

Таблица 2

Содержание германия и скандия в углях и золах углей различных месторождений в Сурхандарьинском угольном бассейне (по данным автора)

Место-рождения	Марка угля	Зольность, %	Содержание, г/т			
			Ge		Sc	
			уголь	зола	уголь	зола
Шаргунь	СС, ССКОМ	28,0	16,5	21,0	14,2	25,4
Бойсун	Т	18,8	5,7	8,9	8,5	24,8
Кугитанг	ПА, А, Т	5,0	4,2	5,2	1,0	2,3
Санжар	Т	17,5	8,3	10,6	15,0	19,1
Хауз	Т, К	22,3	11,2	15,8	22,3	24,8
Среднее		18,3	9,3	12,3	12,2	19,28

выявление здесь комплексных редкометалльных руд в углях.

Зачастую аномальные концентрации золота отмечаются в углях и золах углей обогащенных германием и скандием, что позволяет сделать оптимистичный прогноз на использование зол углей отдельных месторождений в качестве кондиционных комплексных руд.

Выводы

Рассмотрение углей не только в качестве энергетического сырья, но и как источника ценных элементов-примесей может позволить существенно повысить рентабельность производства энергии, частично решить проблему утилизации золошлаковых отходов. Отходы добычи и переработки углей, представляющие экологическую опасность, нередко наряду с комплексом токсичных веществ могут содержать в себе и ценные элементы-примеси. Объектом комплексного освоения могут являться угли и отходы их переработки, которые характеризуются высокими содержаниями элементов примесей, достигающими возможно промышленно значимых концентраций.

Распределение элементов-примесей в колонках угольных пластов, вертикальном угленосном разрезе и по латерали в пределах угольных бассейнов и месторождений Республики Узбекистан неравномерно. Вариации содержания весьма значительны и изменяются от ниже кларковых до возможно промышленно значимых.

Анализ проведенных исследований позволяет сделать вывод о том, что угли Республики Узбекистан, сформировавшиеся в нестабильных тектонических условиях, характеризующиеся преимущественно малой мощностью угольных пластов и часто высокой степенью углефикации, содержат в себе ценные, в том числе редкие металлы, нередко достигающие промышленно значимых концентраций, и могут рассматриваться в качестве объектов комплексного освоения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крапивенцева, В.В. Металлоносность углей Приамурья / В.В. Крапивенцева // Тихоокеанская геология. — 2005. — Т. 24. — № 1. — С. 73–84.

2. Крапивенцева, В.В. Благородные металлы и редкие элементы в углях Хабаровского края / В.В. Крапивенцева // Материалы междунар. конф., г. Биробиджан. — 2005. — С. 185–189.

3. Кузьминых, В.М. Миграция и накопление золота при гипергенных процессах / В.М. Кузьминых, А.П. Сорокин // Вестник ДВО РАН — 2004. — № 2.

4. Кулибин, К.А. Драгоценные металлы в каменном угле / К.А. Кулибин // Золото и платина. — 1908. — № 24. — С. 510–511.

5. Принципы и методика геохимических исследований при прогнозировании и поисках рудных месторождений. (Методические рекомендации) / Под ред.

А.А. Смыслова, В.А. Рудника, Н.М. Динкова, А.И. Понайотова. — Л.: Недра, 1979. — 247 с..

6. Седых, А.К. Металлоносные угли Приморья / А.К. Седых // Проблема освоения георесурсов Российского Дальнего Востока и стран АТР: Материалы первой междунар. конф. — Владивосток, 2001.

7. Середин, В.В. Генетические типы благороднометалльного оруднения в угленосных впадинах / В.В. Середин // Материалы междунар. конф., г. Биробиджан, 2005. — С. 181–185.

8. Ценные и токсичные элементы в товарных углях России: Справочник. — М.: Недра, 1996.

9. Шахов, Ф.Н. К геохимии углей Кузнецкого бассейна / Ф.Н. Шахов, М.Э. Эффенди // Докл. АН СССР. — 1946. — Т. LI. — № 2. — С. 135–136.

10. Ketris, M.P. Estimations of Clarkes for carbonaceous biolithes: world average for trace element contents in black shales and coals / M.P. Ketris, Ya.E. Yudovich // International Journal of Coal Geology. — 2009. — V.78. — P. 135–148.

11. Seredin, V.V. Metalliferous coals: A review of the main genetic and geochemical types / V.V. Seredin, R.B. Finkelman // Int. J. of Coal Geol. — 2008. — V. 76. I. 4. — P. 253–289. doi: 10.1016/j.coal.2008.07.016

12. Seredin, V.V. Chekryzhov Coal deposits as promising sources of rare metals for alternative power and energy-efficient technologies / V.V. Seredin, S. Dai, Y. Sun, I. Yu // Applied Geochemistry. — 2013. — V. 31. — P. 1–11. doi: 10.1016/j.apgeochem.2013.01.009

© Омонов Х.А., 2021

Омонов Хайитбай Ахмадалиевич // omonov.1979@list.ru

УДК 553.98:550.84

Гресов А.И., Яцук А.В., Окулов А.К. (ТОИ ДВО РАН)

ГАЗМАТЕРИНСКИЕ ИСТОЧНИКИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВНЕШНЕГО ШЕЛЬФА ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ И КОТЛОВИНЫ ПОДВОДНИКОВ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

В настоящей работе представлены данные о составе, генезисе углеводородных газов и углеводородонасыщенности донных отложений внешнего шельфа Восточно-Сибирского моря и котловины Подводников Северного Ледовитого океана. В процессе исследований опреде-

лены изотопно-газогеохимические показатели, значения которых указывают на доминирование в донных осадках эпигенетических (миграционных) газов различных газоматеринских источников. Установлено, что показатели изотопного состава углерода метана и этана, молекулярной массы и газогеохимических коэффициентов углеводородных газов, изученных донных отложений, достаточно близки по значениям к углеводородным газам углегазоносных формаций, магматических образований, твердых битумов, конденсатногазовых, газоконденсатных, нефтегазовых, газонефтяных, нефтяных скоплений и залежей углефтегазоносных осадочных бассейнов Востока России. На основании полученных данных выполнена оценка перспектив нефтегазоносности района исследований. **Ключевые слова:** донные отложения, углеводородные газы, изотопно-газогеохимические показатели, генезис, Восточно-Сибирское море, перспективы нефтегазоносности, Северный Ледовитый океан.

