

Региональные построения карт мощности криолитозоны и подошвы интервала стабильности газогидратов Западной Сибири

Агалаков С.Е.¹, Кузовков А.А.¹, Озирная Е.Т.², Плавник А.Г.²

¹ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия, ²Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия
seagalakov@tnnc.rosneft.ru

Аннотация

Выполнено обобщение существующих данных для Западной Сибири по основным характеристикам, определяющим равновесные термобарические условия существования газогидратов — температура разреза, пластовое давление, плотность газа по воздуху, минерализация пластовых вод. Построены карты подошвы криолитозоны и подошвы стабильности газогидратов Западной Сибири.

Материалы и методы

Выполнены обоснование методики построения карт подошвы криолитозоны и методики численного расчета положения подошвы интервала стабильности газогидратов, обобщение необходимых входных данных — температура разреза, пластовое давление, плотность газа по воздуху, минерализация пластовых вод.

Ключевые слова

криолитозона, газогидраты, многолетнемерзлые породы, Западная Сибирь

Для цитирования

Агалаков С.Е., Кузовков А.А., Озирная Е.Т., Плавник А.Г. Региональные построения карт мощности криолитозоны и подошвы интервала стабильности газогидратов Западной Сибири // Экспозиция Нефть Газ. 2023. № 8. С. 46–55. DOI: 10.24412/2076-6785-2023-8-46-55

Поступила в редакцию 17.11.2023

GEOLOGY

UDC 553.981.2+551.345.3 | Original Paper

Building regional thickness maps of permafrost zone and the bottom of the gas hydrate stability interval in West Siberia

Agalakov S.E.¹, Kuzovkov A.A.¹, Ozirnaya E.T.², Plavnik A.G.²

¹“Tyumen petroleum research center” LLC, Tyumen, Russia, ²Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia
seagalakov@tnnc.rosneft.ru

Abstract

The existing data on West Siberia have been integrated by the main properties defining the equilibrium pressure and temperature conditions of gas hydrate existence: vertical temperature, reservoir pressure, gas-to-air density, formation water salinity. Maps of the bottom of the permafrost zone and the bottom of the gas hydrate stability interval in West Siberia have been compiled.

Materials and methods

The methodology for building maps of the bottom of the permafrost zone and the methodology for numerical determination of the bottom of the gas hydrate stability interval have been justified, the necessary

input data have been integrated, i.e. vertical temperature, reservoir pressure, gas-to-air density, formation water salinity.

Keywords

cryolithic zone, gas hydrates, permafrost, West Siberia

For citation

Agalakov S.E., Kuzovkov A.A., Ozirnaya E.T., Plavnik A.G. Building regional thickness maps of permafrost zone and the bottom of the gas hydrate stability interval in West Siberia. Exposition Oil Gas, 2023, issue 8, P. 46–55. (In Russ). DOI: 10.24412/2076-6785-2023-8-46-55

Received 17.11.2023

Газовые гидраты представляют собой особую форму существования природного газа и являются потенциальным и стратегически важным сырьем. За 2015–2023 гг. в России защищено не менее 25 научных диссертаций по темам, связанным с газогидратами. За тот же период времени было подано более 50 заявок на получение патентов РФ [1].

Подход к газогидратам как ресурсному потенциалу Западной Сибири в конце 70-х, начале 80-х годов прошлого века развивался усилиями В.Г. Васильева, А.А. Трофимюка, Ю.Ф. Макогона [2–6], якутских ученых

С.П. Никитина, В.П. Царева, Н.В. Черского [7–10]. В 80-х годах оценки ресурсов выполнялись в Ленинграде Е.С. Барканом, Г.Д. Гинсбургом, А.Н. Вороновым, В.П. Якуцени [11–14]. В Тюмени особенности газогидратных процессов в недрах Западной Сибири исследовались С.Е. Агалаковым, В.А. Ненаховым, А.Р. Курчиковым, В.П. Царевым [15–21]. В XXI веке активно занимаются оценками ресурсов и методами разработки газогидратов ученые Москвы: К.С. Басниев, В.А. Истомина, С.А. Леонов, Н.А. Махонина, Е.В. Перлова, А.Л. Сухоносенко, В.С. Якушев [22–30]. В литературе постоянно

появляются обзоры по проблематике газовых гидратов [1, 31].

Хотя основные ресурсы газогидратов приурочены к отложениям морских шельфов, газогидраты в отложениях континентальной части также обладают значимым потенциалом.

В Западной Сибири в этом отношении выделяется надсенноманские отложения. Достигнутая к настоящему времени высокая изученность их строения и свойств позволяет достаточно детально анализировать и моделировать характеристики, являющиеся ключевыми для оценки ресурсов газогидратов.

Целью данной работы является обобщение существующих данных для Западной Сибири по основным характеристикам, определяющим равновесные термобарические условия существования газогидратов [3] это температура разреза, пластовое давление, плотность газа по воздуху, минерализация пластовых вод и построение карт подошвы стабильности газогидратов. Особенностью работы является раздельное моделирование интервала стабильности газогидратов для пяти перспективных на газовые гидраты региональных резервуаров.

