

ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАДСЕНОМАНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ (НА ПРИМЕРЕ БОВАНЕНКОВСКОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

В.Л. Бондарев, М.Ю. Миротворский, В.Б. Зверева, Г.И. Облеков, Р.М. Шайдуллин, В.Т. Гудзенко
(ЗАО "НПЦ "Геохимия", ООО "Надымгазпром")

Рассмотрена газогеохимическая характеристика надсеноманских отложений п-ова Ямал. Изложены результаты исследований углеводородных газов, проб шлама и керна, а также свободных газопроявлений; представлены данные по изотопии углерода метана УВГ. Сделан вывод о том, что надсеноманские песчаные горизонты казанцевской, салехардской и ганькинской свит, а также нижеберезовской подсвиты сенона могут рассматриваться в качестве возможных потенциальных объектов разработки в будущем, после выделения основного апт-сеноманского горизонта.

Введение

Надсеноманские отложения п-ова Ямал образуют комплекс пород, который подразделяется на две части: верхнюю, представленную толщей многолетнемерзлых пород (ММП) и нижнюю – подмерзлотные отложения, залегающие в интервале разреза от подошвы ММП до туронских глин кузнецовской свиты включительно.

При разбуривании пород надсеноманского комплекса наблюдались многочисленные газопроявления в виде газирований, а иногда и газовых выбросов, что приводило к осложнениям процесса бурения.

Углеводородные газы (УВГ) рассматриваемых отложений можно разделить: на мерзлотные (толща ММП) и подмерзлотные (породы, залегающие ниже подошвы ММП).

Известно (Мельников П.И., Мельников П.В., Царев В.П. и др., 1989), что в породах ММП газы могут находиться в сорбированном, водорастворенном и свободном состояниях, а также в виде газогидратов. По их мнению, процессы гидратообразования сводятся к трансформации УВ из газовой в твердую фазу, благодаря специфическим физико-химическим и термобарическим условиям, существующим в толще ММП. Криогенная толща представляет собой многослойную систему, состоящую из мерзлых (с наличием льда), морозных (без льдистых включений) и охлажденных (водонасыщенных при отрицательных температурах) пород. В силу особенностей строения эта система обладает и различными емкостными и фильтрационными свойствами: в ней есть горизонты и линзы с хорошими коллекторскими свойствами и слабопроницаемые экранирующие горизонты. Поэтому газы могут частично мигрировать в коллекторские

горизонты ММП и там преобразовываться в твердую газогидратную форму, а частично – накапливаться в линзообразных телах и быть там запечатанными как в газовой фазе, так и в виде гидратов. В дальнейшем, в процессе бурения скважин происходит нарушение физико-химических и механических условий, сложившиеся в породах криолитозоны и находившиеся там УВГ в газогидратной форме в силу изменившихся условий преобразовываются в газовую фазу с образованием обильных по объему многочисленных газовых скоплений в отложениях верхней части разреза (ВЧР) зоны ММП и нижележащих подмерзлотных отложений. Химический состав рассматриваемых газов чисто метановый (до 99 % об. и более), с незначительной примесью азота, диоксида углерода и тяжелых УВГ. Общая толщина надсеноманских отложений, состоящих ВЧР, достигает более 850 м.

Характеристика надсеноманских отложений Бованенковского НГКМ основана на комплексе газогеохимических исследований, включающих наземные и скважинные работы, выполненные в пределах месторождения ЗАО "НПЦ "Геохимия" совместно с ООО "Надымгазпром" в период с 1993 по 1997 г. Их целью являлось изучение газонасыщенности мерзлотных (толща ММП) и подмерзлотных отложений. Анализировались шлам мелких (глубиной до 3 м) скважин и керн (реже – промывочная жидкость) 15 скважин мерзлотно-параметрического бурения глубиной до 500 м, бурение которых велось НТФ "Криос". Ниже излагаются результаты этих исследований.

Особенности геологического строения. В пределах месторождения надсеноманские отложения подразделяются на три крупные стратиграфические единицы, соответствующие осадочным комплексам верхнего мела, нижнего палеогена и антропогена (табл. 1).

Начиная с позднеказанцевской эпохи без перерывов, вплоть до настоящего времени, на п-ове Ямал существуют условия, благоприятные для многолетнего глубокого промерзания горных пород.

Детальным исследованием криолитозоны Бованенковского НГКМ на протяжении ряда лет занималась НТФ "Криос". В процессе исследования велось

Литологический состав надсеноманских отложений Бованенковского НГКМ (Гильберштейн П.Г. и др., 1995; Кондаков В.В. и др., 2003)

Система	Литолого-стратиграфические подразделения	Толщина, м
Антропогеновая (Q)	<u>Пачка пород переходного характера</u> в составе: голоценовые континентальные отложения – Q _{IV} ; отложения III (Q ²⁻³ _{III}) и II (Q ³⁻⁴ _{III}) морских террас; казанцевская свита (верхний плейстоцен, Q ¹ _{III})	35...50
	<u>Ямальская серия</u> ниже-среднеплейстоценового возраста (Q _{I-II}) с размывом залегают на отложениях палеогена. На западе исследуемой территории представлена супесчано-суглинистыми, нередко в нижней части разреза мореноподобными породами с гравийно-галечниковым и валунным материалом. Здесь разрез ямальской серии является стратиграфически полным – он включает все три свиты (полуйскую, казымскую и салехардскую) и имеет толщину 180...200 м. На востоке данной площади развиты отложения только <u>салехардской свиты</u> (средний плейстоцен Q _{III}), соответствующей заключительному максимальному этапу плейстоценовой трансгрессии и ее переходу в регрессивную стадию. Эти породы имеют алевритоглинистый состав, в верхней части нередко с включениями гальки и гравия	До 80
Палеогеновая (P)	<u>Талицкая свита (палеоцен)</u> формировалась в условиях мелкого моря. Представлена глинами, в средней части с линзовидными, либо с линзовидно-гнездовидными включениями алевролитов, которые нередко сливаются в отдельные пласты	70...150
Меловая (K)	<u>Ганькинская свита (маастрихт-даний, K_{2M-d})</u> формировалась в условиях сравнительно глубоководного моря с нормальной соленостью и пониженной температурой. Ее кровля является геологическим репером. Представлена алевролитами, реже известковыми глинами, в верхней части – с прослоями алевролитов и песчаников	120...150
	<u>Березовская свита (коньяк-кампан, K_{2K-KM})</u> формировалась в глубоководном морском бассейне. <u>Верхнеберезовская под-свита</u> представлена глинами с прослоями опоковидных глин и глауконитовых песчаников. <u>Нижнеберезовская подсвита</u> складывается опоками, опоковидными глинами и кремнистыми аргиллитами. Граница между подсвитами является надежным каротажным репером	До 350
	<u>Кузнецовская свита (турон, K_{2t})</u> является региональным геолого-геофизическим репером. Залегают с размывом на породах сеноманской продуктивной толщи и отвечает первым этапам верхнемеловой трансгрессии. Представлена темно-серыми глинами с прослоями алевритового материала. В ней можно проследить до пяти глинистых пачек, различающихся по содержанию алевритовой и песчаной примеси	30...60
	<u>Сеноманская (K_{2cm})</u> продуктивная толща	

бурение мерзлотно-параметрических скважин в целях выявления газонасыщенных пластов в верхней 500-метровой толще и их разгрузки в процессе испытаний (Кондаков В.В., Кусова О.Ф., Язынин О.М., 2003). Выполненными работами установлено, что толщина ММП в районе Бованенковского ГKM изменяется от 100 до 280 м, причем в их строении прослеживается определенная закономерность, согласно которой разрез на водораздельных поверхностях резко отличается от разреза пойменных участков. Так, толщина ММП на водоразделах составляет 275...280 м и подошва их четко фиксируется как по состоянию керна, так и по данным замеров электрического сопротивления стандартного каротажа. В пойме рек Се-Яха и Морды-Яха ММП имеют двух-, а возможно, и трехслойное строение.