Gresov A.I., Yatsuk A.V., Okulov A.K. (V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences)

GAS SOURCES OF HYDROCARBON GASES OF BOTTOM SEDIMENTS IN THE OUTER SHELF OF THE EAST SIBERIAN SEA AND PODVODNIKOV BASIN OF THE ARCTIC OCEAN

*Data on the composition, genesis of hydrocarbon gases and hydrocarbon saturation of bottom sediments on the outer shelf of the East Siberian Sea and Podvodnikov Basin of Arctic Ocean are presented. Isotope-gas-geochemical indicators have been determined, the values of which indicate the dominance of epigenetic (migratory) gases from various gas sources in bottom sediments. It has been established that the indicators of the isotopic composition carbon of methane and ethane, molecular weight and gas-geochemical coefficients of hydrocarbon gases of the studied bottom sediments are close in values to hydrocarbon gases of coal-gas-bearing formations, magmatic formations, solid bitumen, condensate-gas, gas-condensate, oil and gas, gas-oil, oil accumulations and coal-oil reservoirs East of Russia. Based on the data obtained, an assessment of the prospects for the oil and gas content of the study area was made. **Keywords:** bottom sediments, hydrocarbon gases, isotope-gas-geochemical indicators, genesis, oil and gas potential, East Siberian Sea, Arctic Ocean.*

Восточно-Сибирское море (ВСМ) является самым слабоизученным из морей Арктики России. Среди Восточноарктических морей ВСМ является самым мелководным и труднодоступным — основная часть моря, представленная внутренним шельфом с глубинами моря менее 50 м, освобождается от ледового покрытия в пределах прибрежной акватории в течение двух-трех месяцев. Акватория района исследований — внешнего шельфа ВСМ и котловины Подводников Северного Ледовитого океана (СЛО) практически круглогодично покрыта ледовым покровом, и толь-

ко эпизодически доступна для проведения научных и разведочных работ, в процессе которых установлены геолого-структурные и прямые газогеохимические признаки нефтегазоносности [2].

Согласно существующим представлениям о наличии фильтрационно-диффузионного массопереноса углеводородных газов (УВГ) и миграции их по зонам тектонических нарушений из подстилающих залежей в перекрывающие их отложения [11], углеводородонасыщенность и изотопно-газогеохимические показатели донных осадков являются прямыми индикаторами нефтегазоносности недр.

Целью настоящей работы являлось изучение состава и генезиса углеводородных газов (УВГ) различных газоматеринских источников и особенностей распределения углеводородонасыщенности отложений внешнего шельфа ВСМ, континентального склона и котловины Подводников. Прикладная задача заключалась в оценке информативности прямого газогеохимического метода поиска скоплений и залежей углеводородов и перспектив нефтегазоносности района исследований. Актуальность работы обусловлена не только слабой изученностью района, но и приоритетом научных исследований и разведочных работ в Арктической зоне Российской Федерации.

Краткий геологический очерк

Рельеф дна района исследований однообразен и представлен субгоризонтальной и сменяющей ее наклонной равниной, осложненной выступами о-вов Жаннетта и Генриетта. Однообразие равнины нарушается поднятием Де-Лонга и сетью подводных долин, преимущественно параллельных между собой. Глубины дна на внешнем шельфе медленно увеличиваются от 50 м до 200–300 м на бровке шельфа, которая ясно выражена на поперечных к ней газогеохимических профилях I–I, II–II и 5AP (рис. 1) в пределах отчетливого возрастания глубин моря (изобат –100...–300 м) в сторону глубоководного бассейна. Континентальный склон ниже бровки шельфа имеет сравнительно небольшой уклон до 0,01–0,02. Максимальные уклоны начинаются с отметок 500–600 м, достигая значений 0,05–0,07 (3–4°). В нижней части уступа его поперечный профиль приобретает вогнутый характер и далее с глубиной выполаживается. В котловине Подводников отметки глубин моря превышают 2500 м (станция 27). Верхняя терраса и подножье котловины трассируется на газогеохимических профилях I–I и II–II на глубинах 1200–2000 и 2100–2400 м [2, 6, 7].

Современная тектоническая структура района исследований представлена тремя прогибами — Вилькицкого, Северо-Чукотским и Новосибирским (рис. 1). В пределах прогибов сформировались два крупных окраинно-шельфовых осадочных бассейна — Предвосточносибирский и Северо-Чукотский, и внутришельфовый — Новосибирский. Осадочные бассейны разделены между собой Северной структурной террасой, поднятием Лонга и Кучерова. Важным структурно-тектоническим элементом, объединяю-

шим прогибы Вилькицкого и Северо-Чукотский, является Ломоносово-Менделеевская флексуо-разломная зона. В Новосибирском прогибе аналогичным элементом является одноименная разломная зона, осложненная оперяющими ее нарушениями [2, 6, 7].

Установлено, что все структурные зоны района исследований характеризуются блоковым строением земной коры и ограничены крутопадающими сбросами. Амплитуда смещения по сбросам достигает 2 км. Следует отметить, что ведущим процессом формирования структур являлся процесс рифтогенеза. Время наибольшей активности этого процесса относится к раннемеловой эпохе и прежде всего к апту–альбу. Начальная стадия рифтогенеза проявилась в наиболее глубоко погруженных структурах котловины Подводников, постепенно разрастаясь и вовлекая в проседа-

ние зоны обрамления (Предменделеевская структурная ступень). В кайнозое происходит резкое ослабление рифтогенного процесса [2, 7].

В связи с отсутствием глубоких скважин, информация о геологическом строении района исследований базируется на материалах сейсморазведочных работ ОАО «МАГЭ» и «Севморгео» [6, 7], а также — сейсморазведочных работ и бурения глубоких скважин в американском секторе Чукотского моря [15]. Важным источником являлись данные геологического картирования островной и океанической серий [2]. Сведения о верхней части разреза получены при изучении керны осадков гидростатических труб.

