

# Геологические условия формирования газонасыщенности донных отложений осадочных бассейнов юго-восточного сектора Восточно-Сибирского моря

Гресов А. И., Яцук А. В.

## Аннотация

Приведены результаты изучения геологического строения Лонгского, Айонского и Пегтымельского осадочных бассейнов Восточно-Сибирского моря. Обобщены и проанализированы материалы геологических съемок и бурения материкового и островного обрамления, геофизических исследований ОАО «Дальморнефтегеофизика», Морской арктической геологоразведочной экспедиции и ОАО «Севморгеология», а также сейсморазведочных работ и бурения глубоких скважин в американском секторе Чукотского моря. В результате исследований разреза осадочных бассейнов выделены допалеозойские образования и осадочный чехол на всю его мощность, что позволяет говорить не об условном горизонте под названием «акустический фундамент», а о геологической границе «чехол–фундамент». Данные о геологическом строении и газонасыщенности верхней части осадочного разреза получены в результате изучения и газогеохимического опробования керна пород и донных осадков прибрежных мелких скважин и керноотборных трубок. В составе газа пород и донных осадков района исследований установлены: углеводородные газы (СН<sub>4</sub>, С<sub>2</sub>–С<sub>5</sub> и их непредельные гомологи – УВГ), СО<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>, Не, N<sub>2</sub> и Ar, редко – СО и Н<sub>2</sub>S. Приведены газогеохимические показатели сингенетических и эпигенетических газов донных осадков и данные их газонасыщенности. Выделены площади аномальной газонасыщенности осадков по СО<sub>2</sub>, СН<sub>4</sub> и УВГ, Н<sub>2</sub> и Не, превышающие 5, 0.05 и 0.001, 0.005 и 0.005 см<sup>3</sup>/кг соответственно. Составлены карты распределения газонасыщенности донных осадков. Установлено, что основными геологическими факторами, влияющими на формирование и распределение газонасыщенности донных отложений, являются: история геологического развития, тектоника, магматизм, литологический состав и катагенез осадочных пород, геокриологические условия, угленосность, битуминозность и нефтегазоносность района исследований.

## Ключевые слова:

Осадочный бассейн, геологическое строение, донные отложения, состав газа, газогеохимические показатели, генезис, газоматеринские источники, газонасыщенность, геологические факторы, Восточно-Сибирское море.

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ ЮГО-ВОСТОЧНОГО СЕКТОРА ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ

А.И. Гресов, А.В. Яцук

*Тихоокеанский океанологический институт им В.И. Ильичёва ДВО РАН  
690041, Владивосток, Балтийская 43, Россия, [gresov@poi.dvo.ru](mailto:gresov@poi.dvo.ru)*

Приведены результаты изучения геологического строения Лонгского, Айонского и Пегтымельского осадочных бассейнов Восточно-Сибирского моря. Обобщены и проанализированы материалы геологических съемок и бурения материкового и островного обрамления, геофизических исследований ОАО «Дальморнефтегеофизика», Морской арктической геологоразведочной экспедиции и ОАО «Севморгеология», а также сейсморазведочных работ и бурения глубоких скважин в американском секторе Чукотского моря. В результате исследований разреза осадочных бассейнов выделены допалеозойские образования и осадочный чехол на всю его мощность, что позволяет говорить не об условном горизонте под названием «акустический фундамент», а о геологической границе «чехол–фундамент». Данные о геологическом строении и газонасыщенности верхней части осадочного разреза получены в результате изучения и газогеохимического опробования керна пород и донных осадков прибрежных мелких скважин и керноотборных трубок. В составе газа пород и донных осадков района исследований установлены: углеводородные газы ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2$ – $\text{C}_5$  и их непредельные гомологи – УВГ),  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{He}$ ,  $\text{N}_2$  и  $\text{Ar}$ , редко –  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2\text{S}$ . Приведены газогеохимические показатели сингенетических и эпигенетических газов донных осадков и данные их газонасыщенности. Выделены площади аномальной газонасыщенности осадков по  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и УВГ,  $\text{H}_2$  и  $\text{He}$ , превышающие 5, 0.05 и 0.001, 0.005 и 0.005  $\text{cm}^3/\text{kg}$  соответственно. Составлены карты распределения газонасыщенности донных осадков. Установлено, что основными геологическими факторами, влияющими на формирование и распределение газонасыщенности донных отложений, являются: история геологического развития, тектоника, магматизм, литологический состав и катагенез осадочных пород, геокриологические условия, угленосность, битуминозность и нефтегазоносность района исследований.

*Осадочный бассейн, геологическое строение, донные отложения, состав газа, газогеохимические показатели, генезис, газоматеринские источники, газонасыщенность, геологические факторы, Восточно-Сибирское море.*

## GEOLOGICAL CONDITIONS OF THE FORMATION OF GAS-SATURATION OF SEAFLOOR SEDIMENTS IN SEDIMENTARY BASINS OF THE SOUTH-EAST SECTOR OF EAST SIBERIAN SEA

**A.I. Gresov, A.V. Yatsuk**

*Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Baltiyskaya street, 43, Vladivostok, 690041 Russia*

The results of studying the geological structure of the Longsky, Aionsky, and Pegtymelsky sedimentary basins of the East Siberian Sea are presented. The materials of geological surveys and drilling of the mainland and island surroundings, geophysical studies of «Dalmorneftegeofizika», «MAGE» and «Sevmorgeologiya», as well as seismic and deep hole drilling in the US sector of the Chukchi Sea are summarized and analyzed. As a result of studies of the section of sedimentary basins, pre-Paleozoic formations and a sedimentary cover were identified for its entire thickness, which allows us to speak not about a conditional horizon called “acoustic foundation”, but about the geological boundary “cover-foundation”. Data on the geological structure and gas saturation of the upper part of the sedimentary section were obtained as a result of the study and gas-geochemical testing of core samples and seafloor sediments of coastal shallow wells and cores. The composition of the gas of rocks and seafloor sediments of the study area revealed: hydrocarbon gases (HCGs - CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub> – C<sub>5</sub> and their unsaturated homologues), CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, He, N<sub>2</sub> and Ar, and rarely CO and H<sub>2</sub>S. The gas geochemical parameters of syngenetic and epigenetic gases of seafloor sediments and data about their gas saturation are presented. The areas of abnormal gas saturation of sediments for CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and HCGs, H<sub>2</sub> and He, exceeding 5, 0.05 and 0.001, 0.005 and 0.005 cm<sup>3</sup>/kg, respectively, were identified. Maps of the distribution of gas saturation of seafloor sediments were created. It has been established that the main geological factors affecting the formation and distribution of gas saturation of seafloor sediments are: history of geological development, tectonics, magmatism, lithological composition and catagenesis of sedimentary rocks, geocryological conditions, coal content, bituminosity and oil and gas potential of the research area.

*Sedimentary basin, geological structure, seafloor sediments, gas composition, gas-geochemical indicators, genesis, gas sources, gas saturation, geological factors, East Siberian Sea.*

## **ВВЕДЕНИЕ**

В современной структуре шельфа юго-восточного сектора Восточно-Сибирского моря (ВСМ) выделяются Айонский, Лонгский и Пегтымельский осадочные бассейны, история газогеохимических исследований которых может быть подразделена на три этапа. Начальный этап, относящийся к периоду 1967–1989 гг., характеризовался изучением состава газа пород и газопроявлений (рис. 1) материкового и островного обрамления Чаунской губы [Трофимук и др., 1973; Никитин и др., 1985; Флюидогеодинамика..., 1989]. Первые сведения о газонасыщенности донных осадков в районе острова Айон и пролива Лонга получены сотрудниками НИИГА в период 1975–1981 гг.<sup>1</sup> Позже, сотрудниками треста «Дальвостуглеразведка» и производственного объединения «Северовостокзолото»

<sup>1</sup> Органическое вещество и углеводородные газы донных отложений Арктических морей СССР: Отчет о НИР/ Яшин Д.С., Ленинград: НИИГА, 1981.

было проведено изучение состава газа и газоносности угольных пластов и вмещающих пород, а также газонасыщенности четвертичных прибрежных и донных осадков Чаунской и Валькарайской впадин с целью определения степени газобезопасности буровых работ на участках выходов пластов угля под наносы.<sup>2</sup>

В период 1990–2007 гг. проведено обобщение данных газогеохимических работ в пределах Восточно-Арктического шельфа [Геология..., 2003, 2004; Яшин, Ким, 2007] на фоне единичного газового опробования донных осадков Чаунской губы и изучения газонасыщенности поверхностных и придонных вод [Шахова и др., 2005].

Начиная с 2008 года и по настоящее время, изучение газонасыщенности донных осадков юго-восточного сектора ВСМ носит целенаправленный и комплексный характер. Определение газонасыщенности донных отложений осуществлялось совместно с изучением газонасыщенности поверхностных и придонных вод, приводной атмосферы в комплексе с геофизическими исследованиями. Результаты исследований приведены в [Половков, 2011; Шакиров и др., 2013; Астахов и др., 2013; Верба, 2016; Гресов и др., 2016, 2017; Казанин и др., 2017].

Основная задача работы заключалась в обобщении и сравнительном научном анализе геологического строения района исследований и данных газогеохимических исследований, позволяющих приблизиться к реальному пониманию геологической природы формирования и распределения газонасыщенности донных отложений.

## **МЕТОДИКА И ОБЪЁМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Изучение газоносности угольных пластов и вмещающих пород побережья района исследований осуществлялось методом отбора керна пород в герметические сосуды с последующей их дегазацией и хроматографическим анализом газа. В процессе работ отобрано 20 герметических сосудов и проанализировано 55 проб газа<sup>2</sup>, извлеченного при свободном выделении, вакуумной и термовакуумной дегазации. В пределах прибрежной акватории из керна 4 скважин отобрано 12 герметических сосудов (в интервале глубин 0.7–9.6 м), в результате дегазации которых извлечено 29 проб газа<sup>2</sup>. Методика отбора, дегазации проб и проведения анализа газа соответствовала действующему методическому руководству<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> Изучение изменчивости распределения природных газов в угленосных толщах с целью разработки рекомендаций по повышению достоверности и газобезопасности геологоразведочных работ: отчет о НИР/ Гресов А.И., т. 1, 2, 3. Владивосток: Дальвостуглеразведка, 1987.

<sup>3</sup> Руководство по определению и прогнозу газоносности вмещающих пород при геологоразведочных работах. Ростов-на-Дону: ВНИИГРИУголь. 1985. 96 с.