Газопроявления. В процессе разбуривания Бованенковского НГКМ в некоторых мерзлотно-параметрических скважинах в надсеноманских отложениях отмечались интенсивные газопроявления. По данным НТФ "Криос" (Кондаков В.В., Кусова О.Ф., Язынин О.М., 2003) установлено, что локальные газопроявления приурочены к породам, слагающим пойменные участки. На водораздельных поверхностях газопроявления практически не обнаружены. Газопроявления в виде разгазирования промывочной жидкости наблюдались во всех скважинах, пробуренных в пойменной части (табл. 2). Выбросы газа произошли при спуске колонны в скважине 64-П-1 и в процессе бурения скважин 51-П-3, 56-П-2, 58-П-3. По результатам испытания притоки газа получены преимущественно в интервале глубин 30...120 м, дебит пластов изменяется от 200 до 3000 м³/сут и более. Все газовые объекты отличаются относительно низкими пластовыми давлениями, сопоставимыми или ниже гидростатических. В процессе разгрузки газовых залежей темпы снижения дебитов и пластовых давлений меняются в широких пределах и, по-видимому, зависят от размеров газосодержащих пластов. Одной из скважин (64-П-2) был вскрыт газовый пласт в интервале 72...80 м с притоком газа – на-

чальным дебитом 3000 м³/сут. После 3 сут отработки на факел дебит газа стабилизировался на 500 м³/сут, а после 560 сут пластовое давление на глубине 72 м снизилось до 3,1 кг/см². По результатам отработки скважины, первоначальные запасы газа оценены в 490 тыс. м³, а площадь газовой залежи – в 80 тыс. м². При исследовании состава газов из многолетнемерзлых пород, содержащих до 99 % метана и около 1 % азота и двуокиси углерода, определен их биогенный генезис.

**Характер газопроявлений и результаты испытаний мерзлотно-параметрических скважин
(по данным НТФ "Криос")**

№ п/п	Сква- жина	Начало и оконча- ние бурения	Глубина забоя, м	Газопроявления	Испытание	
					Интервал	Дебит, м³/сут
1	64-П0	14.07–05.08.1991 г.	300	С глубины 153 м – интенсивное разгазирование. На глубине 175 м – выброс газа	–	–
2	64-П1	21.12–19.02 1993–1994 гг.	350	С глубины 55 м – разгазирование промывочной жидкости. В интервале 70...78 м при спуске 114-м колонны – выброс газа. В интервале 200...225 м – разгазирование промывочной жидкости	–	–
3	64-П2	16.05–27.05.1994 г.	350	В интервале 70...80 м – разгазирование промывочной жидкости	186...194 м ПКС-80, 6 отв./м 72...80 м ПР-54 10 отв./м	Газ, 50 м³/сут Газ, 3000 м³/сут, $P_{ст} = 7$ атм, через 2 сут – газ 2000 м³/сут, $P_{ст} = 5$ атм
4	64-П3	25.03–26.04.1994 г.	400	В интервале 70...80 м – разгазирование промывочной жидкости	260...280 м ПКС-80 232...237 м ПКС-80 6 отв./м 70...80 м за колонной	Интервал сухой Приток пластовой воды: удельный вес – 1,009, дебит 16,5 м³/сут Приток газа 3000 м³/сут
5	68-П1	18.05–07.07.1993 г.	400,7	На глубине 310 м – разгазирование промывочной жидкости	Испытания не проводились	–
6	68-П3	13.08–25.08.1993 г.	357	Газопроявлений не отмечено	Испытания не проводились	–
7	69-П0	07.07–10.11.1991 г.	265	В интервале 140...160 м – разгазирование промывочной жидкости; запах сероводорода	30...32 м	Приток минерализованной воды: содержание хлора – 34 г/л, натрия – 22,1 г/л; $H_{ст} = 16$ м
8	63-П1	23.11.–06.12 1992–1993 гг.	70,8	В интервале 39...63 м запах газа в керне	–	–
9	63-П2	31.12–08.01 1992–1993 гг.	71,1	Газопроявлений не отмечено	–	–
10	56-П1	14.02–28.04.1993 г.	401,3	В интервале 205...210 м слабое разгазирование промывочной жидкости	Испытания не проводились	–
11	56-П2	28.03–01.05.1994 г.	330,3	В интервалах 28...32, 55...75, 205...210 м – разгазирование промывочной жидкости; в интервале 60...68 м – газопроявление дебитом 500 м³/сут	Испытания не проводились	–
12	56-П3	26.05–01.07.1994 г.	350,5	На глубине 63 м – разгазирование промывочной жидкости	210...280 м ПКС-80, 6 отв./м 60...68 м ПКС-80, 3 отв./м	Приток минерализованной воды Газ, 400 м³/сут, стабильно – 100 м³/сут
13	51-П1		400	На глубинах 29 и 95 м – разгазирование промывочной жидкости	202,6...240; 89...100; 59...64; 28...33 м	Приток воды 5,2 м³/сут Приток воды 1,5 м³/сут Приток газа – 50...100 м³/сут Приток газа – 100 м³/сут
4	51-П3		350	На глубине 150 м (возможно, из интервала 59...64 м) – разгазирование промывочной жидкости	Испытания не проводились	–
15	65-П1		400	На глубинах 50 и 150 м – разгазирование бурового раствора	Испытания не проводились	–
16	55-П2		350	В интервале 210...243 м – выделение газа	206...213; 100...110; 75...83 м	Приток воды Приток газа 1500...2000 м³/сут Приток газа 1000...1200 м³/сут
17	55-П3		350	Выделение газа	250...260; 110...118 м	Приток воды Приток газа
18	5602			На глубине 760 м – разгазирование промывочной жидкости	–	–
19	126			В интервале 118...131 м – выброс промывочной жидкости с газом	–	–

Анализ распределения УВГ. По результатам проведенных исследований (Гильберштейн П.Г. и др., 1995; Гудзенко В.Т., Бондарев В.Л., Миротворский М.Ю. и др., 1996, 1997; Бондарев В.Л., Миротворский М.Ю., Шайдуллин Р.М. и др., 2004) было выяснено:

1. Литолого-фациальная изменчивость пород уменьшается с глубиной и определяется наличием песчаных прослоев различной толщины на фоне преобладания глинистого материала. Отложения салехардской свиты характеризуются наибольшей фациальной изменчивостью: толщина песчаных пропластков в ней колеблется от долей сантиметра до 1...2 м, и они не прослеживаются в разрезе соседних скважин. В отложениях ганькинской свиты толщина песчаных слоев увеличивается до 10...15 м и более; верхняя песчаная пачка прослеживается в разрезе всех скважин. Отложения нижеберезовской подсвиты наиболее выдержаны по толщине, литологическому составу и хорошо прослеживаются по всей площади работ.

2. Степень литификации пород возрастает с глубиной: от слаболитифицированных песков и глин салехардской и талицкой свит до плотных алевролитов нижеберезовской подсвиты.

3. Толща ММП характеризуется повышенной засоленностью пород, что определяет низкую температуру замерзания, высокое содержание незамерзшей воды и как следствие – существование криопг в отложениях салехардской, а иногда и талицкой свит.

4. Нижняя граница ММП проходит на глубинах 190...210 м; глины талицкой свиты находятся в состоянии "вялой" мерзлоты – при нулевой температуре в них нет видимого льда. На изученной площади нижняя граница ММП в большинстве случаев совпадает с подошвой талицких глин.

5. Наиболее значимым экраном на пути миграции УВГ из нижних горизонтов можно считать талицкие глины.

6. В разрезе ВЧР выделяются пачки отложений, названные песчаными сериями, которые могут рассматриваться в качестве потенциальных резервуаров газа. К ним относятся: серия песков казанцевской свиты (четвертая "песчаная серия"); серия мореноподобных отложений салехардской свиты (третья "песчаная серия"); серия песчаных пород в верхней части ганькинской свиты (вторая "песчаная серия"); серия пород нижеберезовской подсвиты – предположительно, без подтверждения ее коллекторских свойств лабораторными исследованиями (первая "песчаная серия").

Перечисленные серии отложений выделяются в разрезе повышенными значениями удельного электрического сопротивления (УЭС) пород, а иногда аномалиями ПС и ГК; прослеживаются по площади работ методами сейсморазведки, обладают улучшенными по сравнению с выше- и нижележащими породами коллекторскими свойствами и включают в себя песчаные слои различной толщины.

7. Выяснено, что размеры потенциальных резервуаров газа в ВЧР определяются в первую очередь литолого-фациальными особенностями отложений. Установлено, что толщины и размеры песчаных слоев – потенциальных коллекторов по латерали увеличиваются вниз по разрезу. Поэтому можно предположить, что с глубиной, по мере уменьшения литолого-фациальной изменчивости, масштаб и достоверность выявления УВ скоплений будут возрастать.

8. По материалам лабораторных исследований установлено, что содержание УВГ с глубиной возрастает с увеличением доли C_5-C_6 в их составе.

Выяснено, что для пород ММП характерно высокое (до 30 % от суммы C_2-C_4) содержание неопредельных УВ C_2-C_4 и преобладание (в 620...969 раз) метана над суммой C_2-C_6 . В подмерзлотных отложениях предельные УВ отчетливо преобладают над неопредельными формами: их процентное содержание в составе C_2-C_4 варьируется от 80 до 98 %, а отношение CH_4 / C_2-C_6 снижается до 43...220.