Допалеозойские образования представлены верхней мантией, базитовым слоем нижней коры и диоритовым слоем верхней коры. Глубина залегания мантии в восточной части района исследований со-

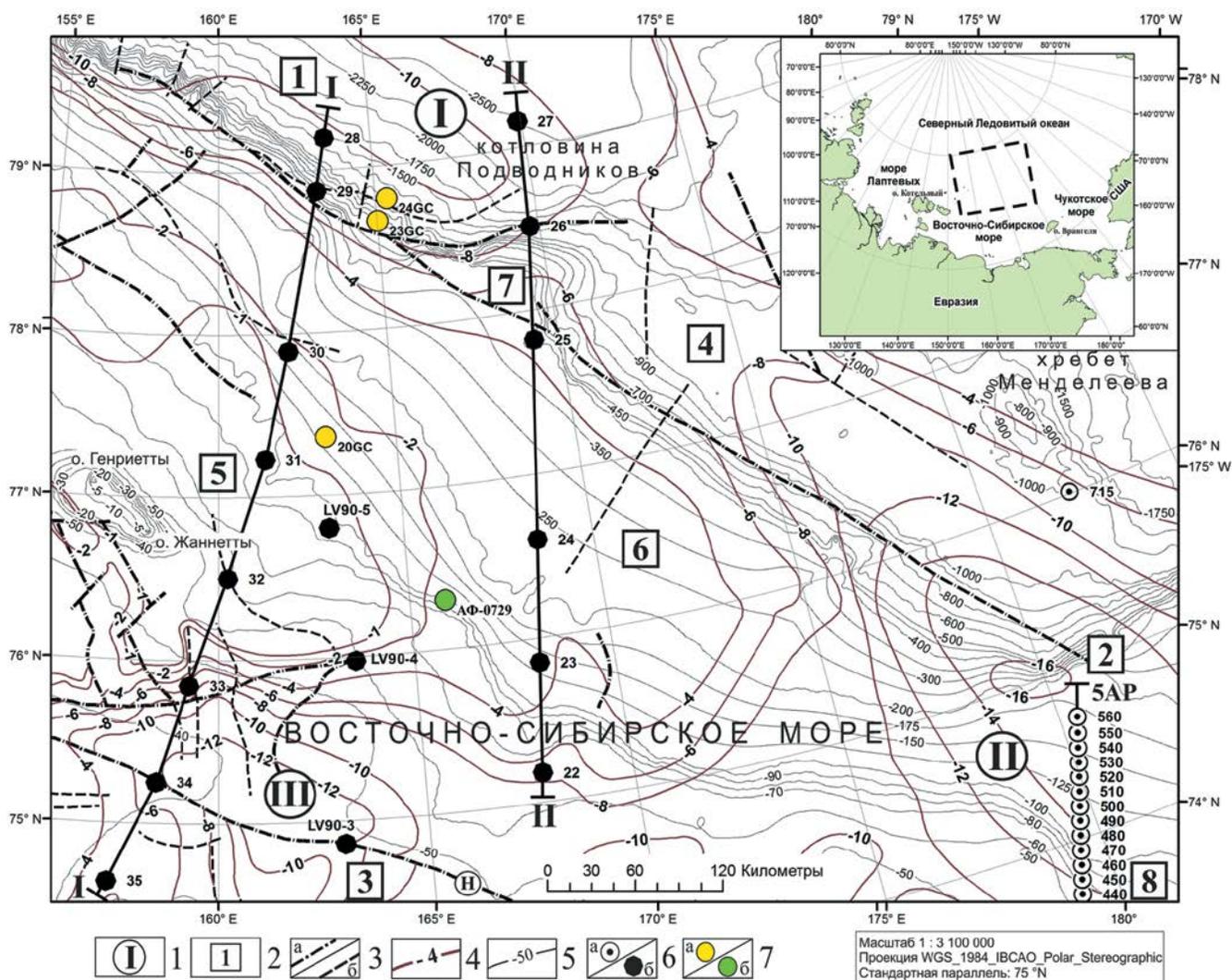


Рис 1. Структурно-тектоническая карта [2] и схема газогеохимического опробования района исследований: 1 — осадочные бассейны: I — Предвосточносибирский, II — Северо-Чукотский, III — Новосибирский; 2 — геоструктуры: 1 — прогиб Вилькицкого, 2 — Северо-Чукотский прогиб, 3 — Новосибирский прогиб, 4 — поднятие Кучерова, 5 — поднятие Лонга, 6 — Северная структурная терраса, 7 — Ломоносово-Менделеевская флексуо-разломная зона, 8 — Колючинский грабен-рифт; 3 — тектонические нарушения (Н — Новосибирский разлом): а — установленные, б — предполагаемые; 4 — изолинии мощности осадочного чехла, км; 5 — изобаты, м. Донные станции и их номера: 6 — газогеохимического опробования экспедиций: LV-45 (а), LV-77, LV-90 (б); 7 — датирования возраста осадков, а — [14], б — [5]. На врезке — местоположение района исследований

ставляет 29–30 км, базитового и диоритового слоев — 17–20 и 13–17 км. Архей-протерозойский гранитно-метаморфический слой верхней коры в районе исследований (станции 430–560, рис. 1, 2) отсутствует [7]. В западной части района исследований архей-протерозойские породы наиболее близко подходят к поверхности на поднятии Лонга и о-вов Генриетта и Жаннетта [2].

В вышезалегающих палеозойских, мезозойских и кайнозойских образованиях, по аналогии с американской частью Чукотского моря и Северной Аляски, выделяются пять структурно-стратиграфических сейсмокомплексов, разделенных между собой поверхностями региональных несогласий:

нижнеэлсмирский (девон–нижнепермский), верхнеэлсмирский (верхнепермско-триас-нижнеюрский), рифтовый (верхнеюрско-барремский), нижнебрукский и верхнебрукский (апт-верхнемеловой и кайнозойский комплекс, рис. 2). Указанные комплексы идентифицируются в американской акватории Чукотского моря (ЧМ) данными бурения скважин [15] и прослеживаются к западу в российском секторе ЧМ и ВСМ [2, 10], что дает основание полагать о синхронности развития и сходстве строения этих площадей и района исследований.

Четвертичные отложения, занимающие верхнюю часть кайнозойского разреза, представлены осадками плейстоцена и голоцена и содержат разнообразные литологические разности от гравия до пелита, образованные в процессе длительного трансгрессивно-регрессивного периода плиоцена и раннего неоплейстоцена. Общая мощность четвертичных осадков не превышает 200 м [2].

Возраст позднеплейстоценовых осадков поднятия Лонга (станция 20GC, рис. 1) по данным [14] составляет в сегменте керна 54–60 см — 12,04 тыс. лет, 72–81 см — 12,52–13,21 тыс. лет, Северной структурной террасы (станция АФ-07-29, в сегменте 47–52 см) — 181 тыс. лет [5]. В пределах Предвосточносибирского осадочного бассейна возраст раковин в пелитовых осадках станций 23GC и 24GC (глубина моря 508 и 964 м, мощность керна 406 и 405 см) в интервалах керна 176–178 и 190–192 см составляет 37,0 и 46,3 тыс. лет [14]. Залегающие вышеуказанных интервалов осадки станций относятся к голоценовому периоду времени.