Опробование донных осадков осуществлялось дночерпателями (5 станций в интервале отбора 0.2–0.4 м от дна) и керноотборными трубками (57 станций – 0.6–4.0 м) на глубинах моря 3–45 м, с поинтервальным отбором проб грунта в герметические сосуды и последующей их дегазацией и анализом газа. В процессе опробования отобрано 124 герметических сосуда и проанализировано 267 проб газа, извлеченных на разных стадиях дегазации. Методика газогеохимических исследований соответствовала руководству<sup>3</sup>.

Анализ газа пород и донных осадков производился в сертифицированных газовых лабораториях треста «Дальвостуглеразведка» и Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН на хроматографах Газохром 3101, Газохром 2000, ЛХМ-8МД и КристалЛюкс-4000М в соответствии с ГОСТ 23781-79, ГОСТ 23781-83, ГОСТ 23781-87<sup>4</sup>, ГОСТ 31371.3-2008<sup>5</sup> и нормативных документов паспортов вышеуказанных лабораторий, аттестованных Росстандартом.

В результате систематизации данных и применения методов электронного графопостроения, составлены карты газонасыщенности донных осадков. Оцифровка и пространственно-математическая интерпретация результатов газогеохимических исследований производилась в программном комплексе ESRI®ArcGIS с помощью модуля Geostatistical Analyst по методу обратных взвешенных расстояний (IDW).

**Интерпретация результатов** геохимических исследований. Для определения генезиса углеводородных газов (**УВГ**) использован комплекс **количественных геохимических показателей**: молекулярной массы углеводородной фракции ( $M_{УВ}$ ), весовых концентраций индивидуальных углеводородов (**УВ**) [Велев, 1981] и их соотношений, являющимися индивидуальными генетическими маркерами для каждого геологического образования [Гресов, 2011, 2012, 2014]. В процессе исследований использовались данные изотопного состава углерода  $\delta^{13}C$   $CH_4$ ,  $C_2H_6$  и  $CO_2$  [Шакиров и др., 2013; Гресов и др., 2016, 2017]. Данный комплексный методологический подход характеризуется достаточной информативностью получаемых результатов в области классифицирования генезиса газа [Гресов, 2011, 2014].

**Молекулярная масса УВ фракции** – величина средневзвешенной по массе её индивидуальных членов ряда метан–пентан ( $C_1$ – $C_5$ , г/моль) и **весовая концентрация** УВ, нормированная по отношению к  $M_{УВ}$  в долях целого на 1000, использовались как единый количественный показатель генетических особенностей УВГ современных донных

---

<sup>4</sup> Газы горючие природные. Хроматографический метод определения компонентного состава. М.: Госстандарт, 1979, 1983, 1987. 12 с.

<sup>5</sup> Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности. М.: Стандартинформ, 2009. 16 с.

осадков, газовых и угольных залежей, магматических образований, газоконденсатных, конденсатногазовых, газонефтяных и нефтегазовых скоплений и залежей.

**Коэффициент преобразованности УВ фракции.** Изменение состава УВГ в процессе их длительного существования в коллекторах в условиях меняющейся термобарической и геохимической обстановок сопровождается изменением содержания гомологов метана. С увеличением температуры происходит перераспределение в содержании гомологов метана – превращение пропана в этан и бутан, а также пропана и бутана в этан и пентан [Нестеров, 1969]. Для оценки степени преобразования гомологов метана используется отношение произведения весовых концентраций этана и бутана к концентрации пропана, названное коэффициентом преобразованности УВ фракции [Высоцкий, 1979], в виде выражения:  $K_{пр.} = (C_2 \cdot C_4) : C_3$ . Установлено, что коэффициент достаточно тесно связан с возрастом газоносного коллектора, т.е. указывает на продолжительность нахождения газа в ловушке [Высоцкий, 1979; Гресов, 2011, 2012].

**Коэффициенты обогащенности («сухости») и «влажности» УВ фракции,** представленные соотношением  $C_1 : \sum C_2-C_5$  [Высоцкий, 1979] и  $\sum C_2-C_5 : \sum C_1-C_5 \cdot 100$ , % [Abrams, 2005, 2017], где  $C_1 - C_5$  – весовые концентрации УВ в долях на 1000.

## ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

В связи с отсутствием глубокого бурения в ВСМ, основная информация о геологическом строении района исследований базируется на данных геологических съемок материкового и островного обрамления, геофизических исследований ОАО «Дальморнефтегеофизика» («ДМНГ»), Морской арктической геологоразведочной экспедиции («МАГЭ») и ОАО «Севморгеология», а также результатах сейсморазведочных работ и бурения глубоких скважин в американском секторе Чукотского моря. Важным дополнением к материалам изучения кайнозойских отложений являлись данные бурения скважин № 1, А-1, Р, 240, 882, 21-г, 22-г и др. Геологические сведения о верхней части разреза получены в результате изучения керна донных осадков прибрежных мелких скважин (1п, 2п, 3, 4, 5, 6 и др.) и керноотборных трубок (рис. 1).

**Стратиграфическая модель** юго-восточной части ВСМ основывается на результатах анализа сейсмических профилей МОВ ОГТ (2D, «МАГЭ»), ES10 («ДМНГ»), 5АР («Севморгеология»), гравиметрических исследований, сопоставлении несогласий с разрезами материкового обрамления, о-вов Врангеля и Айон, данных сейсморазведочных работ и глубоких скважин, пробуренных в американском секторе Чукотского моря и северного склона Аляски [Thurston, Theiss, 1987; Sherwood et al., 1998, 2002]. Используемая в работе корреляция осадочного чехла американской и российской части

Чукотского моря и ВСМ, представлена в работах [Burlin, Schipel'kevich, 2006; Косько, 2007; Малышев и др. 2010; Петровская, Савишкина, 2014]. Исследования, выполненные ОАО «МАГЭ», «ДМНГ» и «Севморгео» в последние годы, позволили выделить в разрезе района исследований допалеозойские образования и осадочный чехол на всю его мощность, что позволяет говорить не об условном горизонте под названием «акустический фундамент», а о геологической границе «чехол–фундамент» [Верба, 2016; Казанин и др., 2017].

**Допалеозойские образования** представлены верхней мантией, характеризующейся скоростью 7.9–8.1 км/с и плотностью 3.16–3.31 г/см<sup>3</sup>, базитовым слоем нижней коры (6.7–7.4 и 2.90–3.05) и диоритовым слоем верхней коры (5.9–6.5 км/с и 2.76–2.85 г/см<sup>3</sup>). Глубина залегания мантии изменяется от 20 до 38 км, базитового и диоритового слоев – от 5 до 30 и от 3 до 26 км. Залегающие выше архей-верхнепротерозойский гранитно-метаморфический слой верхней коры и супракрустальный рифей-вендский комплекс (рис. 2), характеризуются мощностями, достигающими 14–16 км, скоростями до 5.5 км/с и плотностью – до 2.82 г/см<sup>3</sup> [Ващилов, 1993; Геология., 2004; Цыганкова, 2005; Косько, 2007; Казанин и др., 2017]. Верхнепротерозойские образования врангелевского комплекса [Косько, 2007] сложены метавулканитами, метапесчаниками, сланцами и измененными карбонатными породами, включающими интрузивные тела гранитоидов и базитов.

Исследования «МАГЭ» [Казанин и др., 2017] позволили выделить в основании палеозойского осадочного чехла образования **кембрия, ордовика и силура**, сложенные песчаниками, сланцами, конгломератами и известняками (рис. 3), характеризующиеся скоростями до 4.5 км/с и мощностью 2–7 км в пределах прогибов Лонга и Северо-Врангелевского (рис. 2). В вышележающих отложениях юго-восточной части ВСМ, по аналогии с американской частью Чукотского моря и Северной Аляски [Sherwood et al., 1998, 2002], выделяются пять структурно-стратиграфических сейсмокомплексов, разделенных между собой поверхностями региональных несогласий: нижнеэлсмирский, верхнеэлсмирский, рифтовый, нижнебрукский и верхнебрукский.

**Нижнеэлсмирский (девон–среднепермский)** комплекс, ограниченный ОГ EU и PU, сложен известковистыми, кварц-полевошпатовыми песчаниками, известняками, алевролитами, аргиллитами, глинистыми сланцами и конгломератами общей мощностью до 3–5 км с плотностью пород 2.64–2.7 г/см<sup>3</sup> и скоростями волн – 3.7–4.0 км/сек.

**Верхнеэлсмирский (верхнепермско-триас-нижнеюрский)** комплекс представлен песчаниками, алевролитами, филлитами, глинистыми и углисто-глинистыми сланцами, конгломератами и интрузиями габбро-диабазов общей мощностью 3–6 км, плотностью пород – 2.62–2.68 г/см<sup>3</sup> и скоростью волн – 3.4–3.6 км/с.

Образования **рифтового** (*верхнеюрско-барремского*) комплекса сложены алевролитами, аргиллитами, песчаниками, андезитами, дацитами, риолитами и их туфами общей мощностью до 2.5 км. На сейсморазрезах комплекс представлен непротяженными высокоамплитудными отражениями. Высокоамплитудные отражения связаны с пластами каменных углей. Пластовые скорости изменяются от 3.0 до 3.4 км/с, плотности пород – от 2.51 до 2.62 г/см<sup>3</sup>. Залегающий выше нижний горизонт (подкомплекс) нижнебрукского комплекса соответствует фазе активного рифтогенеза, характеризующегося ступенчатым характером изменения мощностей осадков, контролируемых разломами. Подкомплекс идентифицируется в американской акватории данными бурения скважин и прослеживается к западу в российской части Чукотского моря и ВСМ, что дает основание полагать о синхронности развития и сходстве строения этих площадей.

**Нижнебрукский** (*апт-верхнемеловой*) комплекс сложен аргиллитами, песчаниками, алевролитами, филлитами, риолитами, дацитами, андезитами и их туфами общей мощностью 1.5–2.5 км [Ващилов, 1993; Геология..., 2004; Виноградов и др., 2004; Цыганкова, 2005; Косько, 2007; Малышев и др., 2010; Исханов, 2014; Петровская, Савишкина, 2014; Дараган-Суцова и др., 2015; Государственная..., 1999; 2016 б].

**Верхнебрукский** (*кайнозойский*) комплекс представлен бассейновыми палеоцен-четвертичными отложениями. Образования *нижнего палеоцена* сложены базальтами и их туфами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами и конгломератами; *средне-нижнего палеоцена* и *нижнего эоцена* – песчаниками, алевролитами, конгломератами, аргиллитами, песками, алевритами, глинами, пластами бурого угля. Отложения *среднего* и *нижнего эоцена* представлены песчаниками, алевролитами, песками с прослоями алевритов, *олигоцена* – переслаиванием песчаников, алевритов, аргиллитов, песков, глин, алевритов, пропластков и пластов бурых углей (рис. 4). Палеогеновые отложения характеризуются протяженными малоамплитудными отражениями в нижней части разреза и высокоамплитудными – в верхней. Пластовые скорости при этом варьирует от 2.5 до 3.0 км/с. Мощность палеогеновых отложений изменяется от 50 до 1800 м.