Региональные перспективные резервуары Западной Сибири

По современным данным верхнемеловая толща выше сеномана представляет собой чередование покрышек и коллекторов [5] (рис. 1). Эта толща характеризуется как наличием газовых, так и газогидратных месторождений.

Моделирование температурного режима разреза

В данной работе при изучении температурного режима разреза использованы материалы, приведенные в обобщающих работах [16, 32–38], а также собственные исследования авторов.

Ключевым фактором существования газогидратов является охлажденность разреза, вызванная наличием многолетнемерзлых пород (ММП). Для определения глубины подошвы многолетнемерзлых пород применяются различные подходы [1, 39–43]. Наиболее надежным методом определения температурного режима разреза является термометрия в выстоявшихся скважинах — метод ОГГ (определение геотемпературного градиента) (рис. 2).

Характерной особенностью термограмм в районах развития многолетнемерзлых пород (ММП) является их двухчленное строение — в точке перехода через

0 °С наблюдается излом термограммы, показывающий различные геотемпературные градиенты в мерзлой и талой зонах. Таких термограмм для детального изучения температурного режима Западной Сибири крайне мало.

Поэтому приходится использовать другие методы восстановления температурного режима разреза. Они, как правило, сводятся к определению положения подошвы ММП методами ГИС и определению геотермического градиента в подмерзлотной толще по данным температурных измерений при опробовании объектов в скважинах.

Для определения подошвы ММП в ряде случаев может быть использована термометрия в невыстоявшихся скважинах по изгибу термограммы ОЦК — отбивке цементного кольца (рис. 3а).

Также для определения положения подошвы ММП используется каротаж электрического сопротивления. Физической основой

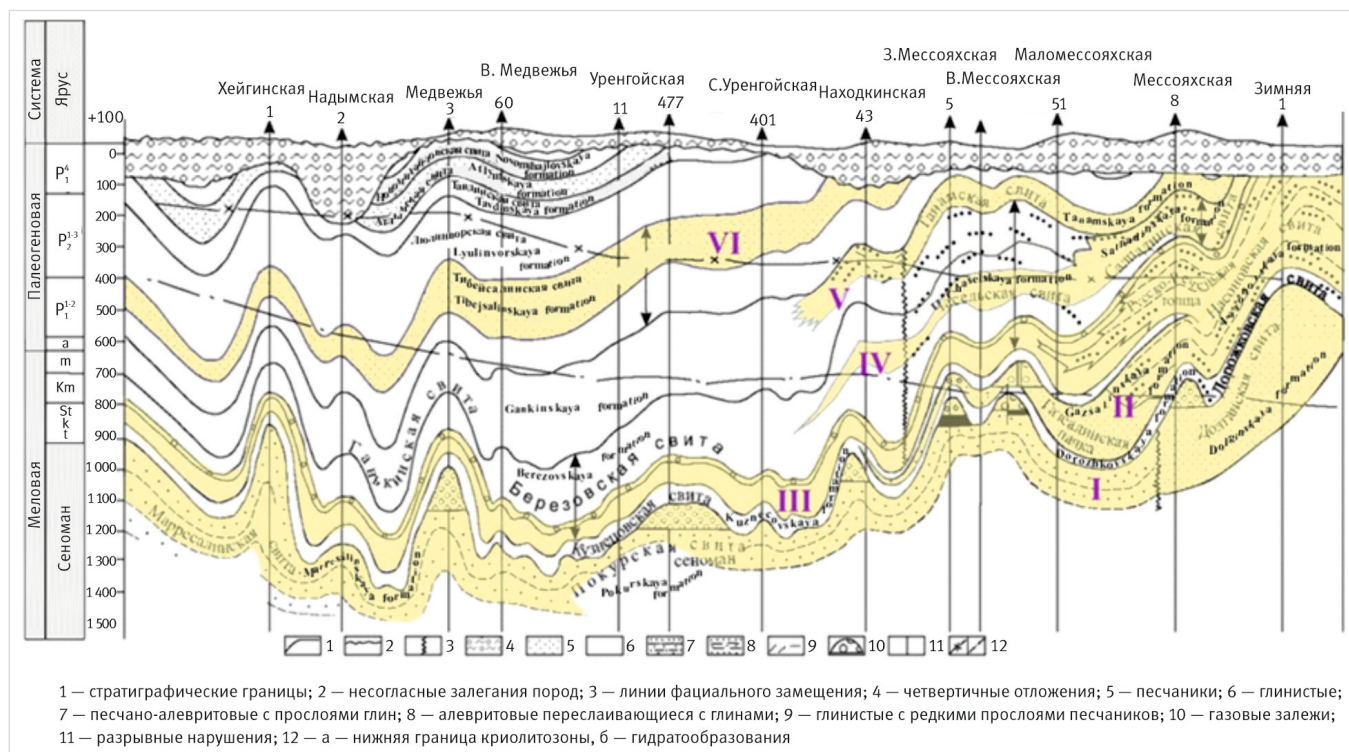


Рис. 1. Геологический разрез надсеноманских резервуаров Западной Сибири:

I — Уватский горизонт, сеноман, долганская, покурская свиты. Покрышка — кузнецовская, дорожковская свиты. Горизонт является основным объектом разработки газовых залежей; II — Кузнецовский горизонт, турон-ранний коньяк, ипатовская свита, газсалинская пачка. Покрышка — мярояхинская пачка. В состав нижнего кузнецовского горизонта туронского возраста входит единый песчано-алевролитовый резервуар газсалинской пачки и ипатовской свиты. На государственном балансе числятся залежи по 14 месторождениям; III — Нижнеберезовский горизонт, коньяк-сантон, нижнеберезовская подсвита. Покрышка — нижняя часть верхнеберезовской подсвиты. На государственном балансе числятся запасы на Медвежьем и Харампурском месторождениях; IV — Верхнеберезовский горизонт, кампан, верхнеберезовская подсвита. Покрышка — верхняя часть верхнеберезовской подсвиты. Газовая залежь в пласте ВВ1 открыта на Харампурском месторождении; V — Ганькинский горизонт, маастрихт, танамская свита. Покрышка — талицкая свита, нижнетибейсалинская подсвита. В ганькинской свите известны газопоявления на Ямсовейской, Верхнереченской, Губкинской и др. площадях. Продуктивные интервалы идентифицируются по электрокаротажу и подтверждены опробованием на Губкинском месторождении. VI — Талицкий горизонт, палеоген, тибейсалинская свита. Покрышка — глины в кровле тибейсалинской подсвиты. Известны многочисленные газопоявления, а также газовый фонтан на Харвутинском месторождении

Fig. 1. Geological section of the supra-Cenomanian reservoirs of Western Siberia:

I — Uvat horizon, Cenomanian, Dolgan and Pokur formations. The horizon is the main object of gas deposits development; II — Kuznetsovsky horizon, Turonian-Early Cognac, Ipatovskaya Formation, Gassalinskaya Formation. The cover is the Myaroyakhinskaya pack. The lower Kuznetsovsky horizon of Turonian age includes a single sandy-siltstone reservoir of the Gassalinskaya pack and the Ipatovskaya Formation. There are 14 deposits on the state balance sheet; III — Nizhneberezovsky horizon, konyak-santon, Nizhneberezovsky sub-formation. The cover is the lower part of the Upper Berezov sub-formation. The state balance sheet lists reserves at the Medvezhiy and Kharampurskoye fields; IV — Verkhneberezovsky horizon, Campanian, Upper Berezovsky Subformation. The cap is the upper part of the Upper Berezov sub-formation. A gas deposit in the VB1 reservoir was discovered at the Kharampurskoye field; V — Gankinsky horizon, Maastrichtian, Tanamskaya Formation. The cover is the Talitsky Formation, Lower Tibeisalina Subformation. Gas occurrences in the Gankinsky Formation are known at the Yamsoveyskaya, Verkhnerchenskaya, Gubkinskaya, and other areas. The productive intervals are identified by electric logging and confirmed by sampling at the Gubkinskoe field; VI — Talitsky horizon, Paleogene, Tibeisaliniya Subformation. Numerous gas occurrences are known, as well as a gas fountain at the Kharvutinskoye field

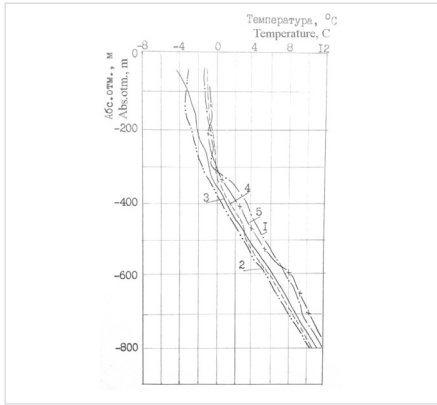


Рис. 2. Термометрия пород Мессояхского месторождения [42]: 1 – скв. 3 (430 сут.), 2 – скв. 109 (56 сут.), 3 – скв. 124 (90 сут.), 4 – скв. 136 (150 сут.), 5 – скв. 135 (320 сут.)
 Fig. 2. Thermometry of rocks of the Messoyahskaya field [42]: 1 – well 3 (430 days), 2 – well 109 (56 days), 3 – well 124 (90 days), 4 – well 136 (150 days), 5 – well 135 (320 days)

применения является эффект повышения сопротивления породы при замещении поровой воды диэлектриком – льдом.

На границе «мерзлые-талые породы» в песчаных породах происходит резкий скачок сопротивлений. Для глинистых пород сопротивление не имеет резко выраженного скачка в связи с постепенным уменьшением количества незамерзшей воды при уменьшении температуры. Также для проницаемых талых пород характерен повышающий тип проникновения на кривых БКЗ, в отличие от мерзлых (рис. 3б).

Также используется кавернометрия – для льдосодержащих пород характерны каверны.

При построении карт подошвы криолитозоны учитывается, что высокая минерализация пластовых вод и высокая глинистость разреза приводят к тому, что подошва криолитозоны может проходить существенно ниже подошвы ММП. Поэтому для каждого района и площади проведено изучение возможности корректного перехода от подошвы ММП к подошве криолитозоны.