Интрузивные образования района исследований представлены силлами и дайками диоритов и долеритов, залегающими в туфо-аргиллитовой, туфо-гравелито-песчаниковой и базальтовой толщах островного

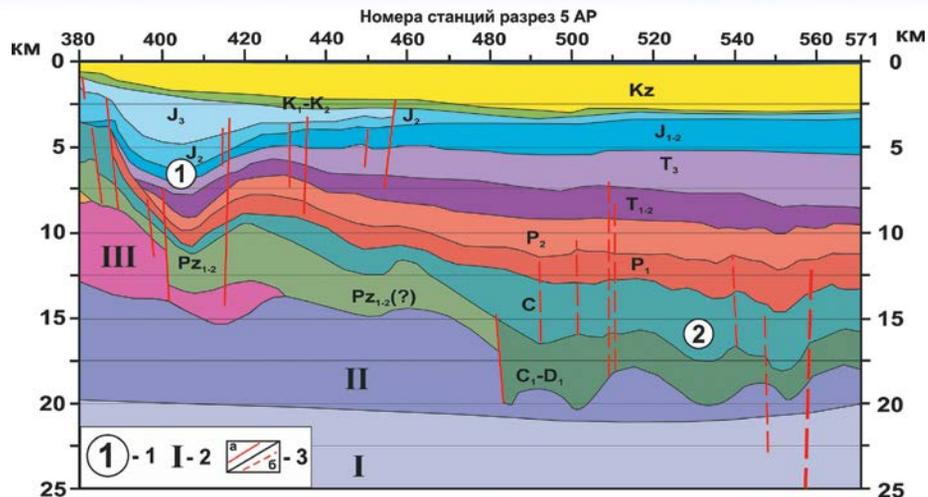


Рис. 2. Схематический сейсмогеологический разрез восточной части внешнего шельфа ВСМ по профилю 5-AP [7]: 1 — геоструктуры: 1 — Колучинский грабен-рифт, 2 — Северо-Чукотский прогиб; 2 — допалеозойские образования: I — базитовый слой нижней коры, II — диоритовый слой верхней коры, III — архей-верхнепротерозойский гранитно-метаморфический слой верхней коры; 3 — тектонические нарушения: а — установленные, б — предполагаемые

архипелага Де Лонга. В последней толще доминируют базальты апт-альбского возраста, установленные на поднятии Лонга. Помимо апт-альбских установлены и миоценовые базальты, образующие два небольших покрова в северо-западной части Ломоносово-Менделеевской зоны [2].

Методика работ

Опробование донных осадков осуществлялось гидростатическими трубками большого диаметра в процессе экспедиционных работ НИС «Академик М.А. Лаврентьев» на 32 донных станциях трех меридиональных профилей рейсов LV-45 (профиль 5AP, 2008 г.), LV-77 (I-I, II-II, 2016) и LV-90 (станции 3, 4, 5 — 2020) на глубинах моря 45–2565 м и опробования 0,45–5,25 м (рис. 1). В результате опробования из керна осадков отобрано 70 герметических сосудов и 176 проб газа, извлеченных на разных стадиях дегазации. Анализ состава газов донных осадков осуществлялся в лаборатории газогеохимии ТОИ ДВО РАН на хроматографах «Газохром 2000» и «КристалЛюкс-4000М». Методика определения состава газа осадков и их газонасыщенности соответствовала действующему нормативному руководству [12].

Изотопные исследования углерода $\delta^{13} \text{C}_{\text{H}_4}$, C_2H_6 были выполнены в лабораториях стабильных изотопов ДВГИ ДВО РАН, ВСЕГИИ и Университета Хоккайдо на масс-спектрометрах Finnigan MAT-252, Deltaplus XL, GC Combustion III по аттестованным и оптимизированным для выполненных исследований методикам.

В процессе интерпретации результатов газогеохимических исследований значения показателей молекулярной массы углеводородной фракции ($M_{\text{УВ}}$), весовых концентраций УВ в долях на 1000, коэффициента «влажности» ($K_{\text{вл}}$) и данные изотопных анализов использовались как индикаторы генезиса УВГ

различных газоматеринских источников [3, 4, 13]. Значения Квл рассчитаны по формуле Абрамса [13]: $K_{вл} = \frac{\sum C_2 - C_5}{\sum C_1 - C_5} \div 100\%$, где $C_1 - C_5$ — весовые концентрации УВГ в долях на 1000.

Исследования водно-физических свойств осадков выполнены в лаборатории геохимии осадочных процессов ТОИ ДВО РАН. Определение плотности и влажности проводилось методом режущего кольца термостатно-весовым способом. Изучение гранулометрического состава осадков осуществлялось методом лазерной дифрактометрии с использованием лазерного анализатора размера частиц Analyzette 22 NanoTec (Fritsch).

Изучение органического вещества (ОВ) осадков осуществлялось в лаборатории аналитической химии ДВГИ ДВО РАН. Общий органический и неорганический углерод определялся методом ИК-детектирования на анализаторе TOC-V (Shimadzu) по аттестованному и оптимизированному для выполненных исследований методикам.

Статистическая обработка результатов выполнена с использованием программного пакета «STATISTICA» 10.0.

Результаты и обсуждение

Литологический и минералогический состав осадков. В процессе исследований установлено, что позднелейстоценовые и голоценовые отложения характеризуются преобладанием алевритовой фракции в пределах поднятия Лонга, Северо-Чукотского и Новосибирского осадочных бассейнов (в среднем 50,2–55,4 %). В осадках Предвосточносибирского бассейна и Северной структурной террасы наблюдается преобладание пелитовой фракции (50,3–53,8 %). Содержание псаммитовой фракции в осадках района исследований не превышает 10 %, в среднем составляя на поднятии Лонга и Новосибирском бассейне 1,8–2,6 %, на остальной площади — 0,1–0,3 %. Каменный материал представлен незначительным количеством гравия и гальки в пределах (0,1–1,0 %) и повторяет характер распределения содержаний псаммитовой фракции.

Значительное содержание пелитовой фракции в осадках района исследований определяется подледно-морскими условиями седиментации, морфологией дна и особенностями гидродинамического режима в северо-западной части ВСМ и СЛО [2].

Основным источником поступления терригенного материала в район исследований является размыв отложений поднятия Лонга течениями. Эоловый снос не играет существенной роли в поставке осадочного материала по причине почти круглогодичного ледового покрова. Волновая абразия дна имеет значение для небольшого участка на юго-западе с глубинами до 50 м. Волновая и термоабразия берегов островов Генриетта, Жаннетта и Врангеля, а также речной сток р. Индигирка сказывается только на осадках южного и юго-западного районов до изобат –50...–100 м.

