DOI: 10.30911/0207-4028-2020-39-1-92-101

УДК [553.98] (550.84)

ГЕОХИМИЯ И ГЕНЕЗИС УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ ЧАУНСКОЙ ВПАДИНЫ И АЙОНСКОГО ОСАДОЧНОГО БАССЕЙНА ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ

А.И. Гресов, А.В. Яцук

ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им В.И. Ильичёва ДВО РАН, ул. Балтийская 43, г. Владивосток, 690041; e-mail: gresov@poi.dvo.ru, yatsuk@poi.dvo.ru Поступила в редакцию 10 июня 2018 г.

В работе представлены результаты газогеохимических исследований Чаунской впадины и Айонского осадочного бассейна Восточно-Сибирского моря. Определен состав природного газа пород, газопроявлений и донных осадков. Установлены показатели молекулярной массы углеводородной фракции и весовых концентраций индивидуальных углеводородов, соотношения которых имеют корреляционногенетическое значение для углеводородных газов геологических образований. Составлена геохимическая классификация углеводородных газов донных осадков и схематическая карта газогеохимического районирования района исследований. Проведена оценка перспектив нефтегазоносности Чаунской впадины и Айонского бассейна.

Ключевые слова: газовая геохимия, осадочный бассейн, впадина, донные осадки, углеводородные газы, геохимические показатели, генезис, распределение, нефтегазоносность, шельф, Восточно-Сибирское море.

введение

Айонский осадочный бассейн расположен в юго-восточной части шельфа Восточно-Сибирского моря (ВСМ). Ширина бассейна, оконтуренного изогипсой 1 км подошвы кайнозойского осадочного чехла, составляет 130, длина – 200 км. Чаунская впадина, отделенная от Айонского бассейна островами Айон, Большой Роутан и Роутан, является естественным его продолжением в материковом направлении (рис. 1).

Геологическое строение района исследований изучено неравномерно. Максимальной степенью изученности характеризуются островной архипелаг и Чаунская впадина, где геологическое картирование масштаба 1:200 000 заверено данными бурения, геофизическими и литолого-стратиграфическими исследованиями керна пород и донных осадков [3, 4, 10, 19]. Геологические сведения об Айонском бассейне базируются на данных геологического картирования масштаба 1:2 500 000, сейсморазведочных, гравиметрических, магнитометрических работ и опробовании верхней части разреза дночерпателями и керноотборными трубками [1, 3, 5, 17, 22, 24].

Аналогичный характер наблюдается и в газогеохимической изученности. В Чаунской впадине изучен состав газа газопроявлений, осадочных пород и магматических образований, прибрежных четвертичных отложений и донных осадков, в Айонском бассейне – только донных осадков [7–9, 12, 13, 20]. При этом вопрос о происхождении углеводородных газов (УВГ) донных осадков до настоящего времени остается открытым. Сравнительный научный анализ на основе геохимической интерпретации результатов исследований, выполненный в настоящей работе, позволяет не только классифицировать генезис УВГ, но и оценить перспективы нефтегазоносности района исследований.

МЕТОДИКА И ОБЪЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение состава газа геологических образований Чаунской впадины осуществлялось методом отбора керна пород в герметические сосуды с последующей их дегазацией и хроматографическим анализом проб газа. В процессе работ отобрано 19 герметических сосудов и проанализировано 52 пробы газа, извлеченного при свободном выделении, вакуумной и термовакуумной дегазации. На территории г. Певек из инженерно-геологических скважин отобрано 8 проб свободного газа четвертичных отложений. В процессе работ использованы данные опробования 7 газопроявлений [9, 11, 13, 20].



Рис. 1. Схематическая структурно-тектоническая карта Айонского бассейна и Чаунской впадины [14] с дополнениями по [4, 5, 11].

1 – геоструктуры: І – Айонский грабен, ІІ – Айонский горст, ІІІ – Чаунская впадина; 2–3 – тектонические нарушения: 2 – сбросы (штрихи на опущенном крыле) (а), взбросы (штрихи на поднятом крыле) (б), 3 – номера и названия разломов: 1 – Южно-Чукотский, 2 – Чаунский, 3 – Нейтлин-Наглейненский, 4 – Северо-Айонский, 5 – Врангелевский, 6 – Северо-Чаунский; прерывистые линии – предполагаемые нарушения; 4 – изолинии мощности кайнозойского осадочного чехла, км [4, 5]; 5 – битумопроявления [11]; 6 – донная станция и ее номер, 7 – структурно-геологическая, поисковая, геологоразведочная скважина и ее номер; 8 – положение схематического геологического разреза. На врезке – расположение Айонского бассейна и Чаунской впадины.

