Геохимия органического вещества донных отложений Центрально-Арктических поднятий Северного Ледовитого океана // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 1. С. 113-125.
- Русаков В.Ю., Левитан М.А., Рощина И.А. и др.* Химический состав глубоководных верхнеплейстоцен-голоценовых осадков хребта Гаккеля (Северный Ледовитый океан) // Геохимия. 2010. № 10. С. 1062-1078.
- Страхов Н.М.* Проблемы геохимии современного литогенеза. М.: Наука, 1976. 289 с.
- Хаин В.Е., Полякова И.Д., Филатова Н.И.* Тектоника и нефтегазоносность восточной Арктики // Геология и геофизика. 2009а. Т. 50. № 4. С. 443-460.

- Хаин В.Е., Филатова Н.И., Полякова И.Д.* Тектоника, геодинамика и перспективы нефтегазоносности Восточно-Арктических морей и их континентального обрамления // Труды ГИН. Вып. 601. М.: Наука, 2009б. 227 с.
- Хахенберг Х., Шмидт А.* Газохроматографический анализ равновесной паровой фазы. М.: Мир, 1979. 160 с.
- Шакиров Р.Б., Обжиров А.И.* Морфотектонический контроль потоков метана в Охотском море // Подводные исследования и робототехника. 2009. № 1 (7). С. 31-39.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П.* Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 478 с.
- Юдович Я.Э.* Курс геохимии осадочных пород (избранные главы): учебное пособие. Сыктывкар: из-во Сыктывкарского университета, 2001. 284 с.

GASGEOCHEMICAL ANOMALIES IN THE SEDIMENTS OF EAST-SIBERIAN SEA

R.B. Shakirov, A.V. Sorochinskaya, A.I. Obzhirov

Ilichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok

The article presents the results from comprehensive study of sediments from East-Siberian Sea along the profile from Billings Cape to the Mendellev Ridge. The revealed methane anomalies in sediments up to 2.4% are controlled by neo-tectonic faults. Isotopic composition of C^{13} - CH_4 reveals influx of deep fluid. Study of sediment chemical composition allowed distinguishing zones in tectonic faults revealed by methane anomalies in sediments, where conditions are favourable for concentration of Mn, Cu, and Ag.

Keywords: East-Siberian Sea, methane, granulometry, element composition, organic carbon.