*Миоценовые* отложения, представленные переслаиванием песков, алевритов, глин, многочисленных пропластков и пластов бурых углей, и лигнитов, характеризуются протяженными высокоамплитудными отражениями со скоростями 2.1–2.4 км/с. *Плиоценовые* осадки сложены галечниками, гравийниками, песками с прослоями алевритов, лигнитов и торфов. Отложения представлены протяженными малоамплитудными отражениями со скоростями до 2.0 км/с. Мощность неогеновых отложений изменяется от 30 до 900 м. *Четвертичные* осадки представлены отложениями плейстоцена и голоцена. Аллювиальные отложения *плейстоцена*, сложены песками с гравием, галькой, прослоями

алевритов и линзовидными прослоями песка, гравия и торфа. Аллювиально-пролювиальные маломощные (1–3 м) плохо сортированные алевриты, пески, глины со щебнем и галькой установлены в пределах островного побережья. Озерно-аллювиальные отложения вскрыты скважинами на о-вах Айон, Большой Роутан, проливе Лонга и на побережье района исследований. На островах и в проливах преобладают разнозернистые пески с прослоями гравия, алевриты и глины с линзами торфа (до 0.7 м), растительными остатками и обломками лигнитизированной древесины. *Голоценовые* осадки представлены алевритами, глинистыми алевритами и галечниками с прослоями песков с растительными остатками и обломками углей мощностью до 10 м. Общая мощность четвертичных осадков не превышает 200 м [Сухоруслов, 1978; Безродных, 1983; Иванов, 1985; Сдободин и др., 1990; Геология..., 2003, 2004; Фандюшкин, 2005; Косьюко, 2007; Гусев и др., 2009; Мальшев и др., 2010; Шакиров и др., 2013; Исханов, 2014; Петровская, Савишкина, 2014; Дараган-Суцова и др., 2015, Государственная..., 1999, 2016 б].

**Тектоника.** Исследуемая площадь ВСМ рассматривается как самостоятельная зона перехода от континентального орогенного обрамления к окраинно-материковой плите, представленная двумя структурно-тектоническими этажами. Нижний этаж сложен сложнодислоцированными терригенными отложениями Новосибирско-Чукотской области мезозойской складчатости, прорванными телами магматических образований. Верхний этаж представлен платформенными осадочными отложениями кайнозоя, выполняющими тектонические депрессии [Государственная..., 2016 б].

В результате складчатых движений среднеюрского времени в районе исследований формируются основные синклинальные и антиклинальные зоны, сопровождающиеся образованием разломов. Посторогенный коллапс Новосибирско-Чукотской складчатой системы, испытавшей максимальные деформации сжатия в позднеюрско–раннемеловой этап, явился основной причиной формирования Айонского, Пегтымельского и Лонгского осадочных бассейнов в пределах Пегтымельского, Дремхедского, Раучуанского и Южно-Чукотского прогибов. В структурно-тектоническом отношении осадочные бассейны юго-восточной части ВСМ представлены впадинами наложенно-унаследованных рифтогенных прогибов Новосибирско-Чукотской области мезозойской складчатости, аналогами которых являются бассейны Чукотского моря типа "pull-apart". В основании бассейнов развиты многочисленные сбросовые структуры (рис. 2). В некоторых частях фундамента прослеживаются комплексы пород, развивавшиеся в условиях, как постколлизиионного растяжения, так и сдвиговых деформаций, в том числе типа «pop-up». Сдвиги, как правило, произошли по реактивированным разломам нижнего структурного комплекса и фундамента, но в ряде случаев они являются новообразованными и секут более ранние

разломы. Подобными процессами был охвачен весь Восточно-Арктический сегмент, о чем свидетельствует широкое развитие блоковых присдвиговых структур растяжения в пределах шельфов морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского, а также прилегающей суши. Все эти события были связаны с раскрытием Евразийского бассейна и фазами плитотектонических перестроек в ходе общей геодинамической эволюции арктического региона. Плиоцен-четвертичный этап развития района исследований происходил в обстановках относительно спокойного погружения региона в целом [Thurston D.K. and Theiss L.A., 1987; Грамберг и др., 1997; Drachev et al., 1998; Franke et al., 2004; Виноградов и др., 2004; Геология..., 2004; Косько, 2007; Verzhbitsky et al., 2012].

Среди наиболее крупных нарушений выделяются структурообразующие Шелагский, Врангелевский, Нейтлин-Наглейненский глубинные разломы широтного простирания и Северо-Врангелевский, Чаунский, Северо-Чаунский, Северо-Айонский и Восточно-Раучуанский – меридионального и субмеридионального простирания (рис. 1).

Северо-Айонский глубинный разлом разделяет Айонский бассейн на две структуры – одноименную впадину и поднятие (горст), характеризующихся разным характером гравитационных полей. Глубина его заложения по данным гравиметрической съемки составляет 67 км. Чаунский трансформный, Восточно-Раучуанский и Северо-Чаунский разломы выходят на шельф с суши с глубиной заложения не менее 36 км. Врангелевский и Шелагский разлом, оконтуривающий побережье восточной половины рассматриваемой акватории и о-ва Врангеля (Лонгского бассейна), имеют глубину заложения 36–40 км. Северо-Врангелевская система субмеридиональных разрывов, с глубиной заложения не менее 40 км [Ващилов, 1993; Цыганкова, 2005], уходит от о-ва Врангеля в северо-восточном направлении (рис. 1).

Формирование Геральдско-Врангелевского массива (Северо-Шелагского поднятия) и надвигово-чешуйчатых форм на о-ве Врангеля происходило в процессе перемещения огромной массы пород с юго-запада на северо-восток, вызванном среднеюрским орогенезом, охватившем северную часть Чукотского п-ова и п-ова Аляска. Впоследствии, складчатые структуры поднятия, вплоть до настоящего времени, также испытывали неоднократный подъём, подвергаясь при этом интенсивной эрозии и, соответственно, представляли зону активного размыва [Грамберг и др., 1997; Геология..., 2003, 2004; Косько, 2007; Малышев и др., 2010; Исханов, 2014; Государственная..., 1999, 2016б].

**Магматические образования** района исследований включают разновозрастные интрузивные, субвулканические и дайковые тела – от кислых до основных и щелочных. В триасовых отложениях имеют распространение габбро-диабазы, гранитоиды, риолиты и их туфы. Раннемеловой магнетизм объединяет интрузии гранодиорит-порфиров и

субвулканические тела андезитовых порфиров. Ранне- и поздне меловой магнетизм представлен субвулканическими и дайковыми телами кварцевых порфиров, липарито-дацитов, диоритовых порфиритов, гранодиорит-порфиров и гранит-порфиров. Поздне меловой магнетизм присутствует в виде субвулканических жил и даек биотитовых, биотит-роговообманковых и пироксеновых андезитов и андезибазальтов. Интенсивное развитие магматической и вулканической деятельности в юго-восточном секторе Восточно-Сибирского моря и прилегающей части его побережья в апт-альбский период связано с процессами формирования Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, расположенного в непосредственной близости от района исследований.

Структуры тектономагматической активизации, представленные вулканическими поднятиями, интрузивно-купольными и линейно-поясовыми дайковыми телами, связаны с формированием плутонических комплексов, а также с разломами, контролирующими становление как вулканических, так и интрузивных образований [Угольная..., 1999; Геология..., 2004; Katkov et al., 2007; Miller et al., 2009; Государственная..., 1999, 2016б].

**Угленосность и органическая насыщенность отложений.** К наиболее древним угленосным отложениям относятся породы норийского и карнийского ярусов, в которых установлены углистые сланцы с содержанием Сорг. до 29 % и прослой каменных углей – до 87 %. В пределах о. Врангеля и материкового обрамления установлена битуминозность верхнетриасовых и нижнемеловых пород (рис. 1). Содержание битумоида находится в тесном соответствии с содержанием органического вещества (ОВ) – от долей до первых единиц процента. В групповом составе битумов (антраксолитов) преобладают смолы, асфальтены и ароматические фракции [Клубов, 1983; Флюидогеодинамика..., 1989].

Обилие растительных остатков в породах неокома предопределяет гумусовый состав ОВ (III тип керогена), содержание которого типично для угленосных молассовых формаций Северо-Востока России – от первых % в породах до 80–90 % – в пластах угля. В пределах материкового обрамления Лонгского бассейна в нижнемеловой кукевеевской свите одноименной угленосной площади содержится 8–12 пластов каменных углей стадий катагенеза МК<sub>5</sub>–АК<sub>1</sub> мощностью 1.4–4.0 м. Аналогами нижнемеловых углей Айонского и Пегтымельского бассейнов, по-видимому, являются угли Анюйского и Анжуйского угольных бассейнов, в айнакургенской и балыктахской свитах которых установлено до 9 пластов каменных углей стадий МК<sub>1</sub>–МК<sub>2</sub> мощностью 1.2–25.0 м [Угольная..., 1999; Фандюшкин, 2005; Гресов, 2012, 2014; Государственная..., 1999, 2016 б, в].

В палеогеновых отложениях установлены пропластки и пласты бурого угля (стадий катагенеза ПК<sub>1</sub>–ПК<sub>2</sub>) мощностью от 0.1 до 2.0 м с содержанием Сорг. – 67–70 %. Флористический состав угленосного комплекса имеет наибольшее сходство со спорово-

пыльцевыми комплексами буроугольной формации Анжуйского угольного бассейна (Новосибирских островов). Максимальной угленасыщенностью характеризуются отложения неогена, в которых сосредоточены многочисленные линзы, пропластки и пласты бурых углей стадии ПК<sub>1</sub> мощностью до 6–8 м с содержанием Сорг. 63–65 %. В верхней части разреза установлены пласты лигнитов мощностью до 1.8 м, содержание Сорг. в которых в среднем составляет 61 %. В плейстоценовых осадках установлены пласты торфов мощностью до 2 м. Концентрации Сорг. в донных осадках изменяются от 0.3 до 3.4 %, бескарбонатных разностей – от 0.03 до 0.12 %. Среднее содержание Сорг. в осадках Пегтымельского бассейна составляет 1.2 %, Лонгского – 1.5, Айонского – 1.7 % [Безродных, 1983; Иванов, 1985; Сдободин и др.; 1990; Геология...2003, 2004; Фандюшкин, 2005; Шакиров и др., 2013; Астахов и др., 2013; Гресов и др., 2017].