Опробование донных осадков осуществлялось дночерпателями и керноотборными трубками в герметические сосуды с последующей их дегазацией и анализом проб газа. В пределах акваториальной части района исследований в период 1975–2016 гг. из керна осадков двух скважин (1п, 2п) и 24 донных станций (рис. 1) отобрано 55 проб в герметические сосуды (в интервалах опробования 0.5–9.0 и 0.3– 1.5 м) и 150 проб газа, излеченного при свободном выделении, вакуумной и термовакуумной дегазации. Глубины моря станций отбора донных осадков изменялись от 3 до 37 м.

Анализ газа пород и осадков производился в сертифицированных газовых лабораториях треста «Дальвостуглеразведка» и ТОИ ДВО РАН на хроматографах ЛХМ-8МД и КристалЛюкс-4000М в соответствии с ГОСТ 23781-87, ГОСТ 31371.3-2008 и нормативных документов паспортов вышеуказанных сертифицированных лабораторий, аттестованных Росстандартом.

В целом, методика газогеохимических исследований газопроявлений, пород и донных осадков соответствовала действующему нормативному руководству [18].

Интерпретация данных геохимических исследований заключалась в камерально-аналитических работах по определению комплекса количественных геохимических показателей: молекулярной массы углеводородной фракции (М_{ув}, г/моль), весовых концентраций индивидуальных углеводородов (УВ) и их соотношений (геохимических коэффициентов), являющихся индивидуальными генетическими маркерами для каждого геологического образования [6]. В процессе интерпретации генезиса УВГ использованы данные изотопного состава углерода метана и этана δ^{13} C (VPDB) работ [8, 9]. Данный методологический подход характеризуется не только научной новизной, но и более значимой информативностью и достоверностью получаемых результатов [6–9].

Молекулярная масса УВ фракции – величина средневзвешенной по массе ее индивидуальных членов ряда C₁–C₅ (г/моль), и *весовая концентрация* УВ, нормированная по отношению к M_{ув} в долях целого на 1000 [6], использовались как единый количественный показатель генетических особенностей УВГ.

Этановый коэффициент, предложенный В.Н. Никоновым [16]: К (C_2) = C_2 : $\sum C_3 - C_5(1)$, позволяет не только различать формы нахождения УВГ, но и косвенно характеризует их происхождение. В формуле – C_2 – весовая концентрация этана в долях целого на 1000, $\sum C_3 - C_5$ – сумма весовых концентраций пропана, бутана и пентана.

Коэффициент преобразованности УВ фракции. Изменение состава УВГ в процессе их длительного существования в коллекторах в условиях меняющихся термобарической и геохимической обстановок сопровождается изменением содержаний гомологов метана. С увеличением температуры происходит перераспределение в содержании гомологов метана – превращение пропана в этан и бутан [2], а также пропана и бутана в этан и пентан [15]. Для оценки степени преобразования гомологов метана в отечественной газовой геохимии используется отношение произведения весовых концентраций этана и бутана к концентрации пропана, названное коэффициентом преобразованности УВ фракции [2], в виде выражения: $K_{IID} = (C_2 \times C_4) : C_3 (2)$. Установлено, что коэффициент достаточно тесно связан с возрастом газоносного коллектора, т.е. указывает на продолжительность нахождения газа в ловушке [2, 6, 7].

Коэффициенты «сухости» и «влажности» УВ фракции. Первый, представленный соотношением $C_1 : \sum C_2 - C_5 (3)$, использовался в отечественной газовой геохимии [2], второй (коэффициент М.А. Абрамса): $\sum C_2 - C_5 : \sum C_1 - C_5 \ge 100 \%$ (4) – в зарубежной [23].

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Формирование Чаунской впадины и Айонского бассейна приурочено к Раучуанскому прогибу позднекиммерийской складчатости [1]. В структурном отношении район исследований представлен двумя одноименными впадинами, разделенными Айонским поднятием (горстом). Чаунская впадина является естественным продолжением бассейна в материковом направлении. Подтверждением этому является их общая история геологического развития и углеобразования [3, 4, 10].