Так, в песках казанцевской свиты содержание УВГ в пробах керна и промывочной жидкости невысокое, по сравнению с нижележащими породами, и в среднем составляет: метана $2310 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{кг}$ и $100 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{л}$ (керна и промывочная жидкость, соответственно); C_2-C_6 – $4,1 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{кг}$ (керна) и $(0,2...0,3) \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{л}$ (промывочная жидкость).

В песчаной серии салехардской свиты средняя концентрация метана проб керна возрастает (по сравнению с отложениями казанцевской и ганькинской свит) до $5,282 \text{ см}^3/\text{кг}$, а C_2-C_6 составляет $10,5 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{кг}$, что сказывается на составе УВГ – он значительно легче по сравнению с песчаной серией ганькинской свиты. Содержание УВГ промывочной жидкости составляет: метана – $2,817 \text{ см}^3/\text{л}$, C_2-C_6 – $3,2 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{л}$.

В песчаной серии ганькинской свиты средние содержания УВГ в пробах керна составляют: метана – $4,226 \text{ см}^3/\text{кг}$, C_2-C_6 – $19,1 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{кг}$. Количество УВГ промывочной жидкости равно: метана $2400 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{л}$, C_2-C_6 – $4,1 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{л}$.

В песчаных породах нижеберезовской подсвиты средние концентрации УВГ в пробах керна изменяются в следующих пределах: метана – от 44,612 до $145,656 \text{ см}^3/\text{кг}$, C_2-C_6 – от 1,021 до $0,72 \text{ см}^3/\text{кг}$, сумма предельных УВ – от 0,666 до $0,897 \text{ см}^3/\text{кг}$, неопредельных – от 18 до $123 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{кг}$. Средние концентрации промывочной жидкости на порядок меньше и изменяются в пределах: метана – $(2310...14232) \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{л}$; C_2-C_6 – $(5,3...110) \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{л}$; сумма $C_2-C_{6\text{пред}}$ – $(4,6...90) \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{л}$; $C_2-C_{4\text{непред}}$ – $(0,8...11) \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{л}$. В составе УВГ песчаных отложений нижеберезовской подсвиты содержится гораздо больше тяжелых УВ по сравнению с вышележащими образованиями.

9. Сравнивая средние значения основных газогеохимических показателей в целом по толще ММП

и отложениям, залегающим ниже ее подошвы (табл. 3), можно отметить резкое возрастание с глубиной концентраций метана ($13,099 \text{ см}^3/\text{кг}$), $\text{C}_2\text{--C}_{4\text{пред.}}$ ($92,79 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{кг}$) и особенно $\text{C}_5\text{--C}_{6\text{парооб.}}$ ($21,13 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{кг}$). Превышение средних значений геохимических показателей в отложениях, залегающих ниже подошвы ММП над вышележащими образованиями, составляет: 3,4 (метан), 51,3 ($\text{C}_2\text{--C}_{4\text{пред.}}$), 162,5 ($\text{C}_5\text{--C}_{6\text{парооб.}}$) и 14,6 (показатель K_a). Эти отличия хорошо прослеживаются и на кривых распределения концентраций метана, $\text{C}_2\text{--C}_{4\text{пред.}}$ и $\text{C}_2\text{--C}_{4\text{непред.}}$ (рис. 1–3) в указанных группах отложений. Так, кривая распределения содержаний метана в породах, залегающих ниже подошвы ММП, несколько смещена вправо, в область высоких его концентраций, по сравнению с кривой для толщи ММП.

Кривые распределения концентраций $\text{C}_2\text{--C}_{4\text{пред.}}$ толщи ММП и отложений, залегающих ниже подошвы ММП, четко различаются между собой (см. рис. 2). Если в первом случае эта кривая резко сдвинута влево, в сторону малых содержаний УВ с максимумом в интервале значений $(1,6 \dots 2,5) \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{кг}$, то во втором она смещена вправо в область высоких концентраций предельных УВГ с максимумами в интервалах $63 \dots 100$, $100 \dots 160$ и $(160 \dots 250) \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{кг}$.

Кривые распределения $\text{C}_2\text{--C}_{4\text{непред.}}$ для толщи ММП и отложений, залегающих ниже подошвы ММП, различаются между собой (см. рис. 3). Для толщи ММП кривая одномаксимальна с максимумом в интервале значений $(1,6 \dots 2,5) \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{кг}$. Для пород, залегающих ниже подошвы ММП, эта кривая бимодальная с максимумами в интервалах $1,6 \dots 2,5$ и $(6,3 \dots 10) \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{кг}$.

Известно (Старобинец И.С., Архангельский А.А., 1981), что соотношение предельных и непредельных углеводородов в сорбированных газах (алкеновый показатель $K_a = \text{C}_2\text{--C}_{4\text{пред.}}/\text{C}_2\text{--C}_{4\text{непред.}}$) и коэффициенты корреляции между ними отражают соотношение син- и эпигенетических газов. Сингенетические газы, особенно в верхних горизонтах разреза, образуются за счет деструкции захороненного органического вещества и содержат повышенные количества непредельных соединений $\text{C}_2\text{--C}_4$. Для них величина K_a не превышает $5 \dots 7$, а коэффициент корреляции между гомологами метана и непредельными УВ более 0,6. Поступление заметных количеств эпигенетических газов нарушает эти соотношения – величина K_a возрастает до $30 \dots 40$, а коэффициент корреляции ниже 0,4.

По результатам газогеохимических исследований установлено, что в породах толщи ММП изученных скважин средние значения алкенового показателя небольшие и варьируются в пределах 0,25 (скв. 52-П2) $\dots 3,59$ (скв. 54-П3), а коэффициенты корреляции между предельными и непредельными УВГ находятся на уровне 0,7 $\dots 0,9$. К тому же, в 11 скважинах из 15 непредельные УВГ преобладают над их предельными

формами. Причем это превышение составляет $2 \dots 4$ раза. Таким образом, можно отметить, что подавляющая часть сорбированных УВГ толщи ММП, очевидно, является сингенетической.

В пробах, отобранных из отложений, залегающих ниже подошвы ММП, значения алкенового показателя более дифференцированы. Так, средние значения K_a изменяются в интервале 0,41 (скв. 52-П3) $\dots 28,89$ (скв. 65-П1). Таким образом, можно предположить, что в скважинах второй зоны среди сорбированных газов, скорее всего, преобладают эпигенетические УВГ. Указанные отличия в характере проявления показателя K_a в толще ММП и в отложениях, залегающих ниже подошвы ММП, четко прослеживаются и на кривых распределения его значений (рис. 4). Так, в первом случае имеем одномаксимальную кривую с максимумом в интервале значений 0,63 $\dots 1,0$, во втором – аналогичную кривую с максимумом в интервале значений 16 $\dots 25$.

Таблица 3

Распределение средних значений основных газогеохимических показателей УВГ в отложениях ММП (мерзлотные газы) и подмерзлотных образованиях

Геохимические показатели	Единицы	Толща ММП (мерзлотные УВГ)	Подмерзлотные отложения (подмерзлотные УВГ)
CH_4	$\text{н} \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{кг}$	3798,65 (429*)	13099,78 (287)
$\text{C}_2\text{--C}_4 \text{ пред.}$	"	1,81 (449)	92,79 (286)
$\text{C}_2\text{--C}_4 \text{ непред.}$	"	1,99 (406)	6,04 (286)
$\text{C}_5\text{--C}_6$	"	0,13 (311)	21,13 (137)
$K_a = \frac{\text{C}_2 - \text{C}_{4\text{пред.}}}{\text{C}_2 - \text{C}_{4\text{непред.}}}$	у.е.	0,92 (406)	13,42 (286)

* В скобках указано число проб.

10. В толще ММП в интервалах глубин 15 $\dots 33$ м (казанцевская свита), 38 $\dots 123$ м (салекардская свита), 180 $\dots 215$ м (ганькинская свита) установлены локальные УВ скопления – газогеохимические аномалии (табл. 4), приуроченные к песчаным линзообразным пластам и пропласткам, толщиной от долей сантиметра до первых метров, быстро выклинивающимся по простиранию через 100 $\dots 150$ м (казанцевская и салекардская свиты) и песчаным пластам толщиной до 10 $\dots 15$ м (верхняя часть ганькинской свиты). Дебиты газа, полученные при испытании параметрических скважин, в течение первых часов отработки газонасыщенных горизонтов указанных свит варьируются от 50 до $14000 \text{ м}^3/\text{сут}$, в зависимости от толщины и размера песчаных пластов (объектов опробования).