**Геокриологические условия.** В процессе морских экспедиционных работ (рейсы НИС «Академик Лаврентьев» – LV-45, 77) установлено, что температуры донных осадков на площади Лонгского и Пегтымельского бассейнов характеризуются преимущественно отрицательными значениями, что обусловлено развитием зоны многолетнемерзлых пород (ММП), мощность которой по данным бурения на побережье ВСМ составляет 60–120 м, на глубинах моря свыше 4 м – 2.8–25 м. Наряду с этим, в пределах Геральдско-Врангелевского массива (станции 240–290; рис. 1, 2), Пегтымельского прогиба (ст. 14), северного крыла Лонгского прогиба (ст. 10–20, 90–110) и Чаунской впадины наблюдаются участки донных отложений с температурами +0.1...+1.9 °С. Зона ММП в последней распространена вдоль берегов полосой от нескольких сотен метров до первых десятков километров [Жигарев, 1981; Геология..., 2003, 2004; Государственная..., 2016 в].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В составе газа пород, газопроявлений и донных осадков района исследований установлены: УВГ (СН<sub>4</sub>, С<sub>2</sub>–С<sub>5</sub> и их неопределенные гомологи), СО<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>, Не, N<sub>2</sub> и Ar, в редких случаях СО и Н<sub>2</sub>S.

**Углеводородные газы (УВГ)** газопроявлений из скважин и водных источников побережья представлены метаном (до 77.5 %), этаном (до 0.71), пропаном (до 0.14) и бутаном (до 0.06 %). Суммарная концентрация гомологов метана не превышала 0.87 %, удельное выделение газа – 10 м<sup>3</sup>/сут [Никитин и др., 1985; Флюидогеодинамика..., 1989; Гресов, 2012, 2014; Гресов и др., 2017].

Концентрации метана в четвертичных осадках и торфяниках *материкового и островного обрамления* изменяются в пределах 0.03–0.55 и 1.12–1.25 % (0.003–0.05 и 3.6–4.1 см<sup>3</sup>/кг), эффузивных породах – 0.34–1.6 (0.6–3.3), песчаниках – 3.91–4.04 (7.1–

10.3), лигнитах и углях – 2.4–40.4 % (23–780 см<sup>3</sup>/кг) в интервале опробования 21–148 м. Содержание этана в четвертичных осадках и торфяниках достигает 0.0004 и 0.0074 % (0.00003 и 0.024 см<sup>3</sup>/кг), эффузивных породах – 0.0144 (0.029), песчаниках – 0.0234 (0,04), лигнитах и углях – 0.13 и 0.33 % (1.5–6.1 см<sup>3</sup>/кг). Аналогично для пропана: 0.00001 и 0.0013 % (0.00001 и 0.005 см<sup>3</sup>/кг), 0.0031 (0.007), 0.0038 (0,009), 0.037 и 0.075 % (0.16 и 1.39 см<sup>3</sup>/кг). Концентрации бутана в торфяниках не превышают 0.00006 % (0.008 см<sup>3</sup>/кг), эффузивах – 0.00093 (0,00002), песчаниках – 0.0019 (0.005), лигнитах и бурых углях – 0.019 и 0.042 % (0.08 и 0.78 см<sup>3</sup>/кг). В пробах газа, отобранных из углей, присутствует пентан в содержаниях до 0.00017 % (0.003 см<sup>3</sup>/кг). В целом концентрации метана и его гомологов в пластах бурых углей достигают 780 и 8.2 см<sup>3</sup>/кг на глубинах 140–150 м. Угленосные отложения до указанных глубин находятся в зоне газового выветривания (СН<sub>4</sub> < 80 %), горизонты полной дегметанизации – отсутствуют: концентрации СН<sub>4</sub> до 0.1 % фиксируются на глубинах 1–5 м. С увеличением глубины залегания угольных пластов концентрации метана и его гомологов закономерно возрастают, а углекислого газа – снижаются (рис. 5).

Установлено, что все литотипы (источники газа, табл. 1) характеризуются индивидуальными газогеохимическими показателями. Изотопный состав углерода метана четвертичных отложений и торфяников изменяются от -78.0 до -90.4‰, что указывает на биохимическую природу его образования. Показатели δ<sup>13</sup>С метана лигнитов и бурых углей изменяются от -57.4 до -74.8‰, что предполагает на наличие в УВГ метаморфогенной составляющей, доминирование которой наблюдается в каменных углях Кукевеевской угленосной площади (в среднем -49.8‰). Изотопный состав углерода метана газопроявлений -58.7...-70.4‰, указывает на полигенезисный характер его образования. Наиболее «тяжелые» показатели δ<sup>13</sup>С СН<sub>4</sub> (-27.3...-32.4‰) установлены в магматических породах побережья ВСМ [Гресов, 2012, 2014; Гресов и др., 2016, 2017].

В процессе исследований установлено, что в **донных осадках** присутствуют *сингенетические* УВГ современных осадков и *эпигенетические* – торфяников, лигнитов, бурых углей, газовых скоплений и залежей кайнозойского возраста, мезозойских угольных залежей, битумов?, магматических образований, а также предполагаемых конденсатногазовых, газоконденсатных, нефтегазовых и газонефтяных залежей, близких по значениям к аналогам Ленского, Анадырского и Сахалинского угленефтегазоносных бассейнов [Гресов, 2011, 2012, 2014]. При этом, указанные газоматеринские источники характеризуются индивидуальными геохимическими показателями (табл. 2, 3).

Исходя из значений δ<sup>13</sup>С СН<sub>4</sub>, и С<sub>2</sub>Н<sub>6</sub> и значений газогеохимических показателей (табл. 2, 3), газы современных осадков являются биохимогенными. В миграционных газах

торфяников и лигнитов также доминирует биохимогенная составляющая. Газы этих генетических групп представляют начальную стадию углегазообразования с доминированием процессов окисления ОВ. Газы кайнозойских газовых скоплений и залежей характеризуется полигенезисным составом. Газы твердых битумов, угольных, газовых и предполагаемых конденсатногазовых, газоконденсатных, нефтегазовых, газонефтяных залежей относятся к метаморфогенным, магматических образований – магматогенным.

Максимальными концентрациями метана характеризуются участки осадков на площадях развития угольных залежей (в среднем  $0.36 \text{ см}^3/\text{кг}$ , табл. 2), минимальными – магматических пород, битумов и предполагаемых газонефтяных, нефтегазовых залежей (в среднем  $0.01$ ). Промежуточное положение (в среднем  $0.02\text{--}0.04 \text{ см}^3/\text{кг}$ ) занимают участки донных осадков, характеризующиеся газогеохимическими показателями торфяников, лигнитов, газовых и предполагаемых газоконденсатных, конденсатногазовых залежей.

Содержания этана и этилена (в сумме) в осадках достигают  $0.007 \%$ , пропана и пропилена –  $0.0015$ , n-бутана и i-бутана –  $0.0017$ , i-пентана –  $0.00014 \%$ . Максимальными концентрациями гомологов метана (суммарно по гомологам метана до  $0.03 \text{ см}^3/\text{кг}$ ) характеризуются участки осадков на площадях развития угольных и предполагаемых газонефтяных залежей, минимальными – современных осадков, торфяников, лигнитов и магматических пород (в среднем  $0.001\text{--}0.003 \text{ см}^3/\text{кг}$ ). Промежуточное положение занимают участки, характеризующиеся газогеохимическими показателями газовых и предполагаемых нефтегазовых, газоконденсатных, конденсатногазовых скоплений и залежей (табл. 2).

В процессе исследований установлены участки донных осадков с аномальными концентрациями  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и УВГ,  $\text{H}_2$  и  $\text{He}$ , превышающие **5**, **0.05** и **0.001**, **0.005** и **0.005**  $\text{см}^3/\text{кг}$  соответственно [Яшин, Ким, 2007; Гресов и др., 2017].

Аномальные концентрации метана в донных осадках зафиксированы на площадях развития углегазоносных формаций и газовых залежей Чаунской, Айонской впадин и крыльев впадины Лонга, в пределах приразломных зон Северо-Айонского, Чаунского, Шелагского и Врангелевского разломов. Аналогичная ситуация наблюдается на участках с положительными температурами осадков (таликов), являющимися зонами газовой разгрузки. Аномальными показателями также характеризуются площади развития предполагаемых конденсатногазовых залежей северного крыла прогиба Лонга (станция 80) и Айонской впадины (станции 9, 13). Это же относится к площади развития предполагаемой нефтегазовой залежи Айонской впадины (станция 18, рис. 6 А).

Специфической особенностью Пегтымельского и Лонгского бассейнов является формирование аномальных концентраций гомологов метана в донных отложениях на большей части их площади (рис. 6 В). В Айонском бассейне аномальные показатели установлены в приразломных зонах Северо-Айонского, Северо-Чаунского и Чаунского разломов (рис. 6 В). Аномальные концентрации также отмечаются на площадях развития углей и предполагаемых конденсатногазовых, газоконденсатных и газонефтяных залежей.

Содержания **углекислого газа** в четвертичных осадках и торфяниках в среднем составляют 1.2 и 21.8 % (3.6 и 136.8 см<sup>3</sup>/кг), эффузивных породах – 32.8 (157.2), песчаниках – 7.79 (68.1), углях и лигнитах – 11.9 и 21.4 % (148.4–283.4 см<sup>3</sup>/кг) в интервале опробования 21–148 м (рис. 5). Показатели  $\delta^{13}\text{C}$  биохимогенного CO<sub>2</sub> четвертичных отложений и торфяников изменяются в пределах – 38.8...-50.9‰, биометаморфогенного – лигнитов и бурых углей от -23.7 до -32.4, метаморфогенного – каменных углей -21.8, магматогенного – эффузивных пород -15.4...-18.4‰ [Гресов и др., 2017].

Содержание углекислого газа в **донных осадках** района исследований изменяется от 0.4 до 8.9 % (0.5–29.2 см<sup>3</sup>/кг). Средние значения концентраций и изотопного состава углерода CO<sub>2</sub> приведены в таблице 2. Аномальные концентрации CO<sub>2</sub> в донных осадках Айонского бассейна, Шелагского, Врангелевского и Северо-Шелагского поднятий (рис. 6Б) наблюдаются на площадях развития магматических образований и зон глубинных разломов (21–29 см<sup>3</sup>/кг), лигнитов (7–15) и пластов бурого угля (15–19 см<sup>3</sup>/кг).