Бассейновый комплекс отложений наложен на складчатые сооружения чукотских мезозоид, сложенных дислоцированными породами геосинклинального комплекса, представленных в районе исследований триасовыми, юрскими и меловыми образованиями.

Отложения триаса и ранней юры сложены кварцполевошпатовыми, полимиктовыми, известковистыми песчаниками. алевролитами. глинистыми и углисто-глинистыми сланцами, конгломератами общей мощностью до 3-7 км. Особый интерес представляют триасовые отложения норийского и карнийского ярусов, к которым приурочено формирование твердых битумов (антраксолитов) и наиболее древней угленосности района исследований. Образования позднеюрско-раннемелового возраста включают осадочные и вулканогенно-осадочные породы, представленные алевролитами, каменными углями, аргиллитами, песчаниками, андезитами, дацитами, риолитами и их туфами общей мощностью до 4 км. На позднекиммерийском основании района исследований залегает апт-кайнозойский осалочный чехол [3, 4, 7, 11, 12]. Породы основания (фундамента) дислоцированы нарушениям и вмещают интрузии ранне-среднетриасового и ранне-позднемелового возраста [3, 4]. Среди наиболее крупных нарушений выделяются структурообразующие разломы (Северо-Айонский, Чаунский, Северо-Чаунский, Нейтлин-Наглейненский, рис. 1), обусловливающие блоково-слоистое строение впадины и бассейна [22]. Наличие разломов, транзитно пересекающих породы фундамента, благоприятствует процессам миграции УВГ в кайнозойские отложения района исследований, практически не затронутыми разрывными дислокациями [1, 3, 10]. Породный комплекс фундамента характеризуется многообразием фациальных условий формирования осадочных отложений, среди которых особый интерес представляют меловые отложения, к которым приурочено формирование твердых битумов и каменных углей. 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 процентов в породах до 80-90 % - в угольных пластах. Аналогами нижнемеловых углей района исследований, по-видимому, являются угли Анюйского угольного бассейна, прогнозная метаноносность которых достигает 12 000 см³/кг. Угли бассейна метаморфизованы до стадий МК₁-МК₃. Содержание битумоида в меловом комплексе пород находится в тесном соответствии с содержанием ОВ – от тысячных долей до единиц процента (2.8 %). В групповом составе битумоидов преобладают смолы, асфальтены и ароматические фракции [3, 4, 7, 11, 12].

Бассейновый комплекс разделяется на три подкомплекса: апт-палеогеновый, миоценовый и плиоцен-четвертичный. В основании первого, по данным опорной скважины № 1 (рис. 2), располагается кора выветривания, представленная пестроцветными глинами с обломками подстилающих их плотных алеврито-песчано-сланцевых пород мезозойского основания. Вышележащие палеогеновые отложения сложены переслаивающимися слабосцементированными песчаниками, гравелитами, галечниками, алевролитами; в верхней части разреза – песками и глинами, содержащими большую примесь органического материала. Угленосные отложения среднего-нижнего палеоцена и нижнего эоцена содержат многочисленные линзы и пласты бурых углей (марочного состава 1Б-2Б) мощностью до 6-8 м. Формирование отложений подкомплекса происходило в континентальных условиях. Миоценовый подкомплекс представлен переслаиванием песков, алевритов, глин с прослоями и пластами бурых углей в нижней части разреза и лигнитов – в верхней. Мощность пластов бурых углей марочного состава 1Б достигает 2-4 м, лигнитов – 1–2 м [3, 10, 19].

Плиоцен-четвертичные отложения представлены осадками континентальных, прибрежно-морских и морских фаций. Отложения плиоцена сложены галечниками, гравийниками, песками с прослоями алевритов и торфов. Плейстоценовые осадки представлены песками с гравием, галькой, прослоями алевритов и тонкими линзовидными прослоями крупнозернистого песка, гравия и торфа в нижних частях разреза. Отложения имеют широкое распространение в днищах погребенных палеодолин Чаунской и Айонской впадин. В пределах Айонского поднятия преобладают разнозернистые пески с гравием, прослоями глин и алевритов, линзами торфа (0.1-0.7 м), растительными остатками и обломками лигнитизированной древесины. Необходимо отметить, что большую часть кайнозоя, территория района исследований находилась на суше и лишь в голоцене стала акваторией. Голоценовые осадки (мощностью до 5-8 м) представлены алевритами, алевропелитами, алевропсамитами, глинистыми алевритами с прослоями разнозернистых песков в нижней части разреза и растительного детрита [3, 4, 10, 19].