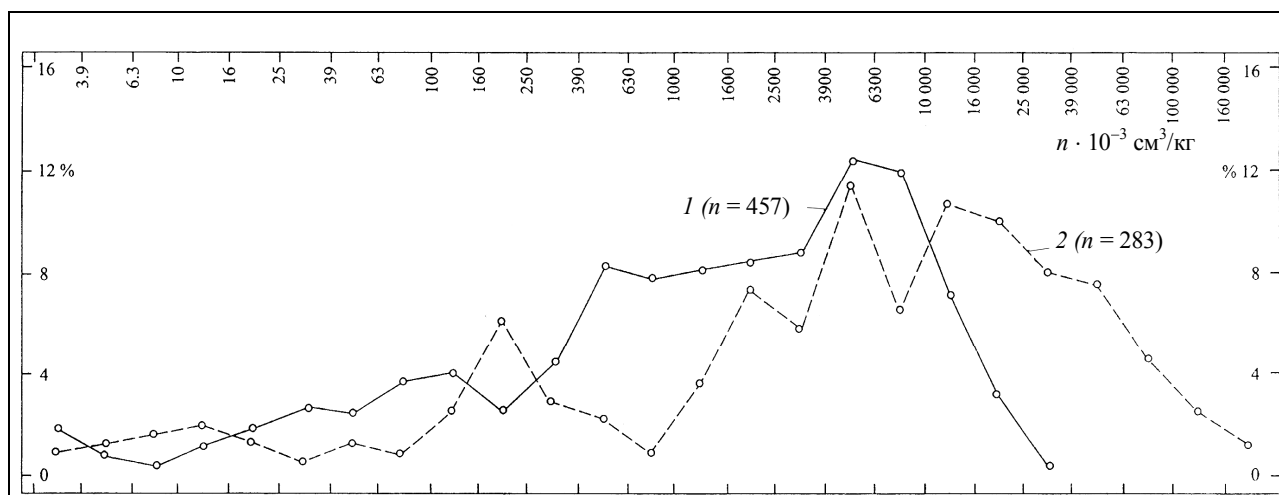


Рис. 1. Гистограммы распределения концентраций метана в толще ММП(1) и в отложениях, залегающих ниже подошвы ММП (2)

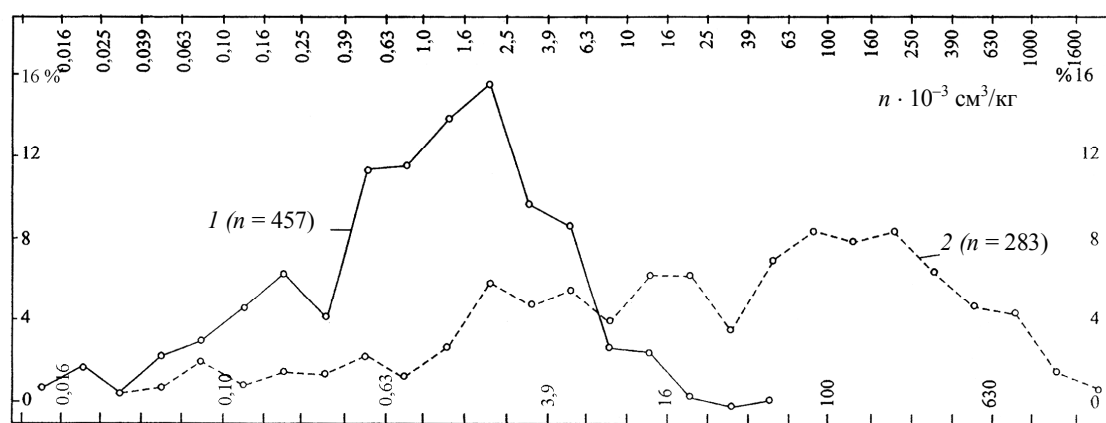


Рис. 2. Гистограммы распределения концентраций предельных УВГ C_2-C_4 в толще ММП (1) и в отложениях, залегающих ниже подошвы ММП (2)

Газы локальных УВ скоплений казанцевской, салехардской и ганькинской свит имеют близкий химический состав и в среднем представлены (% об.): метаном (99,99), этаном (0,0078), пропаном (0,0007), бутаном (0,0007) и пентаном (0,00009). Содержание предельных УВГ колеблется в пределах 58...72 % от суммы C_2-C_4 .

В зоне развития подмерзлотных отложений повышенные концентрации УВГ отмечены среди пород нижнеберезовской подсвиты в интервале глубин 491...528 м (скв. 610-ПЗ, 54-ПЗ).

Газы сеноманской залежи близки по составу газам ВЧР и состоят (% об.) из метана (99,97), этана (0,0264), пропана (0,0024), бутана (0,00043) и пентана (0,00002). Среди газов более

Таблица 4

Геохимическая характеристика газовых аномалий, выявленных в надсеноманских отложениях Бованенковского НГКМ по данным газометрии керна (по материалам НПЦ "Геохимия", 1997 г.)

Свита	Лито-логический состав	Интервал, м	$n \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{кг}$			Скважина
			CH_4	C_2H_6	$C_3H_8-C_6H_{14}$	
Казанцевская	IV серия песчаных пластов	15...38	2314,50	2,75	0,890	54-ПЗ
Салехардская	III серия песчаных пластов	38...120	5289,90	8,55	0,660	54-ПЗ
Ганькинская	II серия песчаных пластов	218...270	4226,00	14,63	3,120	54-ПЗ
Нижнеберезовская подсвита	I серия песчаных пластов	422...480	44611,90	885,47	15,510	54-ПЗ
Нижнеберезовская подсвита	То же	512...550	145655,65	601,71	101,360	610-ПЗ
Нижнеберезовская подсвита	"	450...540	1493,30	6,50	1,078	65-4Н
Сеноман, продуктивная залежь	Песчаный пласт	600...650	51306,50	57,60	4,622	65-4Н

глубоких продуктивных горизонтов неокома (ТП₁₋₆) присутствует метан (97,28 %), этан (2,6 %), пропан (0,356 %), бутан (0,0598 %), пентан (0,003 %), гексан (0,015 %).

11. Определены примерные значения газогеохимических критериев, по которым возможно провести классификацию УВ газов надсеноманских отложений месторождения (табл. 5).

Приведенные значения свидетельствуют о том, что различия состава газа локальных скоплений УВГ в ВЧР и нижележащих сеноманских и неокомских залежах значимы и на их основании возможны идентификация и отнесение УВ скоплений к тому или иному типу газов.

В продуктивных горизонтах содержание непредельных УВ C₂–C₄ крайне незначительное, так что в составе C₂–C₄ преобладают предельные их формы. Это превышение для газов сеномана составляет 20...25 раз, а для отложений горизонта ТП₁₋₆ оно равно 500...600.

12. В целом наблюдается определенная последовательность в изменении геохимических критериев УВГ с глубиной: возрастает содержание гомологов метана в ряду C₁–C₆ с одновременным выполнением условия C₁>C₂>C₃>C₄>C₅>C₆; увеличивается количество -C₄, -C₅, -C₆; происходит утяжеление изотопного состава углерода метана (табл. 6).

Установлено, что каждый литолого-стратиграфический комплекс надсеноманских отложений характеризуется определенным, присущим только ему, составом УВГ и соотношением геохимических компонентов.

Генезис УВГ. Для установления природы УВ газов было выполнено определение изотопного состава углерода метана: газов ворошения, сорбированных газов, шлама и керны скважин мелкого и мерзлотно-параметрического бурения, а также свободных и водорастворенных газов. По данным аналитических определений установлено, что значения ИСУ метана изученных газов варьируются в широких пределах.

Газы ворошения. Пробы этих газов отбирались из озер, расположенных возле кустовой площадки № 56 и скв. 108. Кроме того, часть проб взята в районе опытного полигона ВНИИСТА. Средние значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ газов ворошения составляют -56,85 ‰, пределы колебаний -50,01...-61,59 ‰ (табл. 7), что характерно для углерода метана биогенных газов. Однако не исключено, что в составе газов ворошения, наряду с сингенетическими, присутствует некоторая часть эпигенетических (миграционных) газов, мигрировавших из нижележащих отложений в приповерхностную область разреза по системам тектониче-

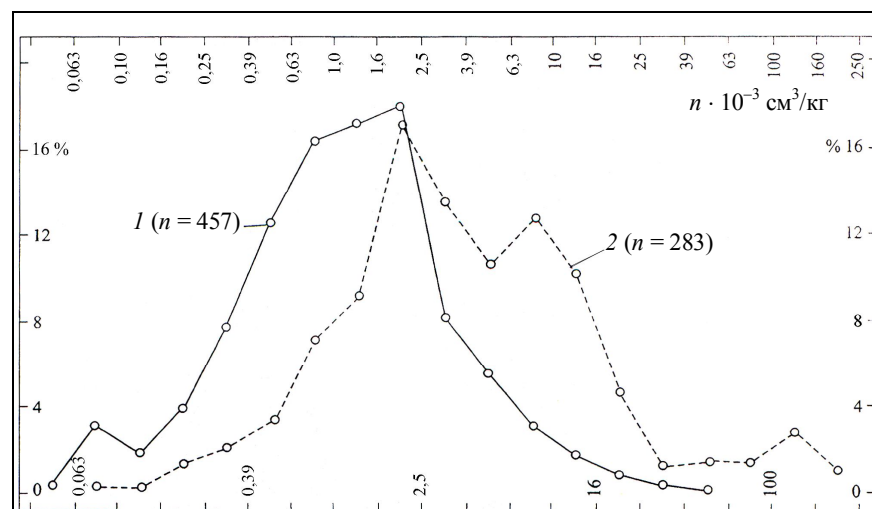


Рис. 3. Гистограммы распределения концентраций непредельных УВГ C₂–C₄ в толще ММП (1) и в отложениях, залегающих ниже подошвы ММП (2)