При существующем объеме геологических данных не удается уверенно выявить соотношение денуда-

ционных и аккумулятивных составляющих гравитационных процессов на внешнем шельфе и континентальном склоне района исследований. В ходе их развития их соотношение существенно менялось в зависимости от исторического положения береговой линии. На побережье ВСМ фиксируются позднелийстоценовая, средне-позднелийстоценовая и голоценовая трансгрессии и разделяющие их регрессии. В регрессивные этапы, когда она располагалась ближе к бровке шельфа, возрастал объем осадочного материала, вовлеченного в мутьевые потоки, увеличивалась и их эродирующая способность. Важно отметить, что в течение кайнозойского периода произошли основные климатические изменения от теплого и влажного климата в палеоцене–эоцене к умеренному в олигоцене–миоцене и суровому арктическому в четвертичном периоде [2].

Основная часть поднятия Лонга и Северной структурной террасы покрыта восстановленными серыми, темно-серыми или черными алевропелитовыми осадками. Здесь же в осадках отмечен запах сероводорода и уплотненные комки осадков черного цвета с аморфными сульфидами железа (гидротроилита). Окисленные светло-коричневые, коричневые, бурые и зеленоватые пелитовые отложения, характерные для всей глубоководной части СЛО, появляются лишь на бровке шельфа, континентальном склоне и котловине Подводников, в керне осадков которых установлено от трех до девяти пачек разноокрашенных разновидностей и до четырех перерывов осадконакопления. В керне донных станций в ряде случаев наблюдаются явные признаки переотложения осадков в верхней части разреза.

Тяжелая минералогическая фракция осадков района исследований характеризуется мезомиктовыми ассоциациями. Состав ее не отличается большим разнообразием: в пробах насчитывается от 18 до 21 минеральных групп. Преобладающими являются четыре группы: пироксенов, амфиболов, эпидота-цоизита и черных рудных, в сумме дающих 55–70 % терригенной составляющей тяжелой фракции. Остальные минеральные комплексы имеют подчиненное значение и встречаются, как правило, в количествах не превышающих 10, а чаще 5 %.

Аутигенные минералы представлены в основном гидроокислами железа. Железо поступало с материковой части островных архипелагов подводных банок в растворенном виде и, вероятно, выпадало из раствора в зоне проникавших более теплых атлантических и тихоокеанских вод. При смене окислительного сингенеза восстановительным диагенезом, происходившего по мере исчезновения свободного O_2 и появлении CO_2 и H_2S , в осадке формировались аутигенные закисные соединения железа в виде пелитоморфных Fe-карбонатных агрегатов [2].

Водно-физические свойства. В процессе исследований установлено, что средние значения влажности осадков закономерно возрастают от 23,5 до 33,1 % в направлении «шельф–пелагиаль». Средняя влажность

осадков Новосибирского бассейна и поднятия Лонга составляет 23,5–28,7 %, Северной структурной террасы и Предвосточносибирского осадочного бассейна — 32,9–33,1 %. Значения естественной влажности осадков характеризуются обратной корреляционной связью с содержаниями $C_{\text{карб}}$ (–0,63), псаммитовой фракции (–0,71) и значениями плотности осадков (–0,73).

Средние значения естественной плотности донных отложений поднятия Лонга составляет 1,80 г/см³, Северной террасы и Предвосточносибирского бассейна — 1,70 и 1,72, Новосибирского бассейна — 1,52 г/см³. Показатели плотности связаны высокой прямой корреляционной связью с содержанием псаммитовой фракции (0,70) и высокой обратной — с влажностью осадков (–0,92).

Органическая насыщенность. Основными источниками ОВ в ВСМ по данным [1] являются первичная фотосинтетическая продукция — 15 млн т $C_{\text{орг}}$ /год, продукты волновой абразии и термоабразии берегов — 2,2, речной сток — 1,9, эоловые поступления — 0,16 и подземный сток — 0,1 млн т $C_{\text{орг}}$ /год. При этом, в донных осадках соотношение аллохтонного и автохтонного ОВ существенно отличается от соотношения, поступающего в море ОВ вследствие различной устойчивости к разложению свежего морского ОВ и терригенного ОВ, потерявшего часть лабильных соединений, представленного более устойчивыми его компонентами.

Максимальными содержаниями $C_{\text{орг}}$ характеризуются осадки Новосибирского и Северо-Чукотского бассейнов — 0,6–1,7 %, минимальными — Предвосточносибирского (котловины Подводников) — 0,2–0,5 %, промежуточными показателями — поднятия Лонга и Северной структурной террасы — 0,6–1,2 %. Содержание $C_{\text{орг}}$ в осадках связано обратной корреляционной связью с глубинами моря опробования (–0,63...–0,69), что соответствует общей региональной закономерности уменьшения в осадках содержания органического углерода в направлении «шельф–пелагиаль».

Донные осадки района исследований представлены бескарбонатными ($C_{\text{карб}}$ — 0,03–0,09 %) и слабокарбонатными разновидностями ($C_{\text{карб}}$ — 0,10–0,16 %). При этом долевое отношение $C_{\text{карб}}$ в общем углеродном балансе осадков поднятия Лонга и Предвосточносибирского бассейна в среднем составляет 10 и 15 %, Новосибирского, Северо-Чукотского бассейнов и Северной террасы — 5 и 6 %.

Содержание $C_{\text{карб}}$ осадков характеризуется прямой корреляционной связью с содержаниями алевритовой фракции (0,54), обратной — с влажностью осадков и показателями пелитовой фракции (–0,61). Различия условий накопления в осадках $C_{\text{орг}}$ и $C_{\text{карб}}$ выражаются в слабой взаимной прямой корреляционной связи (–0,29).

Максимальной органической насыщенностью подстилающих донные осадки отложений характеризуются угленосные формации. В балыктахской свите Анжуйского угольного бассейна (Новосибир-

ских о-вов) установлено до 9 пластов нижнемеловых каменных углей мощностью 1,2–25,0 м стадий катагенеза МК₁–МК₂ с содержанием $C_{\text{орг}}$ 84–89 %. В отложениях палеогена и неогена сосредоточены многочисленные пропластки и пласты бурых углей стадий катагенеза ПК₁–ПК₃ мощностью до 6–8 м и содержанием $C_{\text{орг}}$ 65–75 %. В верхней части разреза установлены пласты лигнитов мощностью до 2 м, содержание $C_{\text{орг}}$ в которых в среднем составляет 61 % [4]. На о-вах Врангеля, Котельном и Бельковском присутствуют многочисленные включения твердых битумов в карбонатах девона и триаса. Содержание битумоида находится в тесном соответствии с содержанием ОВ — от долей до первых единиц процента. В групповом составе битумов преобладают смолы, асфальтены и ароматические фракции [8].