Содержание **водорода** в геологических образованиях **материкового** и **островного обрамления** достигает 1.4 %. Концентрации H<sub>2</sub> в четвертичных осадках не превышают 0.0002 % (0.003 см<sup>3</sup>/кг), в лигнитах и бурых углях – 0.02 и 0.07 (0.3 и 1.6), песчаниках – 0.14 (0.8) и эффузивах – 1.4 % (4.2 см<sup>3</sup>/кг). Содержание H<sub>2</sub> в **донных осадках** изменяется в пределах 0.0001–0.07 % (0.001–0.19 см<sup>3</sup>/кг). Максимальные концентрации водорода (до 0.12–0.19 см<sup>3</sup>/кг) установлены на площадях развития магматических пород Шелагского поднятия и Чаунской впадины в зонах одноименных глубинных разломов (рис. 1, рис. 6Г). Формирование аномальных концентраций H<sub>2</sub> в донных осадках (до 0,034 см<sup>3</sup>/кг) Врангелевского и Северо-Шелагского поднятий, Лонгского и Северо-Врангелевского прогибов контролируется поднятиями архей-протерозойского фундамента и рифей-вендского супракрустального комплекса в зонах дислокации разломов и тектонических нарушений (рис. 2, рис. 6Г). Обращает внимание сходство распределения водородных и углекислотных газогеохимических полей района исследований (рис. 6Б, Г), формирование которых, по-видимому, обусловлено процессами миграции H<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> из общих газоматеринских источников. Концентрации водорода в осадках на площадях развития угольных пластов достигает 0.12 см<sup>3</sup>/кг, предполагаемых конденсатногазовых и

нефтегазовых скоплений и залежей – 0.05–0.015 см<sup>3</sup>/кг. Природа водорода в донных осадках – миграционная. Часть водорода, возможно, образовалась в донных отложениях в процессе биохимических реакций [Гресов и др., 2017].

Содержание **гелия** в бурых углях **материкового обрамления** не превышает 0.0004 % (0,001 см<sup>3</sup>/кг). Аномальные концентрации гелия 0.012–0.025 см<sup>3</sup>/кг установлены в **донных осадках** Геральдско-Врангелевского массива, крыльях впадины Лонга (0.012–0.014) и зонах Врангелевского, Северо-Айонского, Чаунского разломов (0.009–0.035). Средними значениями (> 0.01 см<sup>3</sup>/кг) характеризуются площади развития магматических пород, твердых битумов и предполагаемых газонефтяных скоплений и залежей (табл. 2). Гелий относится к радиогенному типу миграционных газов, образовавшихся в процессе радиоактивного распада на больших глубинах, и поступающих в верхние слои литосферы по зонам разломов.

**Окись углерода** эпизодически отмечалась в донных осадках района исследований в зонах развития магматических пород и глубинных разломов. Содержание СО не превышало 0,00014 %, генетическая природа в осадках – миграционная. В Чаунской впадине окись углерода присутствует в составе магматических пород побережья в концентрациях до 0.005 % (0.017 см<sup>3</sup>/кг) [Гресов, 2012; Гресов и др., 2017]. Содержание **азота** и **аргона** в донных осадках изменяется в пределах 72.7–95.5 и 0.12–0.46 %. Часть Ar и N<sub>2</sub> характеризуется воздушным происхождением, другая – глубинным. В донных осадках Айонского бассейна и Северо-Шелагского поднятия эпизодически фиксировался **сероводород** в концентрациях до 0.0048 % (0.014 см<sup>3</sup>/кг), генезис которого, по-видимому, связан с биохимическими реакциями [Гресов и др., 2017].

## ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Основными геологическими факторами, влияющими на формирование и распределение газонасыщенности донных осадков юго-восточного сектора Восточно-Сибирского моря, являются: история геологического развития, тектоника, магматизм, литологический состав и катагенез осадочных пород, геокриологические условия, угленосность и нефтегазоносность.

**История геологического развития.** Основные этапы эрозии и дегазации породного комплекса района исследований обусловлены характером орогенических фаз складчатости. С положительными формами движениями земной коры связаны процессы интенсивной дегазации и максимального подтока глубинных газов к поверхности. Данные процессы, по-видимому, определяют формирование аномальной газонасыщенности донных осадков в пределах поднятий верхней коры в Лонгском (рис. 2) и Айонском

бассейнах. Купольные поднятия верхней части коры, поднимаясь до глубин 10 км, влияют на процессы миграции газов и развитие в осадках аномальных газогеохимических полей Шелагского, Врангелевского, Айонского и др. поднятий. С отрицательными формами движениями земной коры связано перекрытие отложений более молодыми осадками, замедление процессов дегазации, восстановление и возрастание концентраций газов в ранее дегазированных отложениях до средних и аномальных значений в Айонском и Лонгском бассейне (рис. 2, 6). Развитие аналогичных процессов предполагается и в слабоизученном Пегтымельском бассейне.

**Тектонический фактор.** Тектоническое строение фундамента впадин и поднятий юго-восточной части ВСМ имеет важное значение в формировании и распределении газонасыщенности донных осадков. Поскольку условия миграции газов в **антиклинальных** и **синклинальных** складках палеозой-мезозойского фундамента не одинаковы, характер распределения газонасыщенности отложений в этих складках – различный. В осадочных бассейнах максимальной дегазацией и миграцией газов характеризуются крылья синклиналей. С увеличением углов падения крыльев и замыкания складок в осадочных бассейнах наблюдается возрастание интенсивности миграции газов и формирование в осадках аномальных концентраций  $\text{CH}_4$ , УВГ,  $\text{H}_2$ , максимум которых отмечается в зонах выходов палеогеновых отложений под четвертичные осадки. В антиклинальных складках максимальная миграция газов наблюдается в центральных сводовых дислоцированных структурах поднятий, в донных осадках которых наблюдаются аномальные концентрации  $\text{H}_2$ ,  $\text{He}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и УВГ (рис. 2, 6). **Моноклинальные** складки района исследований обычно представлены средними значениями газонасыщенности донных осадков, редко – аномальными, приуроченными к зонам тектонических нарушений фундамента.

**Дизъюнктивные нарушения** в зависимости от степени их газопроницаемости являются как путями миграции газов, так и экранами, способствующими накоплению газов в мезозойских породных комплексах фундамента бассейнов. Газопроницаемость нарушений определяется его типом, амплитудой, углом падения сместителя, мощностью зоны дробления и литологическим составом пород в зоне дробления. *Продольные* простиранию пород нарушения (широтного простирания) благоприятствуют процессам сохранения и накопления газов в породах фундамента, *поперечные* (меридионального простирания) – процессам их дегазации и миграции газов в кайнозойские отложения. Нарушения данного типа способствуют формированию аномальной газонасыщенности донных осадков геоструктур района исследований. Функциональная роль *диагональных* нарушений зависит от изменения углов их простирания и газопроницаемости (рис. 6).

В результате **магматической деятельности** в породы мезозойского фундамента бассейнов привнесено значительное количество магматогенных газов, в т. ч.  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  и др. Внедрение интрузий сопровождалось формированием нарушений и зон трещиноватости, являющимися не только путями миграции, но и трещинными коллекторами газов. На площадях развития магматических образований и глубинных разломов Чаунской впадины, Шелагинского и Врангелевского поднятий в осадках наблюдается формирование аномальных углекислотно-водородных газогеохимических полей (рис. 6Б, Г). В целом, формирование структур тектономагматической активности и зон глубинных разломов, транзитно пересекающих породы верхней коры, палеозоя и мезозоя (рис. 4), обуславливают не только блоково-слоистое строение геоструктур, но и благоприятствуют процессам миграции газов в кайнозойский чехол осадочных бассейнов.

**Литологический состав** донных осадков имеет особое значение в формировании их газонасыщенности. С увеличением зернистости отложений, как правило, наблюдается снижение газонасыщенности в литологическом ряду пелит–алеврит–псаммит. Увеличение содержаний Сорг. в литотипах приводит к нарушению данной закономерности. С возрастанием стадии катагенеза отложений от ПК<sub>1</sub> до МК<sub>3</sub> отмечается резкое увеличение в осадках концентраций водорода, метана и его гомологов. Установлено, что в слабоцементированных угленосных кайнозойских отложениях осадочных бассейнов происходит интенсивная дегазация угольных пластов и миграция газов в донные осадки. Развитие на отдельных площадях слоев глин и аргиллитов, являющихся газоупорами, в значительной мере затрудняют указанные процессы и являются факторами сохранения и накопления газов в подстилающих их отложениях. Донные осадки района исследований представлены алевропелитами (49 %), алевропсаммитами (37), реже – псаммитами и глинистыми разновидностями (14 %). Выявлена слабая корреляционная связь ( $r = 0.37$ ) между концентрациями метана и содержанием в осадках пелитовой фракции [Геология..., 2003, 2004; Шакиров и др., 2013; Астахов и др., 2013; Гресов и др., 2017].

**Геокриологические условия.** Многолетнемерзлые породы (ММП) выполняют роль флюидоупора, затрудняющего процессы дегазации, «консервируют» имевшиеся газы, снижают газопроницаемость отложений и скорость их газоотдачи. Степень влияния ММП на газонасыщенность донных осадков определяется ее мощностью, выдержанностью по площади и временем образования. На участках дна с положительными температурами газонасыщенность осадков по метану и его гомологам в 1.5–8 раз превышает аналогичные показатели мерзлых грунтов. Аналогичная ситуация наблюдается и в показателях их газопроницаемости [Гресов, Яцук, 2013; Гресов, Обжиров, Яцук, 2014]. Следует отметить, что в пределах нижней границы ММП и талых пород в зонах тектонической

нарушенности установлены залежи свободных и растворенных газов, при вскрытии которых наблюдаются газопроявления и самоизлив вод с обильным газовыделением (скв. 21-г, 22-г, 23-г и др., рис.1). С аналогичной геолого-газовой ситуацией, по-видимому, связаны «факельные» газовыделения и аномальная газонасыщенность донных осадков в пределах купольного поднятия мерзлоты и таликов Геральдско-Врангелевского массива, концентрации метана и его гомологов которых достигают 12.2 и 0.02 см<sup>3</sup>/кг соответственно [Гресов и др., 2017].