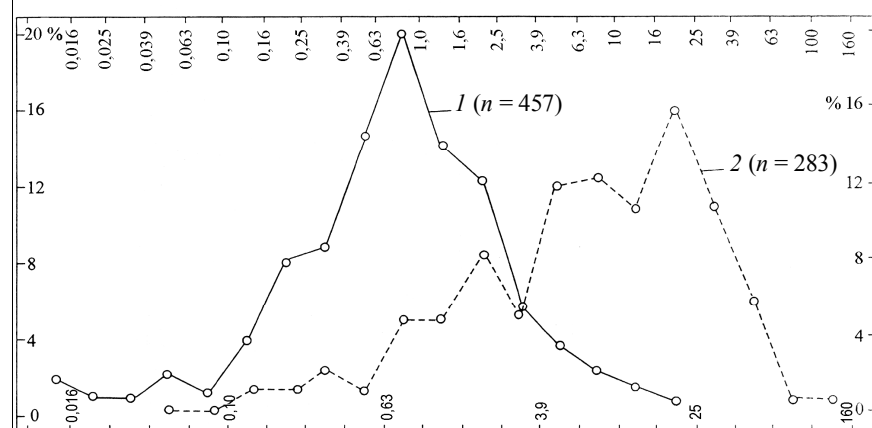


Рис. 4. Гистограммы распределения коэффициента $K_a = \frac{C_2 - C_4}{C_2 + C_4}$ в толще ММП (1) и в отложениях, залегающих ниже подошвы ММП (2)

Таблица 5

Геохимические критерии газовых залежей

Типы залежей	Значения геохимических критериев
Локальные скопления в надсеноманских отложениях	CH_4 ТУ 4400...22110 $\text{C}_2\text{--C}_4$ пред. $\text{C}_2\text{--C}_4$ непред. 0,2...30,0 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ -85...-52 ‰
Сеноманские залежи	CH_4 ТУ 2880...4500 $\text{C}_2\text{--C}_4$ пред. $\text{C}_2\text{--C}_4$ непред. 30...85 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ -50...-48 ‰
Неокомские залежи	CH_4 ТУ 3,1...42 $\text{C}_2\text{--C}_4$ пред. $\text{C}_2\text{--C}_4$ непред. 480...750 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ -43...-45 ‰

ских нарушений и трещин. Как отмечают (Галактионов Б.В., Ханнанов З.Д., Аверина Г.Ф., 1989) загазованность ВЧР исследуемой территории произошла в неотектонический период развития Бованенковской структуры в связи с особенностями формирования толщи многолетней мерзлоты, наличием крупных сквозных таликов под озерными ваннами и их последующим осушением и промерзанием (образованием непроницаемой для газа мерзлой покрывки). Сквозные талики на участках и территориях озерных котловин образуют по мере промерзания (сверху вниз) ловушки для УВГ при их миграции из нижележащих горизонтов, особенно по системам новейших тектонических нарушений, существование которых является бесспорным. При наличии коллекторов наиболее вероятной

областью преимущественного развития залежей газа в криогенном разрезе является низинная плоская равнина (междуречье рек Се-Яха и Морды-Яха) с молодыми геоморфологическими поверхностями на отметках ниже +10 м. Здесь произошло самое позднее формирование многолетнемерзлой покрывки. Особенно вероятно наличие этих залежей газа на территориях с котловинами крупных, древних и глубоко опущенных озер (несколько километров в диаметре и глубиной до 5...20 м). Они обычно не полностью осушены, имели под собой крупные сквозные талики и промерзанием перекрыты в самое последнее время. Здесь были наиболее благоприятные условия для образования ловушек газа. Часть газа, естественно, до сих пор диффундирует на дневную поверхность, так как под некоторыми глубокими озерами сквозные талики сохранились; они сохранились также на редких русловых участках с непромерзающими озерами.

В дальнейшем, при морфометрических построениях масштабов 1:50000 и 1:25000, выполненных НПЦ "Геохимия", было выяснено, что обследованные озера у куста скв. 56 и 108 расположены в области пересечения четко выраженных ослабленных зон широтного и меридионального направлений. Позднее наличие ослабленных зон (зон нарушений) подтвердилось и детальными гравиметрическими работами масштаба 1:2000, проведенными сотрудниками ВНИИгеосистем (Гильберштейн П.Г. и др., 1995).

Сорбированные газы шлама скважин мелкого бурения. Исследовались сорбированные газы, отобранные с глубин 1,5 и 3,0 м кустовых площадок № 55 и 64. Средние значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ для проб, отобранных с глубины 1,5 м составляют $-37,53$ ‰ (куст № 55) и $-41,8$ ‰ (куст № 64, см. табл. 7). Среднее значение $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ для этой глубины отбора по обоим кустам равно $-38,86$ ‰. Для глубины опробования 3,0 м эти значения составляют $-48,5$ ‰ (куст № 55), $-54,75$ ‰ (куст № 64) и $-51,02$ ‰ (среднее для обоих кустов, вместе взятых). Среднее же значение $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ для газов скважин мелкого бурения равно $-42,9$ ‰.

Таблица 6

Изотопный состав углерода метана надсеноманских отложений и продуктивных горизонтов Бованенковского НГКМ (по материалам НПЦ "Геохимия", 1997 г.)

Свита	Характер пробы	Скважина	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$, ‰
Казанцевская	Керн, свободные газы, водорастворенные газы	51-П1, 55-П2	$-92,1 \dots -69,8$
Салехардская	"	51-П1, 51-П2, 51-П3, 52-П1, 52-П2, 55-П2, 55-П3	
Талицкая	"	55-П2, 55-П3, 65-П1	
Ганькинская	Водорастворенные газы	55-П3	$-66,4 \dots -65,9$
Березовская	Керн	51-П1, 55-П2, 55-П3	$-56,7 \dots -62,3$
Сеноман	Керн, свободные газы	P-53	$-48,0 \dots -50,0$
Танопчинская	Свободные газы	5601, 68-08	$-45,0 \dots -43,0$

Таблица 7

Изотопный состав углерода метана газов ворошения и рассеянных УВГ шлама скважин мелкого бурения Бованенковского ГКМ (Бондарев В.Л., Миротворский М.Ю., Шайдуллин Р.М. и др., 2004)

Тип газов	Номера проб	Привязка	Значение $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$, ‰
Газы ворошения	15	Озеро у куста скв. 56 и 108	$-60,06$
	11	"	$-59,61$
	4	"	$-54,83$
	12	"	$-58,65$
	13	"	$-56,56$
	14	"	$-60,00$
	16	"	$-59,86$
	17	"	$-55,87$
	19	"	$-57,30$
	3	"	$-53,90$
	18	"	$-61,59$
	5	"	$-50,87$
	9	"	$-50,01$
		Среднее газов ворошения	$-58,86$
Газы шлама скважин мелкого бурения	2/15	Куст № 55, глубина 1,5 м	$-36,70$
	2/16	"	$-31,50$
	4/6	"	$-41,70$
	4/7	"	$-41,40$
	7/0	"	$-35,70$
	12/14	"	$-33,50$
	15/14	"	$-42,20$
		Среднее по кусту № 55	$-37,53$
	3/15	Куст № 64, глубина 1,5 м	$-35,50$
	4/10	"	$-41,70$
	7/1	"	$-48,70$
		Среднее по кусту № 64	$-41,80$
	10/3	Куст № 55, глубина 3,0 м	$-52,70$
	10/4	"	$-49,10$
	12/6	"	$-43,80$
		Среднее по кусту № 55	$-48,53$
	-1/2	Куст № 64, глубина 3,0 м	$-64,00$
	0/2	"	$-45,50$
		Среднее по кусту № 64	$-54,75$

По данным изотопного анализа метан на глубине 1,5 м на обеих кустовых площадках несколько утяжелен по сравнению с пробами, отобранными с глубины 3,0 м. Судя по значениям ИСУ метана, газы этих

уровней опробования (особенно с глубины 1,5 м) свойственны газам термокаталитического происхождения. Однако такие величины ИСУ метана на указанных объектах, несмотря на широко развитые здесь явления криогенеза, скорее всего, свидетельствуют об интенсивных процессах бактериального окисления метана, протекающих в приповерхностной зоне (0...1,5 м) геохимического зондирования.