Углеводородонасыщенность. В составе углеводородных газов (УВГ) донных отложений района исследований установлены метан, этан, пропан, бутан, пентан и их непредельные гомологи. Установлено, что формирование состава и концентраций углеводородных газов донных осадков района исследований подчиняется правилам аддитивности, т.е. последовательного накопления УВГ различного генезиса с преобладанием газовой фазы и газогеохимических показателей более газонасыщенного газоматеринского источника. Исходя из полученных значений $M_{\text{ув}}$, Квл, $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ и C_2H_6 и данных [3, 4], в изученных отложениях доминируют *эпигенетические* газы восьми генетических групп УВГ.

Идентифицировать *сингенетические* УВГ в изученных осадках достаточно сложно, вероятно, из-за незначительных объемов их образования в условиях отрицательных температур и процессов их смешивания с миграционными газами. Существенный объем сингенетических газов, вероятно, присутствует в газовой фазе донных отложений в пределах развития предполагаемых угольных залежей (Квл — 2,6 %, $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ и C_2H_6 : –60 и –31 ‰), в меньшей мере — в других генетических группах УВГ (таблица).

Концентрации *метана* в донных осадках *восточной части* района исследований изменяются в пределах 0,001–0,032 см³/кг. Максимальной метанонасыщенностью (0,016–0,032 см³/кг) характеризуются донные отложения северного крыла Колочинского грабен-рифта и южного крыла Северо-Чукотского осадочного бассейна в пределах развития предполагаемых углегазоносных залежей (рис. 3). Наличие пластов каменного угля в нижнемеловой толще подтверждается высокоамплитудными отражениями сейсмических волн и пластовыми скоростями до 3,4 км/с [6]. Миграции газов из угольных залежей благоприятствуют зоны тектонических нарушений, транзитно секущие и дегазирующие углегазоносные формации неокома. Повышенные значения метанонасыщенности (0,009–0,012 см³/кг) в центральной части осадочного бассейна обусловлены влиянием пликвативных допалеозойских и палеозойских дислокаций, осложненных крупными прифундаментными нарушениями и апофизами Ломоносово-

Средние значения геохимических показателей УВГ донных осадков района исследований

Генетическая группа, газоматеринский источник, (донные станции)	Весовые концентрации (в долях целого на 1000)					M _{УВ} г/моль	Геохимические показатели		
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅		1*	2**	3***
1. Угленосные формации (450, 490, 500)	974	9	7	6	4	16.31	2.6	-60.0	-31.0
2. Магматические образования (3)	920	36	27	17	0	16.80	8.0	н.о	н.о
3. Конденсатногазовые залежи (4, 22, 715)	892	38	24	45	1	17.16	10.8	-51.0	-26.4
4. Твердые битумы (5, 23, 460, 470)	847	54	24	63	12	17.70	15.3	-48.0	-25.1
5. Газоконденсатные залежи (440, 510, 520, 540)	818	34	26	73	49	18.20	18.2	-49.9	-21.1
6. Нефтегазовые залежи (24, 27, 31, 34, 35, 480, 530, 560)	663	122	113	83	19	20.09	33.7	-43.2	-21.4
7. Газонефтяные залежи (30, 32)	531	177	119	120	26	22.17	46.9	-42.8	-21.4
8. Нефтяные залежи (25, 26, 28, 29, 33, 550)	482	202	113	115	88	24.04	51.8	-38.4	-18.1

Примечание: * — Квл, %; ** — $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$, ‰; *** — $\delta^{13}\text{C}-\text{C}_2\text{H}_6$, ‰; н.о. — не определялся

Менделеевской флексуры-разломной зоны в пределах распространения предполагаемых нефтегазовых залежей (рис. 1, 2, 3).

Концентрации метана донных осадков поднятия Менделеева на глубинах моря 1050 м и опробования 2,0 м (станция 715, рис. 1) составляют 0,0012 см³/кг.

В *западном секторе* района исследований максимальной метанонасыщенностью 0,026–0,037 см³/кг характеризуются донные отложения Северной структурной террасы на участках распространения предполагаемых конденсатногазовых (0,037 см³/кг), нефтегазовых залежей (0,027) и твердых битумов (0,026 см³/кг). Минимальные концентрации метана (0,002–0,010, в среднем 0,005 см³/кг) установлены в осадках Предвосточносибирского осадочного бассейна (котловины Подводников) в пределах развития прогнозных нефтегазовых и нефтяных залежей (рис. 4). Аналогичными показателями (0,01–0,013, 0,007 см³/кг) характеризуются осадки поднятия Лонга в областях формирования предполагаемых битумных, конденсатногазовых, нефтегазовых, газонефтяных скоплений и залежей (рис. 5).

Концентрации метана в донных отложениях Новосибирского осадочного бассейна варьируют в пределах 0,006–0,016 см³/кг (рис. 5), в т.ч. в областях распространения предполагаемых магматических образований (станция 3 — 0,006 см³/кг), нефтегазовых (34, 35 — 0,015–0,016) и нефтяных залежей (33 — 0,008 см³/кг).

В процессе исследований установлено, что концентрации метана донных осадков района исследований связаны обратной корреляционной связью с показателями $\delta^{13}\text{C}-\text{C}_2\text{H}_6$, M_{УВ}, Квл (–0.65...–0.74). Важным обстоятельством является отсутствие связи между концентрациями метана в осадках и содержанием C_{орг} (–0.07). Данный факт косвенно подтверждает доминирование миграционных газов в осадках района исследований.

Концентрации *углеводородных газов* гомологического ряда (C₂–C₅) в донных осадках *восточной части* района исследова-

ний изменяются в пределах от 0,0001–0,0039, в среднем составляя 0,0008 см³/кг. Углеводородонасыщенность донных отложений Колючинского грабен-рифта варьирует в пределах 0,0002–0,0039, Северо-Чукотского осадочного бассейна — 0,0001–0,0024 см³/кг. Установлено, что характер распределения концентраций метана и суммы его гомологов в значительной мере совпадает (рис. 3). При этом, наложение аномальных пиков их концентраций указывает на их общие газоматеринские источники, расположенные в подстилающих геологических образованиях глубоких горизонтов, что подтверждается установленными в донных осадках показателями M_{УВ}, Квл, $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$, C₂H₆, характерными для угольных, конденсатногазовых, нефтегазовых, газонефтяных, нефтяных скоплений и залежей [3, 4].