В процессе исследований установлено, что количество тонкообломочных разновидностей пород и осадков морских фаций возрастает в направлении увеличения мощности осадочного чехла (от Чаунской к Айонской впадине) от 0.3 до 2.9 км. Исходя из геологических позиций к оценке нефтегазоносности слабоизученных регионов (по А.Д. Наливкину, 1981), в районе исследований можно выделить перспективную площадь в мульдовой части Айонской впадины, оконтуренной изолинией мощности кайнозойского осадочного чехла более 2-х км, приуроченной к северному крылу Раучуанского прогиба (рис. 1). Геохимические параметры верхнетриасовых и нижнемеловых отложений Айонского бассейна свидетельствуют о благоприятных газоматеринских свойствах этих породных комплексов. Геологические перспективы газоносности Чаунской впадины связаны с углегазоносными формации (угольным метаном).

РЕЗУЛЬТАТЫ ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В пределах материкового и островного обрамления района исследований УВГ газопроявлений представлены метаном (1.7–77.5 %), этаном (0.0003– 0.71), пропаном (0.0001–0.13), бутаном (сл.–0.06) и пентаном (0–0.002 %).

Концентрации метана в четвертичных отложениях и торфяниках изменяются в пределах 0.03-0.55 и 1.12-1.25 %, эффузивных породах - 0.34-1.63, песчаниках - 3.91-4.04, лигнитах и углях - 1.7-40.4 %. Содержание этана в четвертичных отложениях и торфяниках достигает 0.0004 и 0.0074 %, эффузивных породах – 0.0144, песчаниках – 0.0234, лигнитах и углях – 0.13 и 0.33 %; пропана – 0.00001 и 0.0013 %, 0.0031, 0.0038, 0.037 и 0.075 %, соответственно. Концентрации бутана в торфяниках не превышают 0.00006 %. эффузивных породах – 0.00093, песчаниках – 0.0019, лигнитах и углях – 0.019 и 0.042 %. Пентан в содержаниях от 0.00012 до 0.00107 % установлен в 3 пробах газа, отобранных из углей прифундаментной части разреза. В процессе интерпретации данных газового опробования керна пород и газопроявлений установлено, что все исследованные источники УВГ материкового и островного обрамления характеризуются индивидуальными геохимическими показателями (табл. 1).

В донных осадках впадины и бассейна содержание метана изменяется в пределах 0.003–0.32 % и 0.003–0.75; этана и этилена (в сумме) – 0.00002–0.003 и 0.000003–0.007; пропана и пропилена – 0.000001– 0.0004 и 0.000001–0.0015 %. Концентрации бутана в осадках не превышают 0.00072 %. В Айонском бассейне пентан установлен в концентрациях от 0.000001 до 0.00013 %. В донных осадках Чаунской губы пентан не обнаружен.

На основании фактических значений геохимических показателей таблицы 1 в донных осадках



Рис. 2. Схематический геологический разрез Чаунской впадины и южной части Айонского бассейна, по данным [10, 14], с дополнениями [3].

1 – четвертичные и верхнемиоценовые отложения, 2 – пески, 3 – пески с галькой и гравием, 4 – глинистые отложения с прослоями песков и алевритов, 5 – породы складчатого основания, 6 – кора выветривания пород складчатого основания, 7 – линзы, пласты лигнитов и бурых углей (а), прослои и пропластки лигнитов и бурых углей (б); 8 – разломы; 9 – скважины и их номера, 10 – газопритоки в скважинах (свободные газовыделения).

Таблица 1. Геохимические показатели углеводородных газов по данным скважинного опробования.

Источники газа	l B	Зесовы долях	е конц целого	ентраці на 100	ии 0 [*]	М _{ув} *,	Геохимические коэффициенты*				
	C ₁	C ₂	C ₃	C_4	C ₅	Г/МОЛЬ	1	2	3	4	
Четвертичные отложения (14)	999	1	сл	0	0	16.05	10.7	0.1	0.1	900	
Торфяники (3)**	991	7	2	0	0	16.12	3.0	0.4	1.0	111	
Скопления свободного газа (8)	989	7	3	1	0	16.15	1.8	3.0	1.1	90	
Лигниты (12)	984	11	3	2	0	16.18	2.2	7.0	1.6	62	
Бурые угли (24)	979	16	3	2	0	16.22	2.5	10.0	2.1	47	
Магматические породы (6)	939	40	15	6	0	16.58	1.9	16.6	6.1	15	

Примечание. * – средние значения, (14)** – количество определений, в сумме 67 проб; С₁–С₅ – метан и его гомологи; М_{ув} – молекулярная масса УВ фракции. Геохимические коэффициенты: 1 – этановый, 2 – преобразованности УВ фракции, 3 – «влажности» (%), 4 – «сухости».