Положение подошвы криолитозоны и значение градиента температуры в подмерзлотных отложениях определяется также и по результатам интерпретации данных температурных измерений при опробовании отдельных интервалов в скважинах (рис. 3а).

Как видно из рисунков, температурный градиент непосредственно под ММП отличается от среднего градиента (рис. 4а.)

Это обусловлено различной теплопроводностью интервалов разреза. Непосредственно под ММП располагаются глины кузнецовского и березовского горизонтов (рис. 4б), которые обладают меньшей теплопроводностью, чем пески покурского горизонта. Для восточных регионов такого излома не наблюдается ввиду опесчанивания надсеноманских отложений.

В данной работе построение региональных карт подошвы криолитозоны выполнено с привлечением данных по 735 скважинам, при построении также использованы данные Каталога ММП [36] и Геотермического Атласа [44] (рис. 5).

Карта подошвы криолитозоны построена исключительно с учетом комплекса имеющихся данных по скважинам. Наземные геофизические методы, а также другие подходы, связанные с модельными представлениями о формировании – расформировании многолетнемерзлых пород, при построении не использованы.

В целом построенная карта согласуется с опубликованными ранее картами [33, 45] и, по мнению авторов, является надежной актуализированной основой для определения интервала стабильности газогидратов Западной Сибири.

Итоговая полученная авторами карта температурного градиента по территории Западно-Сибирского бассейна представлена на рисунке 6. На представленной карте по изолинии 3,5°/100 м локализуются области пониженного геотемпературного градиента – северо-восточная область восточной части Гыданского полуострова, Енисей-Хатангского регионального прогиба и Большехетской впадины, а также область Обь-Надымского междуречья. К области повышенных геотемпературных градиентов относятся запад региона и Надым-Пур-Тазовское междуречье.

Построенные карты геотемпературного градиента и глубины подошвы криолитозоны использованы для расчета температур по кровлям верхнемеловых сейсмостратиграфических комплексов (ССК) – уватского, кузнецовского, нижнеберезовского, верхнеберезовского, ганькинского (рис. 7)

Расчеты карт температур выполнены с использованием автоматизированных операций с картами (гридами) по формуле (1):

$$T = \Gamma * (H_{ao} - H_{oмп}), \quad (1)$$

где Γ – грид температурного градиента, H_{ao} – грид структурной карты (абсолютных глубин) сейсмостратиграфического комплекса, $H_{oмп}$ – грид подошвы (абсолютных глубин) криолитозоны.

Характеристики пластовых условий и свойств пластовых флюидов

Пластовое давление обычно связано с глубиной прямой зависимостью. Однако для надсеноманских отложений характерно превышение давлений над гидростатическими с коэффициентами аномальности (Ка) в диапазоне 1–1,2 (табл. 1).

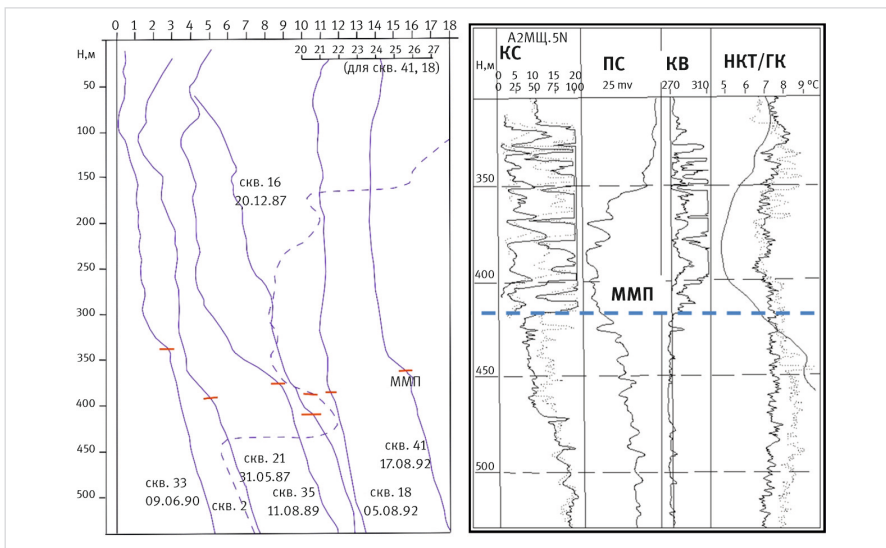


Рис. 3. Определение положения нижней границы ММП по ГИС: а – по термограммам ОЦК скважин Восточно- и Западно-Мессояхских месторождений; б – по КС, КВ, ОЦК скважины Яро-Яхинской 11
 Fig. 3. Determination of the position of the lower boundary of the permafrost by GIS: а – from thermograms of the OCC wells of the East and West Messoyahskaya fields; б – from CW, CW, and CCC of the Yaro-Yakhinskaya 11 well