Рис. 3. Изменчивость распределения газонасыщенности в восточном секторе района исследований по газогеохимическому профилю 5AP. Предполагаемые газоматеринские источники: 1 — углегазовые формации; 4 — твердые битумы; 5 — газоконденсатные; 6 — нефтегазовые; 8 — нефтяные скопления и залежи (таблица)



Рис. 4. Изменчивость распределения газонасыщенности донных отложений западного сектора района исследований по газогеохимическому профилю II-II. Предполагаемые газоматеринские источники: 3 — конденсатногазовые; 4 — битумные; 6 — нефтегазовые; 8 — нефтяные скопления и залежи

Углеводородонасыщенность донных осадков поднятия Менделеева (станция 715, рис. 1) в пределах зоны развития предполагаемых скоплений газа и конденсата в подстилающих геологических образованиях (таблица) составляет 0,0005 см³/кг.

В *западной части* района исследований углеводородонасыщенность осадков Северной структурной террасы составляет 0,0020–0,0043 см³/кг (рис. 4), в том числе в областях распространения прогнозных битумных и конденсатногазовых залежей — 0,0020 см³/кг и нефтегазовых — 0,0043, при среднеплощадном распределении ее в донных осадках — 0,0028 см³/кг. Аналогичные значения для донных отложений поднятия Лонга на участках развития предполагаемых битумов составляют 0,003 см³/кг, конденсатногазовых скоплений и залежей — 0,004, нефтегазовых — 0,0011 и газонефтяных — 0,0012–0,0042 (в среднем 0,0017 см³/кг).

В Новосибирском осадочном бассейне суммарные концентрации гомологов метана в донных отложениях изменяются в пределах 0,0002–0,0036 см³/кг, в том числе на участках развития предполагаемых магматических образований — 0,0023, нефтегазовых залежей — 0,0026–0,0033, нефтяных — 0,0036 (в среднем по бассейну — 0,0024 см³/кг). Аналогичные значения для донных осадков Предвосточносибирского бассейна в областях распространения прогнозных нефтегазовых и нефтяных залежей составляют 0,0014 и 0,0007–0,0054 см³/кг соответственно, в среднем по бассейну — 0,0022 см³/кг.

Установлено, что значения концентрации метана и суммы его гомологов связаны прямой корреляционной связью (0,70). Углеводородонасыщенность донных осадков

района исследований характеризуется обратной корреляционной связью с показателями плотности осадков и содержанием C_{карб} (–0,51...–0,73).

Перспективы нефтегазоносности

Осадочные бассейны и геоструктуры района исследований расположены в пределах Восточно-Арктической перспективной нефтегазоносной провинции, начальные ресурсы нефти которой составляют 6,0 млрд т, попутного газа — 18 млрд м³, свободного газа — 4,7 трлн м³ и конденсата — 17 млн т [9].

Исходя из полученных данных, к *высокоперспективным* нефтегазоносным площадям района

исследований относится юго-западная часть Предвосточносибирского окраинно-шельфового осадочного бассейна (центральная часть прогиба Вилькицкого) с мощностью осадков 6–10 км, а также — северная часть Северной структурной террасы (рис. 1, 4, 5). К этой же категории перспективности нефтегазоносности относится изученная площадь Новосибирского осадочного бассейна (Новосибирского прогиба) с мощностью осадков 6–12 км. Донные отложения этих площадей характеризуются максимальными среднеплощадными значениями показателей M_{УВ} и К_{вл} (более 23 г/моль и 50 %), а также «тяжелым» изотопным составом δ¹³C-CH₄ и C₂H₆ (менее –40 и –20 ‰). В целом установленные значения достаточно близки по изотопно-газогеохимическим показателям к нефтяным залежам Ленского и Сахалинского нефтегазоносных бассейнов [3]. Этой же категории нефтегазоперспективности соответствует центральная часть Северо-Чукотского осадочного бассейна (одноименной впадины) с мощностью

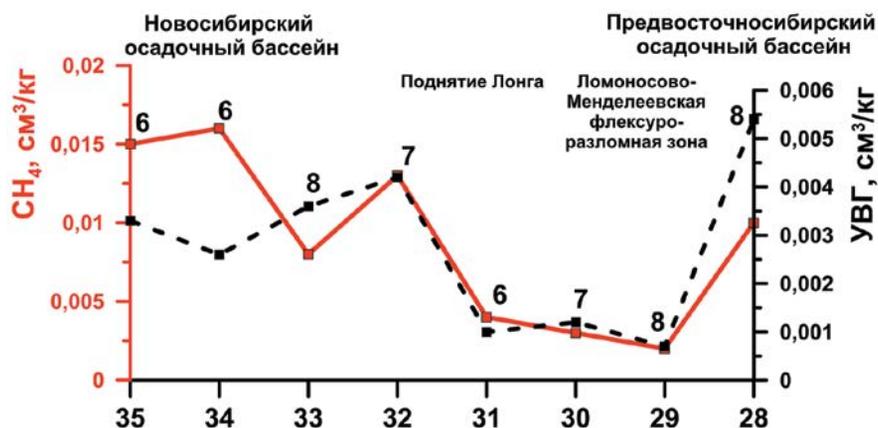


Рис. 5. Изменчивость распределения газонасыщенности донных отложений западного сектора района исследований по газогеохимическому профилю I-I. Предполагаемые газоматеринские источники: 2 — магматические образования; 3 — конденсатногазовые; 4 — битумные; 6 — нефтегазовые; 7 — газонефтяные; 8 — нефтяные скопления и залежи

осадочного чехла до 16–18 км, среднеплощадными значениями показателей $M_{УВ}$ и $K_{вл}$ — 22,4 г/моль и 45,9 %.

В процессе работ установлено, что к *первой категории* нефтегазоперспективности относятся площади нижней террасы и подножья котловины Подводников (8–10 км) со среднеплощадными значениями показателей $M_{УВ}$ и $K_{вл}$ — 19,9 г/моль и 36,8 %, ко *второй* — северного склона поднятия Лонга и южного крыла Северо-Чукотского бассейна.

К *малоперспективным* площадям относится центральная часть поднятия Лонга и южная часть Северной структурной террасы.

Заключение

В процессе газогеохимических работ установлено, что в донных отложениях района исследований наблюдается доминирование эпигенетических (миграционных) газов.

Идентифицировать сингенетические осадки УВГ достаточно сложно из-за незначительных объемов их образования в условиях отрицательных температур и процессов их смешивания с миграционными газами.