Известно (Иванов Д.В., 1998), что метанооксиляющие микроорганизмы предпочтительнее включают в свой метаболизм метан, содержащий легкий изотоп углерода ^{12}C , вследствие чего остаточный метан обогащается тяжелым изотопом углерода ^{13}C по сравнению с исходным. Очевидно, этими процессами и объясняется наблюдаемое утяжеление ИСУ метана сорбированных газов шлама скважин мелкого бурения.

О существовании бактерий в таких экстремальных условиях свидетельствуют работы ряда исследователей. Так, по данным австралийских ученых (1995 г.), даже в суровейших условиях Антарктиды, в этой, казалось бы, совершенно стерильной земле обитают и успешно развиваются десятки различных типов бактерий, причем в очень больших количествах: в каждом грамме антарктической почвы содержится примерно 2 млн бактерий. Несколько видов бактерий оказались великолепными пожирателями поллютантов: с их помощью можно будет, например, очищать моря, пресноводные водоемы и почвы от загрязнения нефтью и нефтепродуктами, очищать их от тяжелых металлов, успешно перерабатывать бытовые отходы. По мнению куратора "Австралийской коллекции" Кэрл Манкузо Николс, антарктические микроорганизмы, поставленные в экстремальные природные условия, вынуждены развивать механизмы и вещества, помогающие им выжить при низких температурах, высокой солености и ограниченной подвижности.

Последующими исследованиями (Леин А.Ю., Лейбман М.О., Савичев А.С. и др., 2003) установлено, что в пластовых залежах льда на р. Се-Яха в районе Бованенковского ГКМ присутствует многочисленное количество микроорганизмов. По данным указанных авторов общая численность бактерий в образцах стекловидной и пузырчатой фаций льда варьировала от $3,0 \cdot 10^4$ до $9,6 \cdot 10^5$ клеток на 1 мл (кл./мл), составляя в среднем $2,3 \cdot 10^5$ кл./мл. В образцах же полосчатого льда со значительным количеством взвеси общая численность бактерий колебалась в пределах $4,7 \cdot 10^4$... $2,5 \cdot 10^6$ кл./мл, составляя в среднем $7,7 \cdot 10^5$ кл./мл. А в образцах пород, находящихся на контакте с пластовыми льдами, общая численность микроорганизмов была значительно выше и изменялась в пределах $1,4 \cdot 10^7$... $2,0 \cdot 10^8$ клеток на грамм влажного осадка (кл./г), составляя в среднем $6,5 \cdot 10^7$ кл./г. Численность бактерий в образцах льда в значительной степени определяется содержанием общей взвеси в пробах, а ИСУ метана газовых включений, определенный в одной пробе пузырчатого льда, по данным тех же авторов, обогащен тяжелым изотопом и равен

$\delta^{13}\text{C} = -37,8 \text{ ‰}$. Кроме того, метан с близким изотопным составом ($\delta^{13}\text{C} = -36,0$ и $-38,0 \text{ ‰}$) был обнаружен и в составе газовой фазы в толще ММП р. Колымы. Однако чаще в ММП присутствует изотопно-легкий метан. Так, в отложениях дельты р. Макензи (Канада) значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ колеблются от $-77,9$ до $-89,9 \text{ ‰}$.

Основываясь на результатах определения ИСУ метана, А.Ю. Леин, М.О. Лейбман и др. (2003 г.) отмечают, что в районе Бованенковского ГКМ ММП надежно экранируют залежь пластовых льдов от попадания метана из продуктивных пластов. Следовательно, тяжелый ИСУ метана во льдах можно объяснить биогенными процессами, протекающими в самих ледяных пластах, несмотря на сходство значений $\delta^{13}\text{C}$ углерода метана, во льдах и продуктивных горизонтах. И далее они указывают, что первые данные по ИСУ метана из пластовых залежей льда на р. Се-Яха и Белушский Нос можно использовать как свидетельство в пользу образования метана *in situ* в ледяной толще в результате микробных процессов в условиях практически полного истощения исходного субстрата.

На глубине 3,0 м величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ изменяются до значений $-43,8$... $-64,0 \text{ ‰}$, что, очевидно, может указывать на некоторое понижение интенсивности процессов бактериального окисления. И.С. Старобинец, А.В. Петухов и др., (1993 г.) отмечают, что в наибольшей степени процессы микробиологического окисления развиты в самых верхних слоях осадочного разреза (аэробные условия), о чем, в частности, свидетельствуют результаты исследования поверхностных газов Германии. Здесь пробы газа на глубине 0...5 м имели наименьшую концентрацию метана, значительно обогащенного тяжелым изотопом ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4} = -25,8 \text{ ‰}$), а на глубине 10...150 м (анаэробные условия) рост концентрации метана сопровождается резким изотопным облегчением ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4} = -77,4 \text{ ‰}$).

Таким образом, можно отметить, что в составе сорбированных газов этого уровня опробования (0...3,0 м) присутствуют сингенетические газы, в значительной мере обогащенные тяжелым изотопом углерода метана за счет интенсивного развития в этом интервале глубин процессов бактериального окисления.

Газы скважин мерзлотно-параметрического бурения. По этим скважинам исследовались: свободные газы, отобранные в процессе испытания отдельных горизонтов; водорастворенные газы; сорбированные газы проб керна.

Средние величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ для вышеуказанных газов составляют: $-73,9 \text{ ‰}$ (свободные газы); $-64,83 \text{ ‰}$ (водорастворенные газы); $-57,56 \text{ ‰}$ (сорбированные газы керна, табл. 8).

Анализ значений $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ позволяет высказать предположение о том, что в исследуемых пробах, по видимому, присутствуют следующие генетические типы газов:

– сингенетические газы, присущие газам газопоявлений, установленные в ряде параметрических скважин в интервале глубин 16...150 м (в зоне разви-

тия ММП); для этих газов принимаем значение $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$, равное $-70,00\text{‰}$ и ниже (см. выше), характерное для газов биогенерации, хотя величина δ в них колеблется в пределах $-59,2\text{‰}$... $-92,1\text{‰}$; справедливости ради следует, однако, заметить, что наличие среди этих газов пробы со значением $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4} = -59,2\text{‰}$, очевидно, может указывать на присутствие в их составе некоторой доли эпигенетических (миграционных) газов;

– сингенетические, с некоторым содержанием эпигенетических газов, свойственны водорастворенным газам (интервал 10...252 м), в которых значение $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ изменяется от $-61,0$ до $-67,7\text{‰}$;

– смешанные газы (сингенетические и эпигенетические), сорбированные осадочными породами, в которых ИСУ метана изменяется в пределах $-43,5\text{‰}$... $-76,4\text{‰}$; для различных интервалов опробования она составляет (0...262 м толща ММП) $-54,0\text{‰}$... $-76,4\text{‰}$, (среднее $-63,14\text{‰}$), что присуще газам биогенного происхождения; 202...350 м (палеоген-меловые отложения) – $(-43,5\text{‰}$... $-56,7\text{‰})$ (среднее $-50,2\text{‰}$).

По нашим данным продуктивные залежи Бованенковского ГКМ характеризуются следующим составом ИСУ метана: газы сеноманской залежи $-48,5\text{‰}$ (среднее по двум определениям, скв. Р-53, интервал 582...600 м), газы неокмских отложений (пласт ТП₁₋₆) $-44,4\text{‰}$ (среднее по двум определениям, скв. 60-08, интервал 1516...1536 м).

Таким образом, в изученной части разреза осадочных образований Бованенковского НГКМ с увеличением глубины отбора проб происходит утяжеление ИСУ метана (рис. 5).

Возможные объекты поисков залежей УВГ в надсеноманских отложениях

П.Г. Гильберштейн, С.А. Каплан и др. (1995 г.), обобщив информацию о приповерхностных газопроявлениях на площади Бованенковского НГКМ, показали, что все они связаны с четырьмя объектами в надсеноманских подмерзлотных отложениях и породах криолитозоны, которые, по их мнению, следует рассматривать в качестве потенциальных резервуаров газа в образованиях ВЧР. К ним относятся следующие объекты.

1. Песчаный пласт в верхах ганькинской свиты, объединяемый с базальным слоем отложений талицкой свиты (суглинки и песчаники с гравием и галькой). Глубина объекта – около 200...250 м. По данным НТФ "Криос" его пористость составляет 35 %, коэффициент пористости равен 0,55.