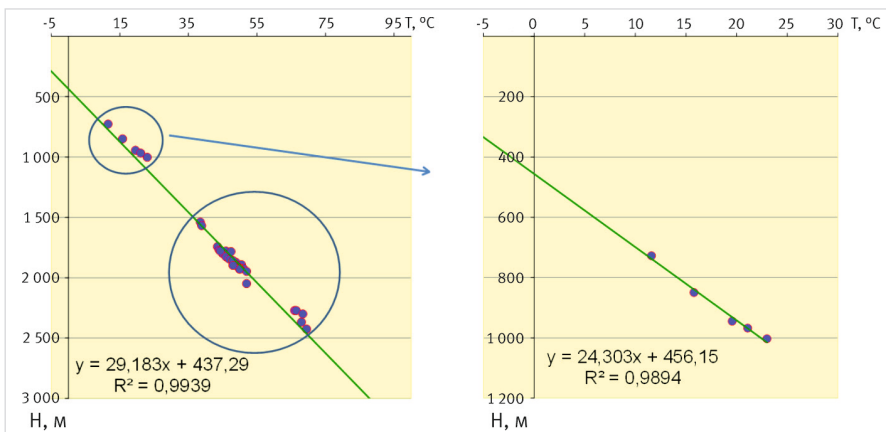


Рис. 4. Данные измерения температур при опробовании скважин Минховского месторождения: а – средний градиент по разрезу; б – термоградиент верхней части разреза
 Fig. 4. Temperature measurement data during well testing at the Minkhovskoye field: а – the average temperature gradient, б – the thermogradient of the upper part of the section

На основе имеющихся данных при построении региональных карт для анализируемых газовых резервуаров приняты следующие коэффициенты аномальности: Сенюманский резервуар, пласт ПК1, $K_a = 1$; Кузнецовский резервуар, $K_a = 1,2$; Нижнеберезовский резервуар, $K_a = 1,15$; Верхнеберезовский резервуар, $K_a = 1,15$; Ганькинский резервуар, $K_a = 1$.

Минерализация пластовых вод

Зависимость условий гидратообразования от минерализации пластовой воды для системы «вода-метан — хлорид натрия» описывается формулой (2) [46].

$$\frac{\ln P}{P_0} = \frac{8160,43}{T} + 33,1103 - 128,65x + 40,28x^2 - 138,49 \ln(1-x), \quad (2)$$

где x — молярная доля $NaCl$ в растворе; P — давление, Мпа ($P_0 = 0,101325$ Мпа); T — температура, K

Основной вывод заключается в том, что каждые 10 г/л солей снижают равновесную температуру гидратообразования на 0,6 °C и для условий Западной Сибири от давления/глубины залегания пород не зависит.

В рамках данной работы были собраны данные проб воды верхней части разреза, проведен анализ качества проб и привязка к изучаемым резервуарам.

Относительно хорошо изучены минерализация пластовых вод (М) для сенюмана (пласт ПК1). Диапазон изменения от 10 до 25 г/л, для региональных построений принята минерализация 15 г/л (рис. 8).

Для кузнецовского горизонта можно констатировать, что минерализация пластовых вод укладывается в единую с сенюманскими

отложениями зависимость увеличения минерализации пластовых вод с глубиной и от окраин к центру бассейна.

Для нижнеберезовских отложений известна единственная проба пластовой воды на Минховской площади с минерализацией 7,8 г/л.

Для верхнеберезовских отложений известно 5 проб (табл. 2). Для региональных построений принято значение 8 г/л.

Для ганькинского резервуара авторам известны только одна скважина с тремя испытаниями в скважине Тазовского месторождения, где были получены притоки пластовой воды с низкой минерализацией (2,2–2,7 г/л), а также одна проба на Соболиной площади с минерализацией 5,6 г/л.

В итоге для региональных построений уватского резервуара принята минерализация пластовых вод 15 г/л, для кузнецовского резервуара принята минерализация 10 г/л,

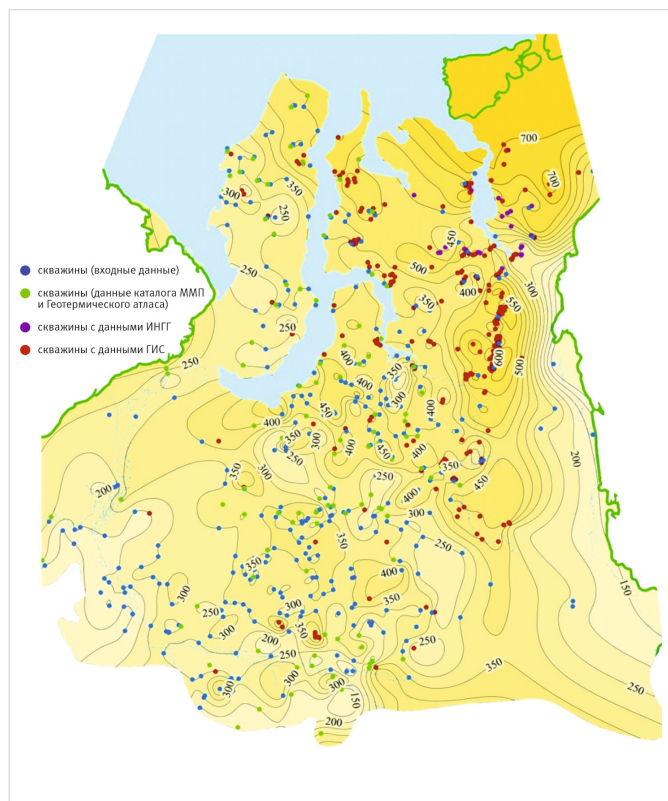


Рис. 5. Карта глубин подошвы криолитозоны Западной Сибири
Fig. 5. Depth map of the cryolithozone footwall of Western Siberia