**Угленосность.** Катагенез углей и углистого вещества пород сопровождается образованием значительных объемов газов (метана). По данным [Patteisky, 1956; Багринцева и др., 1968; Соколов и др., 1981; Гресов, 2012] установлено, что при преобразовании тонны лигнита до бурого угля стадии ПК<sub>1-2</sub> генерируется 20–25 м<sup>3</sup> метана, до ПК<sub>3</sub> – 50–55. При переходе бурых углей к каменным (до стадии МК<sub>3</sub>) дополнительно образуется 59–75 м<sup>3</sup> метана, от жирных к тощим (МК<sub>4</sub>–АК<sub>1</sub>) – 11–35. Исходя из значений (рис. 5, табл. 2), коэффициент сохраненности СН<sub>4</sub> в пластах бурых углей Айонского и Лонгского бассейнов не превышает 5 %, каменных углей Кукевеевской угленосной площади (материкового обрамления Лонгского бассейна) – 10 %.

В результате термального и контактного воздействия магматических образований на угольные пласты и углистое вещество в осадочных породах неокома до стадий МК<sub>4</sub>–АК<sub>1</sub> генерировались значительные объемы водорода, углекислого газа, метана и его гомологов, часть их которых не только мигрировала в кайнозойские отложения, но и стала одной из первопричин формирования аномальных газогеохимических полей в донных осадках района исследований (рис. 6).

В процессе изучения влияния катагенеза углей на формирование газонасыщенности донных отложений установлено, что средние концентрации метана и его гомологов на площадях развития каменных углей в 10 и 35 раз превышают аналогичные значения на участках распространения лигнитов (табл. 2).

Исходя из данных таблицы 2, угленосные формации являются одним из главных эпигенетических источников углекислого газа в донных осадках.

**Битуминозность** пород фундамента предопределила на ряде локальных участков юго-восточной части ВСМ формирование в донных осадках специфического состава газа, отличающегося газогеохимическими показателями от эпигенетических газов других газоматеринских источников (табл. 3) и близкими по значениям к твердым битумам (антраксолитам) материкового обрамления района исследований (табл. 1).

Газонасыщенность донных осадков в пределах распространения предполагаемых залежей битумов характеризуется низкими концентрациями СО<sub>2</sub>, относительно высокими

–  $H_2$  и УВГ, аномальными – He, а также промежуточными значениями газогеохимических показателей между конденсатногазовых и газоконденсатных залежей (табл. 2, 3).

**Нефтегазоносность.** Особое влияние на состав газа и газонасыщенность донных осадков оказывает нефтегазоносность района исследований. Юго-восточная часть ВСМ входит в состав Новосибирско-Чукотской нефтегазоносной провинции, в которой (с вероятностью 0.95) сосредоточено не менее 1.1 трлн  $m^3$  газа и 700 млн т. извлекаемых запасов и ресурсов нефти [Конторович и др., 2010].

Установлено, что состав газа осадков на площадях развития нефтегазовых и газонефтяных скоплений и залежей резко отличается по значениям  $M_{ув}$ , газогеохимическим коэффициентам и изотопного составу углерода  $CH_4$ ,  $C_2H_6$  и  $CO_2$  от остальных газоматеринских источников. На фоне относительно низких концентраций углекислого газа, метана и высоких – его гомологов, донные отложения указанных площадей характеризуются аномальными содержаниями гелия и водорода (табл. 2, 3).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В геологическом строении юго-восточной части ВСМ принимают участие допалеозойские образования и палеозой-кайнозойские отложения, в которых выделяются пять структурно-стратиграфических сейсмокомплексов, разделенных между собой поверхностями несогласий: девон-среднепермский, верхнепермско-нижнеюрский, верхнеюрско-барремский, апт-верхнемеловой и кайнозойский.

2. В составе газа пород и донных осадков установлены: УВГ ( $CH_4$ ,  $C_2-C_5$  и их непредельные гомологи),  $CO_2$ ,  $H_2$ , He,  $N_2$  и Ar, в редких случаях CO и  $H_2S$ . В донных отложениях присутствуют *сингенетические* УВГ современных осадков и *эпигенетические* – бурогольной формации, газовых скоплений и залежей кайнозойского возраста, мезозойских магматических пород, угольных и газовых залежей, а также предполагаемых мезозой-палеозойских битумоносных, конденсатногазовых, газоконденсатных, нефтегазовых, газонефтяных скоплений и залежей, характеризующиеся индивидуальными геохимическими показателями, близкими по значениям к аналогам Ленского, Анадырского и Сахалинского угле-нефтегазоносных бассейнов.

3. Формирование газонасыщенности донных отложений и газогеохимических полей района исследований в большинстве случаев связано с процессами смешивания различных по генезису УВГ, подчиняющегося правилам *аддитивности*, т.е. путем последовательного накопления миграционных УВ. Это наглядно наблюдается в осадочных бассейнах, где продукты генерации разных газоматеринских источников, вследствие вышеуказанного процесса суммируются, а генетические особенности газовой фазы

донных осадков как бы сглаживаются, при этом отмечается доминирование геохимических показателей УВГ более газоносного газоматеринского источника.

4. Установлено, что газонасыщенность донных осадков в целом зависит от комплексного влияния геологических факторов, основными из которых являются история геологического развития, тектоника, магматизм, литологический состав и катагенез осадочных пород, геокриологические условия, угленосность, битумоносность и нефтегазоносность района исследований.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-05-70038 «Ресурсы Арктики»; гостемы 0271-2019-0006 «Газогеохимические поля морей Востока Азии, геодинамические процессы и потоки природных газов, влияющие на формирование геологических структур с залежами углеводородов и аутигенной минерализации в донных осадках».

#### ЛИТЕРАТУРА

**Астахов А.С., Гусев Е.А., Колесник А.Н., Шакиров Р.Б.** Условия накопления органического вещества и металлов в донных осадках Чукотского моря // Геология и геофизика. 2013, № 9, с. 82–88.

**Багринцева К.И., Васильев В.П., Ермаков В.И.** Роль угленосных толщ в процессах генерации и накопления природного газа // Геология нефти и газа, 1968, № 6, с. 12–14.

**Безродных Ю.П.** Строение и основные черты развития приматериковой окраины шельфовой зоны Центральной Чукотки // Советская геология, 1983, № 5, с. 73–82.

**Ващилов Ю.Я.** Глубинная структура, геодинамика и геокинематика Северо-Востока России. Структура и геокинематика литосферы Востока России. Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1993, с. 19–43.

**Велев В.Х.** Молекулярная масса углеводородной фракции и весовое распределение компонентов  $C_1$ – $C_5$  в природных газах разных генетических типов. В сб.: Органическая геохимия нефтей, газов и органического вещества докембрия. М.: Наука, 1981, с. 22–28.

**Верба, М.Л.** Палеозойские породы в осадочном чехле северной окраины Восточно-Сибирского моря и их вклад в общую оценку перспектив нефтегазоносности // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2016, № 4. [http://www.ngtp.ru/rub/5/46\\_2016.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/5/46_2016.pdf).

**Виноградов В.А., Горячев Ю.В., Гусев Е.А., Супруненко О.И.** Возраст и структура осадочного чехла Восточно-Арктического шельфа России. Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. СПб.: ВНИИОкеанология, 2004, вып. 5, с. 202–212.

**Высоцкий И.В.** Геология природного газа. М.: Недра, 1979. 392 с.

**Геология и полезные ископаемые шельфов России.** Арктические моря России. Атлас. Лист 3–14. М.: Научный мир, 2003, 278 с.

**Геология и полезные ископаемые России.** Т. 5. Кн. 1. Арктические моря / Ред. И.С. Грамберг, В.Л. Иванов, Ю.Е., Погребницкий. СПб.: ВСЕГЕИ, 2004. 468 с.

**Государственная геологическая карта** Российской Федерации масштаба 1:1000 000 (новая серия). Лист R-60-(2) – остров Врангеля. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. 128 с.

**Государственная геологическая карта** России и прилегающих акваторий. Масштаб 1:2 500 000. СПб.: ВСЕГЕИ, 2016а.

**Государственная геологическая карта** Российской Федерации масштаба 1:200000. Серия Аннойско-Чаунская, лист R-59-XXXI,XXXII. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2016б, 102 с.

**Государственная геологическая карта** Российской Федерации. Масштаб 1:1 000000 (третье поколение). Серия Лаптево-Сибироморская. Лист S-53 (о. Столбовой), 54 (Ляховские о-ва). Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2016в, 309 с.

**Грамберг И.С., Пискарев А.Л., Беляев И.В.** Блоковая тектоника дна Восточно-Сибирского и Чукотского морей по данным анализа гравитационных и магнитных аномалий // ДАН, 1997, № 5, с. 656–659.

**Гресов А.И.** Геохимическая классификация углеводородных газов углефтегазоносных бассейнов Востока России // Тихоокеанская геология. 2011, № 2, с. 85–101.

**Гресов А.И.** Метаноресурсная база угольных бассейнов Дальнего Востока и перспективы её промышленного освоения. Том II. Углеметановые бассейны Республики Саха (Якутия) и Северо-Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2012, 468 с.

**Гресов А.И., Яцук А.В.** Газовая зональность и газоносность многолетнемерзлых отложений угленосных бассейнов Восточной Арктики и прилегающих регионов // Геоэкология, 2013, № 5, с. 387–398.

**Гресов А.И., Обжиров А.И., Яцук А.В.** Геоструктурные закономерности распределения мерзлоты в углегазоносных бассейнах Северо-Востока России // Криосфера Земли, 2014, № 1, с. 5–13.

**Гресов А.И.** Геолого-промышленная оценка метаноресурсного потенциала и перспектив углеметанового промысла в углегазоносных бассейнах Северо-Востока России: дис. док. геол. - минер. наук. Томск: ТНПУ, 2014, 347 с.

**Гресов А.И., Шахова Н.Е., Сергиенко В.И., Семилетов И.П., Яцук А.В.** Изотопно-геохимические показатели углеводородных газов донных осадков шельфа Восточно-Сибирского моря // ДАН. 2016, № 6, с. 711–713.

**Гресов А. И., Обжиров А. И., Яцук А. В., Мазуров А.К., Рубан А.С.** Газоносность донных осадков и геохимические признаки нефтегазоносности шельфа Восточно-Сибирского моря // Тихоокеанская геология, 2017, № 4, с. 78–84.

**Гусев Е.А., Андреева И.А., Аникина Н.Ю., Бондаренко С.А., Дервянко Л.Г., Ключиткина Т.С., Поляк Л.В., Полякова Е.И., Попов В.В., Степанова А.Ю.** Стратиграфия позднекайнозойских осадков Чукотского моря по результатам неглубокого бурения. В кн.: Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. Выпуск 1. М.: ГЕОС, 2009. с. 89–103.