Формирование состава и концентраций углеводородных газов донных осадков подчиняется правилам аддитивности, т.е. последовательного накопления УВГ различного генезиса с преобладанием газовой фазы и газогеохимических показателей более газонасыщенного газоматеринского источника — углегазонасыщенных формаций, магматических образований, твердых битумов, конденсатногазовых, газоконденсатных, нефтегазовых, газонефтяных, нефтяных скоплений и залежей.

Распределение метанонасыщенности и углеводородонасыщенности донных осадков зависит от влияния геологических факторов, основными из которых являются пликвативная и разрывная тектоника, газонасыщенность и нефтегазонасыщенность подстилающих отложений, литологический состав пород и мощность осадочного чехла, геокриологические и другие условия.

В результате полученных газогеохимических данных выполнена оценка перспектив нефтегазонасыщенности отдельных участков осадочных бассейнов и геоструктур района исследований.

Благодарности

Авторы выражают благодарность руководству АО «Севморгео», А.С. Астахову (ТОИ ДВО РАН), Р.Б. Шакирову (ТОИ ДВО РАН) и Ю.П. Василенко (ТОИ ДВО РАН) за поддержку в проведении экспедиционных морских исследований, В.В. Калинчуку за помощь в отборе проб донных осадков, а также А.В. Алаторцеву и К.И. Аксентову за подготовку проб для проведения литологических анализов осадков.

Газогеохимические и аналитические исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-05-70038 «Ресурсы Арктики», в рамках Гостемы ТОИ ДВО РАН № 0211-2021-0006 (121021500055-0).

Выполнение морских экспедиционных работ осуществлено при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, Национального фонда естество-

венных наук KHP NSFC-Shandong (грант № U1606401), а также гранта Marine S&T Fund of Shandong Province (№ 2018SDKJ0104-3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ветров, А.А. Исследование состава и генезиса органического вещества донных осадков Восточно-Сибирского моря / А.А. Ветров, И.П. Семилетов, О.В. Дударев, В.И. Пересыпкин, А.Н. Чаркин // *Геохимия*. — 2008. — № 2. — С. 183–195.
2. Государственная геологическая карта. Серия Лаптево-Сибироморская, Океанская. Масштаб 1:1 000 000. Лист Т-57-60 — остров Генриетты. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2015 — 84 с.
3. Гресов, А.И. Геохимическая классификация углеводородных газов углефтегазоносных бассейнов Востока России / А.И. Гресов // *Тихоокеанская геология*. — 2011. — Т. 30. — № 2. — С. 87–103.
4. Гресов, А.И. Геохимические признаки нефтегазоносности Восточно-Сибирского моря / А.И. Гресов, А.В. Яцук // *Геология нефти и газа*. — 2020. — № 4. — С. 83–95.
5. Гусев, Е.А. Псевдогляциальные структуры подводных гор поднятия Менделеева и континентальной окраины Восточно-Сибирского моря / Е.А. Гусев, П.В. Рекант, Д.Ю. Большаянов, Р.В. Лукашенко, А.О. Попко // *Проблемы Арктики и Антарктики*. — 2013. — Т. 98. — № 4. — С. 43–55.
6. Казанин, Г.С. Континентальная окраина Восточно-Сибирского моря: геологическое строение и перспективы нефтегазоносности / Г.С. Казанин, Ю.Б. Барабанова, Т.А. Кириллова-Покровская, С.Ф. Черников, С.П. Павлов, Г.И. Иванов // *Разведка и охрана недр*. — 2017. — № 10. — С. 51–55.
7. Казанин, Г.С. Тектоническая карта Восточно-Сибирского моря: роль палеозойского комплекса осадочного чехла (по сейсмическим данным МАГЭ) / Г.С. Казанин, М.Л. Верба, Г.И. Иванов, Т.А. Кириллова-Покровская, О.Е. Смирнов // *Разведка и охрана недр*. — 2017. — № 10. — С. 61–67.
8. Клубов, Б.А. Природные битумы Севера / Б.А. Клубов. — М.: Наука, 1983. — 205 с.
9. Конторович, А.Э. Геология, ресурсы углеводородов шельфов арктических морей России и перспективы их освоения / А.Э. Конторович, М.И. Эпов, Л.М. Бурштейн, В.Д. Каминский, А.Р. Курчиков, Н.А. Малышев, О.М. Прищепа, А.Ф. Сафронов, А.В. Ступакова, О.И. Супруненко // *Геология и геофизика*. — 2010. — Т. 51. — № 1. — С. 7–17.
10. Малышев, Н.А. Тектоника осадочных бассейнов российского шельфа Чукотского моря / Н.А. Малышев, В.В. Обметко, А.А. Бородулин, Е.М. Баринаова, Б.И. Ихсанов // *Матер. XIII Тектонического совещания: Тектоника и геодинамика складчатых поясов и платформ фанерозоя*. ГИН РАН. — М., 2010. — Т. 2. — С. 23–29.
11. Основы теории геохимических полей углеводородных скоплений / Под ред. И.С. Старобинец, А.В. Петухова, С.Л. Зубайраева и др. — М.: Недра, 1993. — 332 с.
12. Руководство по определению и прогнозу газонасыщенности вмещающих пород при ведении геологоразведочных работ. — Ростов-на-Дону: ВНИИГРИуголь, 1985. — 96 с.
13. Abrams, M.A. Significance of hydrocarbon seepage to petroleum generation and entrapment / M.A. Abrams // *Marine and Petroleum Geology*. — 2005. — (22). — P. 457–477.
14. O'Regan, M. The De Long Trough: a newly discovered glacial trough on the East Siberian continental margin / O'Regan, M., Backman, J., Barrientos, N., Cronin, T.M., Gemery, L., Kirchner, N., Mayer, L.A., Nilsson, J., Noormets, R., Pearce, C., Semiletov, I., Stranne, C., and Jakobsson, M. // *Climate of the Past*. — (13). — 2017. — P. 1269–1284.
15. Sherwood, K.W. Undiscovered oil and gas resources In: Alaska Federal Offshore. As of January 1995. U.S. / K.W. Sherwood, J.D. Craig, L.W. Cook et al. // Department of the Interior Minerals Management Service, Alaska OCS Monograph, MMS 980054; 1998. — 531 p.

© Гресов А.И., Яцук А.В., Окулов А.К., 2021

Гресов Александр Иванович // gresov@poi.dvo.ru
Яцук Андрей Вадимович // yatsuk@poi.dvo.ru
Окулов Алексей Константинович // okulov_ak@poi.dvo.ru