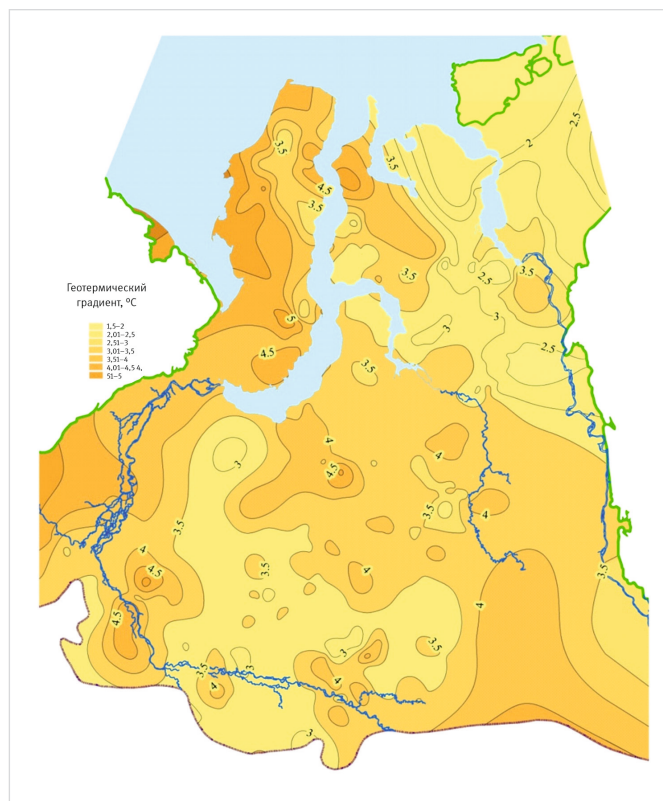


Рис. 6. Карта температурного градиента подмерзлых толщ Западной Сибири
Fig. 6. Map of temperature gradient of subfreeze strata in Western Siberia

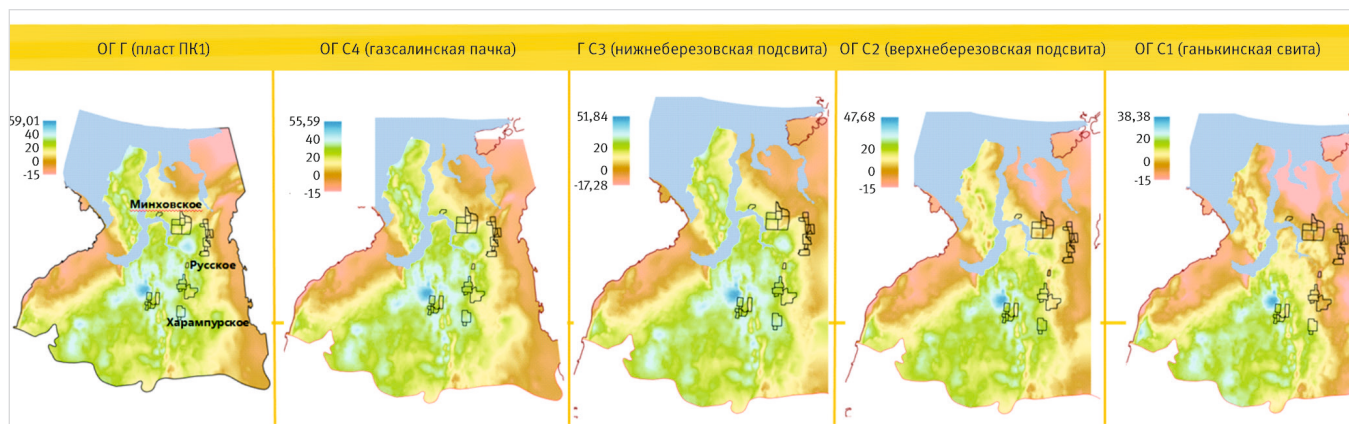


Рис. 7. Карты температур в кровлях верхнемеловых стратиграфических комплексов
Fig. 7. Temperature maps in the roofs of upper cretaceous stratigraphic complexes