**Дараган-Суцова Л.А., Петров О.В., Соболев Н.Н., Дараган-Суцов Ю.И., Гринько Л.Р., Петровская Н.А.** Геология и тектоника северо-востока Российской Арктики (по сейсмическим данным) // Геотектоника, 2015, № 6, с. 3–19.

**Жигарев Л.А.** Закономерности развития криолитозоны арктического бассейна. В сб.: Криолитозона арктического шельфа. Якутск: ИМ СО РАН, 1981, с. 4–17.

**Иванов В.В.** Осадочные бассейны Северо-Восточной Азии. М.: Наука, 1985, 208 с.

**Ихсанов Б. И.** Позднемезозойские и кайнозойские деформации осадочных бассейнов акватории Чукотского моря: дис. канд. геол.-минер. наук. М.: МГУ, 2014, 116 с.

**Казанин Г.С., Верба М.Л., Иванов Г.И., Кириллова-Покровская Т.А., Смирнов О.Е.** Тектоническая карта Восточно-Сибирского моря: роль палеозойского комплекса осадочного чехла (по сейсмическим данным МАГЭ) // Разведка и охрана недр, 2017, № 6, с. 61–67.

**Клубов Б. А.** Природные битумы Севера. М.: Наука, 1983, 205 с.

**Ким Б.И., Яшин Д.С., Евдокимова Н.К.** Углеводородный потенциал отложений осадочного чехла шельфов Восточно-Арктических морей России (Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского) // Геология нефти и газа, 2008, №2, с. 4–13.

**Конторович А.Э, Эпов М.И, Бурштейн Л.М., Каминский В.Д., Курчиков А.Р., Малышев Н.А., Прищепа О.М., Сафронов А.Ф., А.В. Ступакова А.В., Супруненко О.И.** Геология, ресурсы углеводородов шельфов Арктических морей России и перспективы их освоения // Геология и геофизика, 2010, № 1, с. 7–17.

**Косьюко М.К.** Восточно-Арктический шельф России: геология и тектонические основы нефтегазогеологического районирования: дис. док. геол.-минер. наук. СПб.: ВНИИОкеанология, 2007, 275 с.

**Мальшев Н.А., Обметко В.В., Бородулин А.А., Баринаева Е.М., Ихсанов Б.И.** Тектоника осадочных бассейнов российского шельфа Чукотского моря. Материалы XXIII Тектонического совещания: Тектоника и геодинамика складчатых поясов и платформ фанерозоя. ГИН РАН, Москва, 2010, т. 2, с. 23–29.

**Нестеров И.И.** Критерии прогнозов нефтегазоносности. М.: Недра, 1969, 334 с.

**Никитин С.П., Тихонов А.П., Филиппов Ю.В.** О перспективах гидратоносности восточной Якутии. Влияние механических и температурных полей на процессы аккумуляции углеводородов. В сб. науч. трудов. Якутск: СО АН СССР, 1985, с. 111–120.

**Петровская Н.А., Савишкина М.А.** Сопоставление сейсмокомплексов и основных несогласий в осадочном чехле шельфа Восточной Арктики // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2014, № 3, с. 1–26.

**Половков В.В.** Выявление залежи углеводородов в Восточно-Сибирском море с помощью совместного использования отраженных и преломленных сейсмических волн // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2011, № 4, с. 1–17.

**Полякова И.Д., Борукаев Г.Ч., Сидоренко С.А.** Потенциальная нефтегазоносность Восточно-Сибирского моря // Геология нефти и газа, 2017, № 1, с. 3–10.

**Сдободин В.Я., Ким Б.И., Степанова Г.В., Коваленко Ф.Я.** Расчленение разреза Айонской скважины по новым биостратиграфическим данным. Стратиграфия и палеонтология мезо-кайнозоя Советской Арктики. Изд-во ПГО «Севморгеология», 1990, с. 43–58.

**Соколов В.Л., Симоненко В.Ф., Гуляева Н.Ф.** Экспериментальное изучение газообразования при углефикации. В сб.: Органическая геохимия нефтей, газов и органического вещества. М.: Наука, 1981, с. 72–83.

**Старобинец И.С., Петухов А.В., Зубайраев С.Л. и др.** Основы теории геохимических полей углеводородных скоплений. М.: Недра, 1993. 322 с.

**Ступакова А.В., Сулова А.А., Большакова М.А., Сауткин Р.С., Санникова И.А.** Бассейновый анализ для поиска крупных и уникальных месторождений в Арктике // Георесурсы, 2017, спецвыпуск 1, с. 19–35.

**Сухорослов В.Л.** Кайнозойские отложения побережья пролива Лонга (северное побережье Чукотки) // Геология и геофизика, 1978, № 11, с. 82–88.

**Трофимук А.А., Шило П.А., Иванов В.В.** Нефтегеологическое районирование Северо-Востока СССР и прилегающего шельфа. В кн.: Проблемы нефтегазоносности Северо-Востока СССР, Тр. СВКНИИ, 1973, вып. 40, с. 3–22.

**Угольная база России.** Т. V, кн. 2. М.: Геоинформмарк, 1999, 638 с.

**Фандюшкин Г.А.** Закономерности углеобразования на Северо-Востоке России. Губкин: ОАО «Губкинская типография», 2006. 344 с.

**Флюидогеодинамика и нефтегазоносность северо-восточной окраины Азии.** Масштаб 1: 2500000 / Ред. Ю.А. Косыгин. Хабаровск, Дальаэрогеодезия ГУГК, 1989, 102 с.

**Цыганкова И.П.** Блоково-слоистая модель структуры Айонско-Аачимского района шельфа Восточно-Сибирского моря: дис. канд. геол.-минер. наук. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2005, 137 с.

**Шакиров Р.Б., Сорочинская А.В., Обжиров А.И.** Геохимические аномалии в осадках Восточно-Сибирского моря // Вестник КРАУНЦ. 2013, № 1, с. 98–110.

**Шахова Н.Е., Семилетов И.П., Бельчева Н.А.** Растворенный метан в шельфовых водах Арктических морей // ДАН, 2005, № 4, с. 529–533.

**Яшин Д.С., Б.И. Ким.** Геохимические признаки нефтегазоносности Восточно-Арктического шельфа России // Геология нефти и газа. 2007, № 4, с. 24–35.

**Abrams M.A.** Significance of hydrocarbon seepage to petroleum generation and entrapment // Marine and Petroleum Geology. 2005, № 22. p. 457–477.

**Abrams M.A.** Evaluation of Near-Surface Gases in Marine Sediments to Assess Subsurface Petroleum Gas Generation and Entrapment. *Geosciences*. 2017, № 7, 35. 29 p.

**Bird Kenneth J.** Arctic Coastal Plain province // United States Geological Service bulletin. 1993, № 2034, p. A8–A25.

**Burlin, Y.K. and Y.V. Schipel'kevich**, 2006, Principal features of the tectonic evolution of sedimentary basins in the western Chukchi shelf and their petroleum resource potential: *Geotectonics*, v. 40/2, p. 135–149.

**Drachev, S.S., L.A. Savostin, V.G. Groshev & I.E. Bruni**, 1998, Structure and geology of the continental shelf of the Laptev Sea, Eastern Russian Arctic, *Tectonophysics* V. 298, p. 357–393.

**Franke D., Hinz K., Reichert Ch.** Geology of the East Siberian Sea, Russian Arctic, from seismic images: structures, evolutions, and implications for the evolution of the Arctic Ocean Basin // *J. Geophys. Res.*, 2004, v. 109, № 7, p. 1–19.

**Jakobsson, M.**, et al. (2012). The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) Version 3.0, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L12609, doi: 10.1029/2012GL052219.

**Katkov, S.M., A. Strickland, E.L. Miller, and J. Toro**, 2007, Age of granite batholiths in the Anyui-Chukotka Foldbelt: *Doklady Earth Sciences*, v. 414/4, p. 515–518.

**Miller, E.L., and V. Verzhbitsky**, 2009, Structural studies near Pevek Russia: Implications for formation of the East Siberian Shelf and Makarov Basin of the Arctic Ocean, in D.B. Stone and others, (eds.), *Geology, Geophysics and Tectonics of Northeastern Russia: A Tribute to L. Parfenov*: Stephan Mueller Special Publication Series 8, European Geophysical Union, p. 223–241.

**Morrel G. R., Fortier M., Price P. R., Polt R.** Petroleum exploration in Northern Canada: A guide to oil and gas exploration and potential / Northern oil and gas directorate Indian and Northern Affairs Canada. — Chap. 5. — [S. l.], 1995. — P. 116.

**Patteisky K.** Die Entstehung des Grubengasses. *Bergbau Arch.*, 1950, Bd.11/12, № 1. p. 5–24.

**Sherwood K.W., Craig J.D., Cook L.W.** et al. Undiscovered oil and gas resources // Alaska Federal Offshore. As of January 1995. U.S. Department of the Interior Minerals Management Service, Alaska OCS Monograph, MMS 980054. 1998. 531 p.

**Sherwood K.W, P.P. Johnson, J.D. Craig, S.A. Zerwick, R.T. Lothamer, D.K. Thurston, and S.B. Hurlbert**, 2002, Structure and stratigraphy of the Hanna Trough, U. S. Chukchi Shelf, Alaska: *GSA Special Paper*, v. 360, p. 39–66.

**Thurston D.K. and Theiss L.A.**, 1987. Geologic Report for the Chukchi Sea Planning Area, Alaska. Regional Geology, Petroleum Geology, and Environmental Geology. U.S. Department of the Interior Minerals Management Service, Alaska OCS Region, Anchorage.

**Verzhbitsky, Vladimir E., Sergey D. Sokolov, Erling M. Frantzen, Alice Little, Marianna I. Tuchkova, and Leopold I. Lobkovsky**, 2012, The South Chukchi Sedimentary Basin (Chukchi Sea, Russian Arctic): Age, structural pattern, and hydrocarbon potential, in D. Gao, ed., *Tectonics and sedimentation: Implications for petroleum systems: AAPG Memoir 100*, p. 267–290.