2. Песчаный пласт толщиной 7...10 м внутри отложений талицкой свиты на глубине 150...170 м. Пористость этого пласта – 39 %, коэффициент пористости равен 0,64 (материалы НТФ "Криос").

3. Мореноподобный супесчаный пласт или линзы внутри (глубина 75...100 м), а иногда и в верхних горизонтах (глубина 60 м) отложений сале-

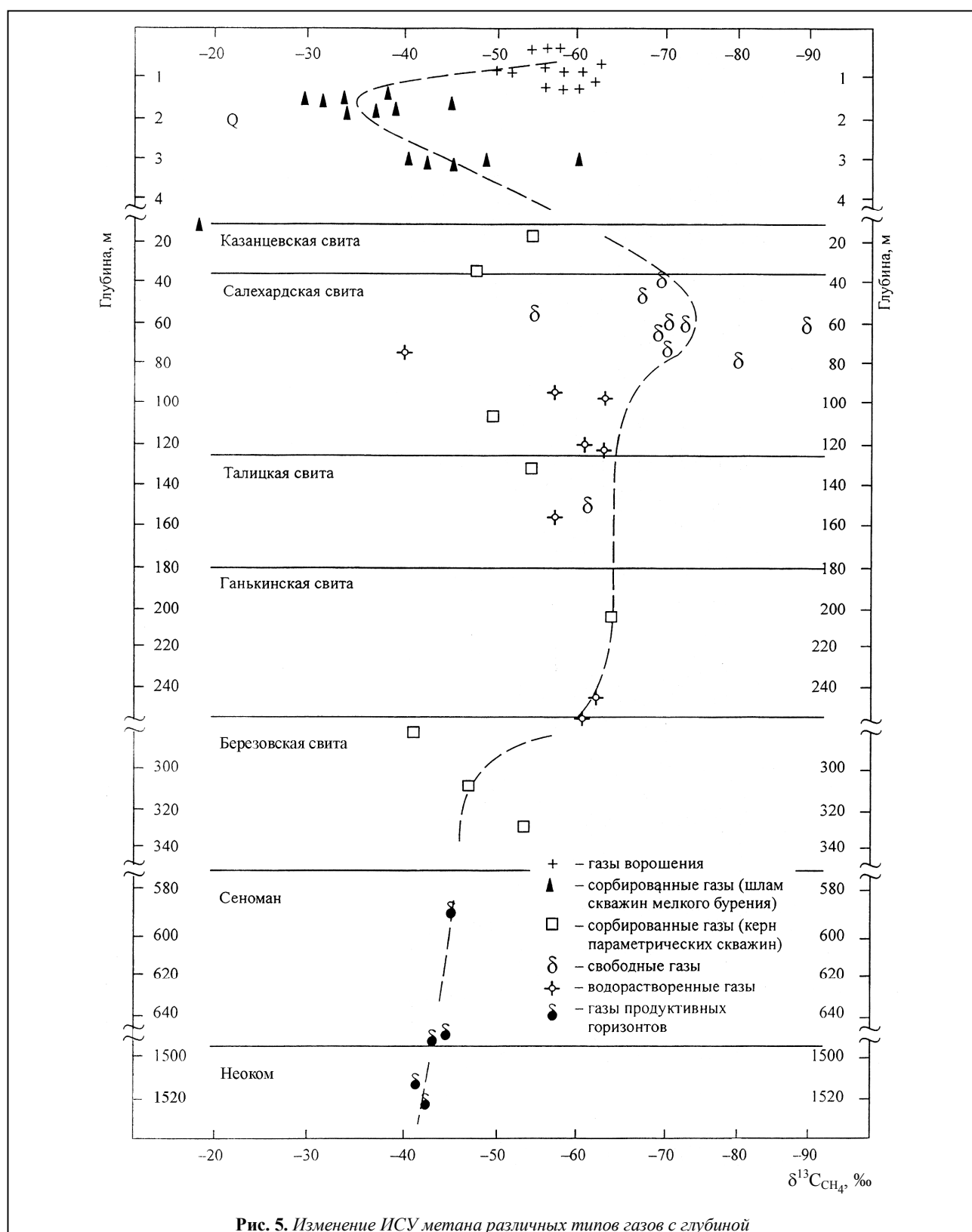
**Изотопный состав углерода метана свободных, водорастворенных и сорбированных УВГ мерзлотно-параметрических скважин Бованенковского ГКМ
(Бондарев В.Л., Миротворский М.Ю., Шайдуллин Р.М. и др., 2004)**

Тип газов	Скважина	Интервал (глубина отбора), м	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$, ‰
1. Свободные газы	51-П1	58...60	-59,20
	51-П1	59...64	-75,10
	51-П2	38...44	-73,80
	51-П3	59...64	-76,70
	51-П3	62...69	-74,10
	52-П2	46...52	-71,80
	52-П2	110...120	-69,80
	55-П1	59...64	-92,10
	55-П3	103...113	-70,00
	64-П2	80	-84,30
	64-П2	80	-75,00
	65-П1	157	-65,20
Среднее по свободным газам			-73,90
2. Водорастворенные газы	51-П1	89...100	-61,00
	51-П1	89...100	-67,70
	52-П1	119...123	-67,20
	52-П2	114...120	-64,60
	55-П3	243...251	-66,40
	55-П3	243...251	-65,90
	65-П1	157	-61,00
Среднее по водорастворенным газам			-64,83
3. Сорбированные газы (керна)	51-П1	34...38	-52,20
	51-П1	106...110	-54,00
	51-П1	301...304	-43,50
	55-П2	16	-58,90
	55-П2	57	-76,40
	55-П2	202	-67,90
	55-П2	329	-50,40
	55-П3	130...132	-58,50
	55-П3	348...350	-56,70
Среднее по сорбированным газам			-57,56

хардской свиты. Пористость рассматриваемого пласта – 41 %, коэффициент пористости – 0,70 (данные НТФ "Криос").

4. Наиболее мощный песчаный пласт в отложениях казанцевской свиты на глубине 30...50 м, с которым могут быть связаны скопления газа в твердой фазе – газогидраты. Пористость данного пласта – 40 %, коэффициент пористости – 0,67 (данные НТФ "Криос").

Объекты 1–3 имеют морской генезис. Дополнительные предпосылки образования объектов 1 и 3 связаны с эффектом осушения нижележащих пород при промерзании вышележащих.



Рассмотренные объекты залегают выше глубины нулевой изотермы и поэтому относятся к разрезу криолитозоны.

Следует отметить, что многие исследователи севера РФ указывают на наличие в областях развития

ММП многочисленных газовых залежей. Так, В.Ф. Клейменов и Ю.М. Качалов (2003 г.), выполнив предварительные газоресурсные исследования, а также анализ материалов бурения, отмечают, что в зонах развития ММП следует ожидать выявления значи-

тельного числа разномасштабных газовых скоплений. По их данным, начавшееся около миллиона лет назад четвертичное оледенение привело к формированию мощного экрана мерзлых пород, приостановившего рассеивание УВГ в атмосферу. Промерзание огромных объемов дисперсно насыщенных газом пород до фиксированных современных мощностей ММП сопровождалось действием специфических криогенных газоаккумулирующих механизмов – вымораживанием растворенного газа при превращении газонасыщенной пластовой воды в лед и газогидратообразованием, приведшим к концентрированию в скоплениях под толщей ММП значительных объемов УВГ. Прохождение бурением осложненных мерзлотой интервалов разрезов сопровождается систематическими газопрооявлениями. Массовый характер таких проявлений со всей очевидностью указывает на существование в криолитозоне и ее подошве специфических условий для формирования газовых залежей, вероятно, достаточно крупных размеров. Подробные проявления скоплений газа широко известны во всех российских регионах с интенсивной нефтегазодобычей – в Тимано-Печоре, на севере Западной Сибири, в Западной и Центральной Якутии. Однако выявленная здесь традиционная глубинная газонасыщенность недр, оцениваемая триллионами кубических метров, делает реальные запасы "верхнего" газа не востребуемыми. По мнению вышеназванных авторов, накопленный материал по фактам реального проявления признаков региональной промышленной газонасыщенности криолитозоны позволяет перейти к проблеме практического использования "верхних" газов, особенно в регионах, мало перспективных в отношении открытия в их глубоких недрах крупных и даже средних залежей УВ.