установлены *сингенетические* углеводородные газы современных осадков и эпигенетические УВГ торфяников, кайнозойских лигнитов, бурых углей и газовых залежей, а также меловых магматических образований. Исходя из результатов работ [6–9], в донных осадках по показателям М_{ув}, К_{пр}, К(С₂), К_{сух}, К_{вл} выделяются миграционные УВГ предполагаемых мезозойских каменноугольных, газовых, конденсатногазовых, газоконденсатных и нефтегазовых залежей, сходные по значениям показателей с аналогичными газами Ленского угленефтегазоносного бассейна [6]. В целом, в донных осадках Чаунской впадины и Айонского бассейна выделено восемь генетических групп УВГ, характеризующихся присущими только им геохимическими показателями (табл. 2).

К *первой группе* относятся УВГ современных донных осадков морских и русловых фаций (станции 5, 7, скв. 1п, рис. 3, 4), образовавшиеся в результате биохимических реакций и бактериальной деятельности в процессе деструкции OB, что подтверждается не только значениями газогеохимических показателей (табл. 2), но и изотопным

Газоматеринский источник (генетическая группа)	E	весовы	е конце	ентраці	ИИ	M *	Геохимические			
	в долях целого на 1000^*						коэффициенты*			
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	1/моль	1	2	3	4
I. Современные осадки (18)**	998	2	сл	0	0	16.06	8.0	0.4	0.2	700
II. Торфяники (9)	992	7	1	0	0	16.11	4.4	1.1	0.8	112
III. Угольные залежи (54):	978	16	4	2	0	16.23	2.8	10.0	2.2	44
а) лигниты и бурые угли (42)	979	16	3	2	0	16.21	3.0	9.2	2.1	47
б) каменные угли (12)	970	20	6	3	1	16.30	2.2	12.0	3.0	32
IV. Магматические породы (3)	939	40	15	6	0	16.58	1.9	16.6	6.1	15
V. Газовые залежи (36):	972	18	6	3	1	16.29	1.9	8.4	2.8	35
а) кайнозойского возраста (18)	988	7	3	1	сл	16.15	1.9	3.0	1.2	82
б) мезозойского возраста (18)¹	956	29	9	4	2	16.42	2.0	13.7	4.4	22
VI. Конденсатногазовые залежи (12) ¹	882	68	29	16	5	17.18	1.4	37.9	11.8	8
VII. Газоконденсатные залежи $(3)^1$	786	107	59	32	15	18.30	1.0	59.8	21.4	4
VIII. Нефтегазовые залежи (6) ¹	733	140	73	34	20	18.90	1.1	65.4	26.7	3

Примечание. *, ** – см. табл. 1. (18)¹ – предполагаемые залежи по данным [3–6].

составом углерода метана, составляющим -76.0...-78.4 ‰ [8, 9].

осадочного бассейна.

Ко второй генетической группе отнесены УВГ торфяников (станция 11, 21), поступающие в донные осадки в процессе природной диффузии. Выделение данной группы УВГ связано с повсеместным развитием торфяников в районе исследований. В большинстве случаев разделение УВГ торфяников от миграционных газов подстилающих лигнитов и углей затруднительно из-за процессов их смешивания. Значения геохимических показателей указывают на доминирование биогенной составляющей в данной группе газов.

К третьей группе УВГ донных осадков относятся газы угленосной формации, включающей залежи лигнитов, бурых и каменных углей. Наличие в донных осадках данной группы связано с процессами диффузии и миграции по зонам тектонических нарушений. Геохимические показатели и изотопный состав углерода метана (-51.4...-60.8 ‰) указывают на доминирование метаморфогенной составляющей в данной группе. Угленосная формация является основным газоматеринским источником поступления УВГ в донные осадки южной части района исследований (станции 1-3, 6, 10, 14-16, скв 2п, рис. 3, 4).

Углеводородные газы четвертой группы представлены газами меловых магматических образований (станция 4), поступающими в донные осадки из трещинных коллекторов магматических пород по зоне Чаунского разлома (рис. 1). УВГ данной группы характеризуются наиболее «тяжелым» изотопным составом углерода метана, в среднем составляющим -29.5 ‰ [8, 9].