Табл. 1. Данные по пластовым давлениям и коэффициентам аномальности

Tab. 1. Data on reservoir pressures and anomaly coefficients

Харампурское месторождение							
Скважина	Пласт	ВДП, м	Удлинение, м	По вертикали, м	Рпл на ВДП, бара	Кэффр. аном	
281	НБ1	947,0	1,0	946,0	110,4	1,184	
293		982,0	46,0	936,0	107,7	1,168	
293		982,0	46,0	936,0	108,3	1,174	
362		982,0	0,0	982,0	109,2	1,128	
362		982,0	0,0	982,0	111,8	1,155	
497		1 041	96,0	945	108,1	1,161	
640		1 020,0	76,0	944,0	105,1	1,129	
825		1 011,0	57,0	954,0	111,2	1,183	
825		1 011,0	57,0	954,0	109,8	1,168	
877		990,8	30,8	960,0	110,4	1,167	
877		990,8	30,8	960,0	110,4	1,167	
Харампурское месторождение							
129		ВБ1	900,0	41,0	859,0	98,12	1,164
129			900,0	41,0	859,0	97,13	1,152
294			888,0	46,0	842,0	96,00	1,162
294	888,0		46,0	842,0	95,70	1,158	
497	938,0		37,0	901,0	97,58	1,103	
Минховское месторождение							
71	НБ1	8		850–863	9,20	1,095	
81		3		945–955	9,27	0,995	
71	ВБ1	9		728–737,4	7,40	1,030	
81	ПК1	2		968–995	9,73	1,011	
Ново-Часельское месторождение							
16П	НБ3	8		848–856	9,93	1,187	
18П		7		853–865	9,95	1,175	
8Р	Т1			848,1–863,1	9,72	1,088	
30Р		1		918–934	9,11	1,003	
18П		6		893–928	9,97	1,108	
220		7		910–934	9,30	1,028	
223		13		896–916	9,46	1,064	
224		7		941–946	9,46	1,023	
224		8		911–935	9,41	1,033	

Табл. 2. Минерализация проб воды верхнеберезовского резервуара

Tab. 2. Mineralization of water samples from the Verkhneberезovskiy reservoir

Месторождение	Минерализация воды, г/л
Харампурское	10
Минховское	9,5
Черничное	4,2
Юрхаровское	10,1
Тазовское	5,0

для нижнеберезовского и верхнеберезовского — 8 г/л, для ганькинского — 5 г/л.

Состав газа

Природный газ надсеноманских отложений на 96–98 % состоит из метана. Плотность газа по месторождениям представлена в таблице 3.

На условия гидратообразования влияют наличие азота и более тяжелых гомологов углеводородов. Для условий Западной Сибири разработаны палетки по определению равновесных условий гидратообразования в зависимости от плотности природного газа по воздуху P_v [48].

Плотность газа по воздуху уватского и кузнецовского резервуаров принята по опубликованным данным [3]. Для нижнеберезовского и верхнеберезовского резервуаров привлечены данные ПАО «НК «Роснефть».

Для региональных построений приняты следующие значения плотности природного газа по воздуху P_v :

- для сеномана и газсалинской пачки — $P_v = 0,57$;
- для березовской и ганькинской свит — $P_v = 0,565$.

Методика расчета равновесной температуры гидратообразования

Для расчета подошвы стабильности газогидратов использована усовершенствованная формула, предложенная Г.В. Пономаревым [49], полученная на основе обработки экспериментальных данных по условиям гидратообразования природных газов различного состава.

Уравнение имеет вид: $Tr = 18,47 \times LgPr - B$, где Tr — равновесная температура гидратообразования, °С; Pr — равновесное давление гидратообразования, кгс/см²; B связано

Табл. 3. Плотность газа березовской свиты

Tab. 3. The gas density of the Berezovskaya formation

Месторождение	Скважина (пласт)	Плотность газа по воздуху P_v
Ван-Еганское	9061 (НБ1)	0,570
Губкинское	49Р (НБ3)	0,573
Минховское	1332 (НБ1)	0,564
Ново-Часельское	71 (НБ1)	0,566
Харампурское	281 (НБ)	0,565
	129 (НБ1)	0,564
	294 (ВБ1)	0,563
	362 (НБ1)	0,563
	877 (НБ1)	0,567