По данным Н.А. Махониной, Е.В. Перловой, В.С. Якушева и др. (2004 г.) на Бованенковском НГКМ наиболее благоприятными для газонакопления интервалами в надсеноманских отложениях являются породы тибейсалинской свиты (палеоцен), представленные континентальными песчаными осадками, а также вышележащие супесчано-суглинистые образования казанцевской свиты (верхний плейстоцен). В отложениях казанцевской свиты в интервале 50...150 м ожидается как присутствие свободного газа, так и реликтовых газовых гидратов, которые могут существовать в неравновесных термобарических условиях благодаря так называемому эффекту самоконсервации газовых гидратов при отрицательных температурах. Интервал глубин 300...500 м попадает в зону стабильности газовых гидратов. При бурении скважин из этих интервалов отмечались газопрооявления различной интенсивности, на Заполярном, Уренгойском, Ямбургском и других месторождениях, что говорит о региональной газонасыщенности этих интервалов. По мнению указанных авторов, криолитозона не является флюидоупором в региональном смысле и содержит газонасыщенные пласты с хорошими коллекторскими свойствами. Ранее на эту особенность пород криолитозоны указывали И.С. Старобинец, А.В. Петухов и

др. (1993 г.), отмечая (на основании комплекса полевых и экспериментальных исследований), что нет основания считать криолитозону препятствием при проведении геохимических поисков залежей нефти и газа. Более того, для этих целей она весьма благоприятна, так как обладает консервирующими и фиксационными свойствами (низкие температуры, образование газогидратов).

Н.А. Махонина, Е.В. Перлова, В.С. Якушев и др. (2004 г.) заключают, что газ внутримерзлотных скоплений преимущественно не имеет генетической связи с нижележащими продуктивными горизонтами, имеет местное происхождение и образован в результате микробиальной переработки органического вещества в интервале криолитозоны (вероятно, до промерзания).

Выводы

По результатам проведенных исследований можно констатировать следующее.

1. Выяснено, что в надсеноманских отложениях Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения повсеместно наблюдаются газопрооявления различной интенсивности и продолжительности. Они отмечались многими исследователями этого региона, а также данными наших работ, проведенных в 1993–1997 гг. При этом первоначальные дебиты УВГ, полученные при испытании мерзлотно-параметрических скважин, в течение первых часов отработки газонасыщенных песчаных горизонтов колебались в пределах 50...14000 м³/сут, затем снижались до 3000 м³/сут и менее, в зависимости от толщины и размера песчаных пластов. По составу газ метановый (метана до 99 %) с незначительной примесью азота, диоксида углерода и ТУ (этан, пропан, бутан). Отмеченные газопрооявления весьма близки газам основного промышленного апт-сеноманского горизонта.

2. Показано, что УВГ надсеноманского комплекса могут находиться как в свободной форме, так и в виде газогидратов.

3. Установлено, что размеры потенциальных резервуаров газа в надсеноманских отложениях определяются, в первую очередь, литолого-фациальными особенностями этих пород. В разрезе рассматриваемых образований выделяется серия песчаных пластов и линзообразных горизонтов толщиной 5...15 м и более в отложениях казанцевской, салехардской, ганькинской свит и нижеберезовской подсвиты. Они характеризуются хорошими коллекторскими свойствами. По данным НТФ "Криос" пористость песчаных пластов указанных свит колеблется в пределах 35...41 %, а коэффициент пористости изменяется от 0,55 до 0,70. Выяснено, что толщина и размеры песчаных слоев – потенциальных коллекторов по латерали возрастают вниз по разрезу.

4. Показано, что в разрезе надсеноманских отложений выделяются протяженные, преимущественно глинистые горизонты значительной толщины, которые могут рассматриваться в качестве региональных экранирующих горизонтов (покрышек). Кроме того,

своеобразным флюидоупором могут являться и сами криогенные породы, образование которых связано с ММП в северных регионах Западной Сибири. Они возникают в криогенном разрезе за счет заполнения поровых пространств и трещин льдом и газогидратами. Не исключено, что при определенных условиях эти породы могут служить надежными покрывками для крупных газовых месторождений на севере Западно-Сибирской плиты (Геология и геохимия нефти и газа, 2000; Овчаренко А.В., Ермаков Б.В., Мятчин К.М. и др., 2007).

5. По материалам газогеохимических исследований, выполненных нами в 1993–1997 гг., выяснено, что в толще надсеноманских образований выделяются аномалии УВГ различных размеров и контрастности как в ММП (песчаные горизонты казанцевской, салехардской и ганькинской свит), так и в отложениях, залегающих ниже подошвы ММП (нижнеберезовская подсвита). Газы локальных УВ скоплений надсеноманского комплекса представлены, главным образом, метаном с незначительной примесью этана–пентана. Они образуют скопления УВГ, которые хорошо фиксируются как наземной съемкой (скважины мелкого бурения), так и по данным скважин мерзлотно-параметрического бурения.

6. Определены примерные значения газогеохимических критериев, по которым возможно выделить УВГ надсеноманских отложений и УВГ апт-сеноманских и неокосских промышленных залежей.

7. По данным изотопного состава углерода метана газов надсеноманских образований установлено, что среди них присутствуют: сингенетические (газы биогенерации), сингенетические с некоторым содержанием эпигенетических (термокаталитических) газов и смешанные газы.

8. Представляется, что после выработки основного продуктивного апт-сеноманского горизонта возможными потенциальными объектами разработки в будущем в пределах Бованенковского и других месторождений п-ова Ямал могут рассматриваться надсеноманские песчаные горизонты казанцевской, салехардской и ганькинской свит, а также нижнеберезовской подсвиты сенона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Условия формирования непромышленных скоплений УВГ в надпродуктивных отложениях полуострова Ямал и геохимические методы диагностики их природы / Бондарев В.Л., Миротворский М.Ю., Шайдуллин Р.М., Гудзенко В.Т. – М., 2004. – 182 с.
2. Галактионов Б.В., Ханнанов З.Д., Аверина Г.Ф. Уточнение геолого-промыслового строения Бованенковского месторождения в связи с подготовкой корректив к проекту разработки "Дать анализ результатов аварийного фонтанирования скв. 118 Бованенковского месторождения": Отчет по договору 210-89.90. – Тюмень, 1989.
3. Геология и геохимия нефти и газа. – М.: Изд-во МГУ, 2000.
4. Разработка и применение методики геофизического прогнозирования приповерхностных газовых скоплений и техногенных аварийноопасных зон в местах первоочередного разбуривания кустов эксплуатационных скважин Бованенковского газоконденсатного месторождения: Отчет по договору № 9/93-314 с АО "Надымгазпром"/ П.Г. Гильберштейн, С.А. Каплан и др. – М., 1995.
5. Геохимические исследования на территории Бованенковского месторождения по выявлению причин техногенных газопроводов и их локализации: Отчет по договору № 54/94 / Гудзенко В.Т., Бондарев В.Л., Миротворский М.Ю. и др. – М.: НПП "Геохимия", 1996.
6. Оценка газонасыщенности криолитозоны и подмерзлотных надсеноманских отложений. Бованенковского и Харасавэйского месторождений: Отчет по договору № 7/97 / В.Т. Гудзенко, В.Л. Бондарев, М.Ю. Миротворский и др. – М.: НПП "Геохимия", 1997.
7. Клейменов В.Ф., Качалов Ю.М. Подмерзлотные газонасыщенные скопления криолитозоны арктических нефтегазоносных регионов, методические приемы их картирования // Геология и направление поисков нефти и газа: Сб. науч. тр. ВНИГНИ. – М., 2003.
8. Кондаков В.В., Кусова О.Ф., Язынин О.М. Результаты исследования криолитозоны Бованенковского ГКМ // Материалы совещания "Определение основных направлений деятельности ОАО "Газпром" по обеспечению надежности эксплуатации инженерных сооружений и оптимизации инвестиций в строительство новых объектов в зоне распространения многолетнемерзлых пород". – Тюмень, 23–24 декабря 2002, – М., 2003.
9. Изотопно-биогеохимические особенности подземного пластового льда полуостровов Югорского и Ямал / А.Ю. Леин, М.О. Лейбман, А.С. Савичев и др. // Геохимия. – 2003. – № 10.
10. Газовые скопления в криолитозоне Заполярного НГКМ / Махонина Н.А., Перлова Е.В., Якушев В.С., Ахмедсафин С.К. // Наука и техника в газовой промышленности. – 2004. – № 1.
11. О генерации углеводородов в толщах многолетнемерзлых пород / П.И. Мельников, П.В. Мельников, В.П. Царев и др. // Изв. АН СССР. – 1989. – № 2.
12. Флюидоупоры в месторождениях углеводородов / Овчаренко А.В., Ермаков Б.В., Мятчин К.М., Шлезингер А.Е. // Литология и полезные ископаемые. – 2007. – № 2.
13. Старобинец И.С., Архангельский А.В. Оценка нефтегазоносности локальных структур по комплексу газогеохимических показателей (на поисковом этапе ГРП). Методы оценки нефтегазоносности локальных ловушек. – М.: Наука, 1981.
14. Основы теории геохимических полей углеводородных скоплений / И.С. Старобинец, А.В. Петухов, С.А. Зубайраев и др. – М.: Недра, 1993.