К пятой генетической группе УВГ донных осадков относятся миграционные газы кайнозойских (станции 17, 20, 24) и мезозойских (8, 19, 23) газовых залежей. Исходя из площади распространения (рис. 3, 4), кайнозойские газовые скопления и залежи являются основным газоматеринским источником поступления УВГ в донные осадки северо-западной части Айонского бассейна. Миграция газов осуществляется по зонам продольных к структуре бассейна взбросов и сбросов. Формирование в донных осадках УВГ мезозойских газовых залежей связано с поперечными к структуре бассейна системами сбросо-взбросовых и сбросо-сдвиговых тектонических нарушений, транзитно секущих меловые и кайнозойские отложения. Геохимические показатели и изотопный состав метана кайнозойских залежей указывают на паритетное распределение биогенной и метаморфогенной составляющей УВГ, мезозойских - на доминирование метаморфогенной.

К шестой, седьмой и восьмой генетическим группам УВГ донных осадков относятся эпигенетические газы предполагаемых мезозойских конденсатногазовых, газоконденсатных (станции 9, 12, 13) и нефтегазовых (станция 18) залежей, поступающие в осадки Айонского бассейна в процессе миграции по зонам тектонических нарушений в пределах юговосточного крыла Айонской впадины и одноименного поднятия (рис. 1, 4). По данным [3, 4, 22], установ-







Рис. 4. Схематическая карта газогеохимического районирования углеводородных газов донных осадков Чаунской впадины и Айонского осадочного бассейна.

Газы: 1 – современных осадков, 2 – торфяников (а) и угольных залежей (б) (серыми кружками выделены предполагаемые залежи лигнитов и бурых углей, черными кружками выделены предполагаемые залежи каменных углей); 3 – газовых залежей (а – кайнозойского возраста, б – мезозойского); 4 – магматических образований; 5 – конденсатногазовых и газоконденсатных залежей; 6 – нефтегазовых залежей; 7 – тектонические нарушения: а – сбросы, б – взбросы; 8 – изолинии мощности кайнозойского осадочного чехла, км; 9 – донные станции и их номера, 10 – скважины и их номера. Расположение нарушений и изолиний мощности осадочного чехла приведено по данным [4, 5, 14].

лено, что выделенная площадь распространения УВГ данных групп совпадает с палеодельтой р. Колымы. Аналоги данных групп установлены в Ленском, Анадырском, Верхне-Буреинском, Южно-Чукотском, Северо-Чукотском и других угленефтегазоносных бассейнах Востока России [6, 7, 9].

Таким образом, результаты газогеохимических исследований донных осадков указывают на доминирование в районе исследований газоматеринских источников (рис. 4), что позволяет отнести его к перспективной углегазоносной площади, характеризующейся средними газоресурсными показателями. Присутствие в донных отложениях приразломного юго-восточного крыла Айонского грабена и западной части Айонского поднятия УВГ, характерных для конденсатногазовых, газоконденсатных и нефтегазовых скоплений и залежей, предопределяет проведение дополнительных (детальных) сейсморазведочных и газогеохимических исследований.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ОСНОВНЫХ ВЫВОДОВ

1. В процессе исследований установлено, что молекулярная масса УВ-фракции – показатель суммирующего типа, поэтому случайные отклонения в концентрации каких-либо членов фракции слабо сказываются на его значении. Положительным качеством показателя является то, что он позволяет сопоставлять разные по форме нахождения УВГ. Сходство по М_{ув} сорбированных, свободных и растворенных УВГ геологических образований выявляется не только при попарном их сопоставлении, но и при статистическом сравнении значительных по объему разнотипных выборок. Достоверность применения показателей М_{ув} и весовых концентраций индивидуальных УВ для генетической диагностики УВГ доказана результатами настоящих исследований и данными работ [6–9]. В зависимости от показателей М_{ув}, изменяющихся по средним и средневзвешенным значениям от 16.06 до 18.90 г/моль (табл. 2), в донных осадках Чаунской впадины и Айонского бассейна выделяются сингенетичные УВГ современных осадков, эпигенетические газы торфяников, газовых и угольных залежей кайнозойского и мезозойского возраста, меловых магматических образований, мезозойских конденсатногазовых и нефтегазовых залежей.