## Подписи к рисункам

**Рис. 1.** Структурно-тектоническая карта юго-восточного сектора Восточно-Сибирского моря [Геология..., 2003] с дополнениями [Государственная..., 2016a]: 1 – осадочные бассейны: I – Айонский, II – Пегтымельский, III – Лонгский [Петровская, Савишкина, 2014]. 2 – геоструктуры: 1 – Чаунская впадина, 2 – Айонская впадина, 3 – Айонское поднятие, 4 – впадина Лонга, 5 – поднятие Врангеля, 6 – Северо-Шелагское поднятие, 7 – Пегтымельская впадина, 8 – Пегтымельское поднятие, 9 – Шелагское поднятие, 10 – Медвежинское поднятие, 11 – Барановское поднятие. 3 – разломы: 1 – Шелагский, 2 – Чаунский, 3 – Нейтлин-Наглейненский, 4 – Северо-Айонский, 5 – Врангелевский, 6 – Северо-Чаунский, 7 – Северо-Врангелевский, 8 – Восточно-Раучуанский. 4 – тектонические нарушения: а – достоверные, б – предполагаемые; в, г – сбросы (штрихи на опущенном крыле); д, е – взбросы (штрихи на приподнятом крыле); ж, з – неустановленного типа. 5 – изолинии гетерогенного фундамента, км [Государственная..., 2016a]. 6 – погребенные долины палеорек [Геология..., 2003]. 7 – углепроявления: а – бурого угля, б – каменного угля [Фандюшкин, 2005]. 8 – битумопроявления. 9 – газопроявления: а – из скважин; б – из водных источников [Флюидогеодинамика..., 1989]. 10 – скважины и их номера. 11 – станции отбора донных осадков и их номера (жёлтая заливка – первого этапа исследований, синяя – второго, зеленая – третьего). 12 – батиметрические отметки [Jakobsson, 2012]. На врезке – географическое расположение района исследований.

**Рис. 2.** Сейсмогеологический разрез Лонгского осадочного бассейна по профилю 5-AP [Казанин и др., 2017] с результатами определения газонасыщенности донных осадков [Гресов и др., 2017] с дополнениями: 1 – диоритовый слой верхней коры, 2 – гранитно-метаморфический слой, 3 – супракрустальный комплекс.

**Рис. 3.** Межрегиональная стратиграфическая корреляция палеозой-кайнозойских отложений шельфа восточной Арктики и северной Аляски [Малышев и др., 2010].

**Рис. 4.** Литологический состав неогеновых и четвертичных отложений о-ва Малый Роутан (скв. 882), губы Нольде (скв. 3), побережья Чаунской губы (скв. 21-г) и пролива Лонга (скв. 4, 5, 6) по данным [Безродных, 1983]: 1 – галечники, 2 – гравий, 3 – пески крупнозернистые, 4 – пески мелко-среднезернистые, 5 – алевриты, 6 – илы пелитовые, 7 –

глины, 8 – щебень, 9 – прослой и пласты торфа, лигнитов и бурых углей, 10 – рассеянные растительные остатки, 11 – почвенный слой, 12 – лед. Расположение скважин см. рис. 1.

**Рис. 5.** Изменение газоносности лигнитов и бурых углей Чаунской впадины в зависимости от глубины их залегания (Метаноносность каменных углей Кукевеевской угленосной площади на горизонте 50 м в среднем составляет  $380 \text{ см}^3/\text{кг}$ , 100 м – 1270, 150 м – 2480  $\text{см}^3/\text{кг}$ , 300 м – 8720  $\text{см}^3/\text{кг}$  [Гресов, 2014]).

**Рис. 6.** Распределение газонасыщенности донных отложений района исследований: А –  $\text{CH}_4$ , Б –  $\text{CO}_2$ , В – УВГ, Г –  $\text{H}_2$ .

**Табл. 1. Геохимические показатели УВГ материкового обрамления района исследований**

Источники газа	Весовые концентрации в долях целого на 1000*					M <sub>ув.</sub> *, г/моль	Геохимические коэффициенты*		
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>		1	2	3
Четвертичные отложения (19)	999	1	сл	0	0	16.05	0.1	0.1	898
Торфяники (6)**	991	7	2	0	0	16.12	0.4	0.9	110
Скопления свободного газа (8)	989	7	3	1	0	16.15	3.0	1.1	90
Лигниты (21)	985	10	4	1	0	16.17	2.5	1.0	66
Бурые угли (24)	981	14	3	2	сл.	16.19	9.3	1.9	52
Каменные угли (6)	967	22	7	3	1	16.34	11.6	3.4	29
Магматические породы (6)	939	40	15	6	0	16.58	16.6	6.5	15
Твердые битумы (2)	856	53	40	47	4	17.55	64.1	16.8	6

Примечание: \* – средние значения, (6)\*\* – количество проб газа. C<sub>1</sub>–C<sub>5</sub> – метан и его гомологи. M<sub>ув.</sub> – молекулярная масса УВ фракции. Геохимические коэффициенты: 1 – преобразованности УВ фракции, Кпр. 2 – «влажности», Квл. 3 – «сухости», Ксух.

**Табл. 2.** Средние показатели газонасыщенности и изотопного состава  $\delta^{13}\text{C}$  в донных осадках

Газоматеринский источник (генетическая группа)	Газонасыщенность, см <sup>3</sup> /кг					$\delta^{13}\text{C}$ , ‰*		
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	УВГ	H <sub>2</sub>	He	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	CO <sub>2</sub>
<b>I.Современные осадки (12)</b>	3.4	0.019	0.0001	0.001	0.0001	-85.0	н.о	-39.9
<b>II.Торфяники (12)</b>	4.1	0.034	0.0001	0.003	н.о	-79.8	н.о	-38.8
<b>III. Лигниты (9)</b>	6.5	0,048	0.0002	н.о	н.о	-70.8	н.о	-32.4
<b>IV.Угольные залежи (42):</b>	9.6	0.356	0.0044	0.022	0.0042	-58.4	-29.1	-24.4
а. бурые угли (27)	10.4	0.294	0.0030	0.029	0.0033	-60.0	-29.1	-25.5
б. каменные угли (15)	8.1	0.469	0.0069	0.015	0.0052	-56.0	н.о	-22.0
<b>V.Газовые скопления и залежи (24)</b>	2.2	0.030	0.0003	0.025	н.о	-61.3	н.о	-28.2
а. кайнозойского возраста (15)	1.9	0.036	0.0002	0.025	н.о	-61.3	-31.8	-28.2
б. мезозойского возраста (9)**	2.7	0.020	0.0003	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
<b>VI.Магматические породы (18)</b>	12.6	0.014	0.0003	0.090	0.0108	-27.5	н.о	-17.1
<b>VII. Твердые битумы (6)**?</b>	2.9	0.014	0.0011	0.034	0.020	-41.6	н.о	н.о
<b>VIII.Конденсатногазовые скопления и залежи (21)**</b>	3.4							
		0.039	0.0019	0.012	0.0039	-39.5	н.о	-19.8
<b>IX.Газоконденсатные скопления и залежи (9)**</b>	4.4							
		0.015	0.0021	0.004	0.0031	-43.8	-26.1	-21.6
<b>X.Нефтегазовые скопления и залежи (21)**</b>	2.8	0.008	0.0012	0.046	0.0099	-43.3	-24.6	-20.8
<b>XI.Газонефтяные скопления и залежи (18)**</b>	4.5	0.012	0.0036	0.019	0.0124	-38.8	-17.0	-20.6

Примечание: \* – изотопный анализ выполнен в лабораториях стабильных изотопов Московского геологоразведочного института, Дальневосточного геологического института ДВО РАН и Университета Хоккайдо на масс-спектрометрах Finnegan MAT-350, Delta plus XL и GC Combustion III [Шакиров и др., 2013; Гресов и др., 2016, 2017]. \*\* – предполагаемые залежи; н.о – не определялся.

**Табл. 3.** Геохимические показатели углеводородных газов донных осадков юго-восточной части Восточно-Сибирского моря

Газоматеринский источник (генетическая группа)	Весовые концентрации в долях целого на 1000*					M <sub>ув.</sub> *, г/моль	Геохимические коэффициенты*		
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>		Кпр	Квл	Ксух
<b>I.Современные осадки (12)**</b>	<b>998</b>	<b>1</b>	<b>сл</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>16.05</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>632</b>
<b>II.Торфяники (12)</b>	<b>991</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>сл</b>	<b>0</b>	<b>16.12</b>	<b>2.0</b>	<b>0.9</b>	<b>109</b>
<b>III. Лигниты (9)</b>	<b>987</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>сл</b>	<b>16.16</b>	<b>2.9</b>	<b>1.3</b>	<b>78</b>
<b>IV.Угольные залежи (42):</b>	<b>979</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>сл</b>	<b>16.23</b>	<b>7.7</b>	<b>2.1</b>	<b>49</b>
а. залежи бурых углей (27)	981	13	4	2	0	16.20	6.7	1.9	52
б. залежи каменных углей (15)	974	15	7	4	сл	16.29	10.2	2.6	37
<b>V.Газовые скопления и залежи (24):</b>	<b>980</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>16.23</b>	<b>5.4</b>	<b>2.1</b>	<b>70</b>
а. кайнозойского возраста (15)	988	7	4	1	сл	16.15	2.7	1.2	89
б. мезозойского возраста (9)***	957	29	9	4	2	16.42	12.1	4.3	22
<b>VI.Магматические породы (18)</b>	<b>943</b>	<b>31</b>	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>сл</b>	<b>16.57</b>	<b>23.0</b>	<b>6.1</b>	<b>17</b>
<b>VII. Твердые битумы (6)</b>	<b>845</b>	<b>58</b>	<b>41</b>	<b>56</b>	<b>0</b>	<b>17.66</b>	<b>73.6</b>	<b>15.5</b>	<b>5.4</b>
<b>VIII.Конденсатногазовые скопления и залежи (21)***</b>	<b>892</b>								
		<b>54</b>	<b>20</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>17.12</b>	<b>36.7</b>	<b>10.8</b>	<b>8.9</b>
<b>IX.Газоконденсатные скопления и залежи (9)***</b>	<b>797</b>								
		<b>82</b>	<b>47</b>	<b>54</b>	<b>21</b>	<b>18.24</b>	<b>79.5</b>	<b>20.3</b>	<b>4.1</b>
<b>X.Нефтегазовые скопления и залежи (21)***</b>	<b>718</b>	<b>83</b>	<b>59</b>	<b>68</b>	<b>72</b>	<b>19.57</b>	<b>78.9</b>	<b>28.1</b>	<b>2.6</b>
<b>XI.Газонефтяные скопления и залежи (18)***</b>	<b>549</b>	<b>147</b>	<b>100</b>	<b>85</b>	<b>119</b>	<b>22.43</b>	<b>123.2</b>	<b>45.1</b>	<b>1.3</b>

Примечание: \* – средние значения, (12)\*\* – количество проб газа. C<sub>1</sub>–C<sub>5</sub> – метан и его гомологи. M<sub>ув.</sub> – молекулярная масса УВ фракции. Геохимические коэффициенты: Кпр – преобразованности УВ фракции, Квл – «влажности» (%), Ксух – «сухости». \*\*\* – предполагаемые скопления и залежи