Показатели M_{y_B} в пределах 16.05–16.11 г/моль указывают на доминирование в донных осадках УВГ биогенного происхождения, выше – метаморфогенного. Так, показатели M_{y_B} (16.11 г/моль) и весовых концентраций этана и пропана – 7 и 1 – торфяников Айонского бассейна указывают на процессы преобразования торфа в лигнитовое вещество (первоначальную стадию углеметаморфизма). Увеличение средних значений M_{y_B} в четвертой генетической группе УВГ от 16.18–16.22 до 16.29 г/моль (от лигнитов к каменным углям) соответствует возрастанию степени катагенеза углистого вещества от O_1 – O_3 до MK₁–MK₃. По данным таблицы 2, этот процесс сопровождается возрастанием весовых концентраций этана в 1.8 раза, пропана – в 2, бутана – в 3 и пентана – в 8 раз.

Аналогичные процессы установлены и в мезозойско-кайнозойских газовых залежах, характеризующихся близкими геохимическими показателями с УВГ угольных залежей. В целом, генетическая сепарация эпигенетических УВГ газовых и угольных залежей только по показателям М_{ув} затруднительна и нуждается в комплексной диагностике с применением коэффициентов «влажности» и преобразованности УВ-фракции. Максимумом преобразованности ОВ и УВ-фракции характеризуются конденсатногазовые и нефтегазовые залежи. Подтверждением этому является возрастание коэффициента преобразованности УВфракции от 1.2 в торфяниках до 65.4 - в нефтегазовых залежах. Аналогичное возрастание наблюдается и по показателям коэффициента «влажности» – от 0.8 до 26.7 %.

2. Показатели коэффициентов преобразованности УВ-фракции и «влажности» менее 2 и 1 % соответствуют биогенным УВГ современных осадков и торфяников, 2.4–14.1 и 1.1–4.4 % – метаморфогенным газам кайнозойских и мезозойских газовых залежей, 7.0–11.3 и 1.6–2.9 % – лигнитов и угольных пластов, 16.6 и 6.1 % – магматических пород. Показатели коэффициентов 11.8–26.7 и 37.9–65.4 % характерны для метаморфических УВГ конденсатногазовых, газоконденсатных и нефтегазовых залежей. 3. В зависимости от показателей этанового коэффициента и коэффициента «сухости» в донных осадках Чаунской впадины и Айонского осадочного бассейна выделяются сухие (метановые), сухие и жирно-сухие газы. К сухим (метановым) газам отнесены газы современных осадков, торфяников и угольных залежей, характеризующиеся значениями $K(C_2)$ и $K_{сух.}$ в пределах 2–12 и 30–990; к сухим – газовых залежей и магматических образований – 1.9–2.0 и 20–90, жирно-сухим – предполагаемых конденсатногазовых, газоконденсатных и нефтегазовых залежей – 1.0–1.4 и 3–8, соответственно.

4. В результате исследований установлено, что перспективы нефтегазоносности района исследований связаны только с юго-восточной частью Айонского осадочного бассейна. Остальная площадь бассейна характеризуется газоресурсными показателями. Данное заключение совпадает с выводами, сделанными ранее в работах [3, 9, 11, 12, 21].

Авторы благодарны за помощь в проведении опробования капитанам и командам судов «Академик Лаврентьев», «Василий Головнин», администрации портофлота г. Певека, сотрудникам АО «Севморгео» и ЗАО «Чаунское горно-геологическое предприятие».

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18–05-70038 «Ресурсы Арктики».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Верба М.Л., Беляев И.В., Штыкова Н.Б. Тектоническая карта Восточно-Сибирского моря // Разведка и охрана недр. 2011. № 10. С. 66–70.
- 2. Высоцкий И.В. Геология природного газа. М.: Недра, 1979. 392 с.
- Геология и полезные ископаемые России. Т. 5, кн. 1. Арктические моря / Ред. И.С. Грамберг, В.Л. Иванов, Ю.Е. Погребицкий. СПб.: ВСЕГЕИ, 2004. 468 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:200 000. Серия Анюйско-Чаунская, лист R-59-XXXI, XXXII: Объясн. зап. М., СПб., Мин. природ. ресурсов, ВСЕГЕИ, Чукотприродресурсы, ЗАО Чаунское ГГП, 2016. 102 с.
- Государственная геологическая карта России и прилегающих акваторий. 1:2 500 000. СПб.: ВСЕГЕИ, ВНИИОКЕА-НОЛОГИЯ, 2016.
- Гресов А.И. Геохимическая классификация углеводородных газов угленефтегазоносных бассейнов Востока России // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 30, № 2. С. 85–101.
- Гресов А.И. Метаноресурсная база угольных бассейнов Дальнего Востока и перспективы ее промышленного освоения. Т. II. Углеметановые бассейны Республики Саха (Якутия) и Северо-Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2012. 468 с.
- 8. 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 // Докл. АН. 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 // Тихоокеан. геология. 2017. Т. 36, № 4. С.78–84.
- Иванов В.В. Осадочные бассейны Северо-Восточной Азии. М.: Наука, 1985. 208 с.
- Карта флюидогеодинамики и нефтегазоносности северовосточной окраины Азии. 1: 2500 000 / Гл. ред. Ю.А. Косыгин. Хабаровск: ИТиГ, Дальаэрогеодезия ГУГК, 1989. 96 с.
- Ким Б.Я., Евдокимова Н.К., Супруненко О.И., Яшин Д.С. Нефтегеологическое районирование шельфа Восточноарктических морей и перспективы их нефтегазоносности // Геология нефти и газа. 2007. № 2. С.49–59.
- Косолапов А.И., Мокшанцев К.Б., Черский Н.В. Перспективы Колымского массива, Момо-Зырянской впадины и Приморского прогиба на нефть и газ // Геологическое строение и нефтегазоносность восточной части Сибирской платформы и прилегающих районов. М.: Недра, 1968. С. 31–40.
- Неотектонические структуры и активные разломы шельфа // Геология и полезные ископаемые шельфов России/ Атлас. М.: Науч. мир, 2004. Листы 3–4.
- Нестеров И.И. Критерии прогнозов нефтегазоносности. М.: Недра, 1969. 334 с.
- Никонов В.Н. Тяжелые углеводороды и их соотношения в газах нефтяных и газовых залежей // Геология нефти и газа. 1961. № 8. С. 12–21.
- Петровская Н.А., Савишкина М.А. Сопоставление сейсмокомплексов и основных несогласий в осадочном чехле шельфа восточной Арктики // Нефтегазовая геология. Тео-

рия и практика. 2014. Т. 9, № 3.

http://www.ngtp.ru/rub/4/39_2014.pdf.

- Руководство по определению и прогнозу газоносности вмещающих пород при геологоразведочных работах. Ростовна-Дону: ВНИИГРИуголь, 1985. 96 с.
- 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.
- Трофимук А.А., Шило П.А., Иванов В.В. Нефтегеологическое районирование Северо-Востока СССР и прилегающего шельфа // Проблемы нефтегазоносности Северо-Востока СССР. (Тр. СВКНИИ, 1973. Вып. 40. С. 3–22.)
- Хаин В.Е., Полякова И.Д., Филатова Н.И. Тектоника и нефтегазоносность восточной Арктики // Геология и геофизика. 2009. № 4. С. 443–460.
- 22. Цыганкова И.П. Блоково-слоистая модель структуры Айонско-Аачимского района шельфа Восточно-Сибирского моря: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2005. 24 с.
- Abrams M.A. Significance of hydrocarbon seepage to petroleum generation and entrapment // Marine Petrol. Geol. 2005. N 22. P. 457–477.
- 24. 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, N 7. P. 1–19.

Рекомендована к печати Г.Л. Кирилловой

после доработки 03.07.2019 г. принята к печати 06.09.2019 г.

A.I. Gresov, A.V. Yatsuk

Geochemistry and genesis of hydrocarbon gases of the Chaun depression and the Aion sedimentary basin of the East-Siberian Sea

The paper presents the results of gas geochemical studies of the Chaun depression and the Aion sedimentary basin of the East Siberian Sea. The composition of the natural gas of the rocks, gas manifestations and bottom sediments is determined. Indicators of the molecular weight of the hydrocarbon fractions and weight concentrations of individual hydrocarbons, the ratios of which have correlation-genetic signi ficance for hydrocarbon gases for geological formations are established. Geochemical classification of the hydrocarbon gases of bottom sediments and schematic map of gas geochemical zoning of the study area are presented. The oil and gas potential of the Chaun depression and the Aion sedimentary basin was made.

Key words: gas geochemistry, sedimentary basin, depression, bottom sediments, hydrocarbon gases, geochemical indicators, genesis, distribution, oil-and-gas content, shelf, East Siberian Sea.