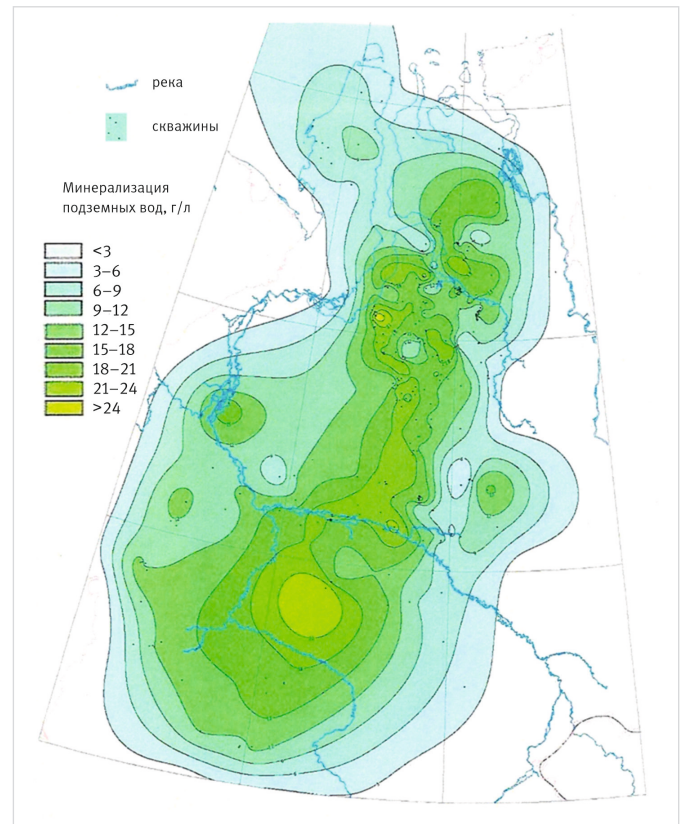


Рис. 8. Карта минерализации пластовых вод сеноманских отложений [47]

Fig. 8. Map of formation water mineralization of Cenomanian deposits [47]

с глубинной формулой $Pp = Ka \times H$; B — коэффициент, зависящий от плотности газа по воздуху, определен экспериментально.

В наших расчетах был применен вариант расчетов, где использован натуральный логарифм Ln .

Формула приобрела вид:

$T_p = 8,0214 \times \ln(Ka \times H) - B + 18,47 - 0,06 \times M$
или, преобразовав

$T_p = 8,0214 \times \ln(H) - B + 18,47 + \ln(Ka) - 0,06 \times M$.
Таким образом, формула

$T_p = 8,0214 \times \ln(H) - B1$, где $B1 = 42,72$
для условий

$Ka = 1,0$; $Pв = 0,56$; $M = 0 \text{ г/л}$

Для прочих условий в коэффициент $B1$ вводятся поправки.

Значения поправок для расчетов равновесной кривой гидратообразования приведены в таблице 4.

Основная ценность данной методики, по мнению авторов, заключается в учете всех необходимых параметров в виде единой поправки в уравнение, определяемой простым суммированием, что позволяет численно решать задачу построения карты подошвы зоны стабильности газогидратов для многообразных входных данных. В этом случае расчет подошвы гидратообразования для перспективных резервуаров сводится к определению индивидуальной поправки для каждого резервуара. Итоговые поправки для перспективных резервуаров приведены в таблице 5.

Построение карт нижней границы зоны стабильности гидратов

Расчет основан на определении глубины отложений, на которой равновесная температура гидрата T_p совпадает с температурой,

обусловленной геотермическим режимом недр (T) (рис. 9):

$$\Delta T = T - T_p = 0$$

Для описания связи равновесной температуры с глубиной (H) использована отмеченная выше зависимость вида:

$$T_p = a \ln(H) + b,$$

где a и b — некоторые константы.

Геотемпературные условия описываются линейной зависимостью температуры отложений от глубины (с геотермическим градиентом Γ), с учетом равенства нулю на границе (глубине подошвы) многолетнемерзлых пород ($H_{ММП}$):

$$T = \Gamma(H - H_{ММП}).$$

Таким образом задача сводится к решению уравнения

$$\Delta T(H) = \Gamma(H - H_{ММП}) - a \ln(H) - b = 0 \quad (3)$$

Рассматриваемая функция является выпуклой, имеет два корня, из которых искомым решением является наибольший.

Поскольку уравнение (3) не имеет аналитического решения, применен численный метод бисекции (метод деления отрезка пополам).

При расчетах начальное минимальное значение H_{min} определяется как значение глубины, при котором рассматриваемая функция $\Delta T(H)$ достигает минимального значения:

$$\Delta T'(H) = \Gamma - \frac{a}{H} = 0.$$

$$H_{min} = a/\Gamma$$

Такой подход позволяет безитерационно определить начальное значение H_{min} , которое гарантированно меньше искомого решения (максимального корня), но больше минимального.

Начальное максимальное значение определяется итерационным двукратным увеличением значения H_{min}^i .

Здесь i — шаг итерации. Итерации завершаются по выполнению условия

$$\Delta T(H_{max}^i) > 0.$$

Затем осуществляется стандартная итерационная процедура поиска решения уравнения (3) методом деления отрезка пополам, которая завершается при достижении погрешности в определении нижней границы зоны стабильности гидратов менее одного метра.

Алгоритм расчета реализован с помощью макроса в Excel, в котором были выполнены расчеты по всем рассматриваемым резервуарам и объектам.

Результаты расчетов подошвы зоны стабильности газогидратов (ЗСГ) для условий каждого резервуара приведены на рисунке 10. Пересечение структурных карт по кровлям перспективных резервуаров и карт подошвы ЗСГ позволило отделить на структурных картах территории с возможным наличием газогидратов от чисто газовых зон (рис. 11).

Для всех резервуаров характерно наличие чисто газового насыщения в центральной части Западной Сибири, для более высоко расположенных резервуаров площадь этой зоны уменьшается. Полученные карты являются основой для оценки ресурсов газогидратов Западной Сибири.

Итоги

В результате проведенных исследований выполнено:

Табл. 4. Поправки для расчета равновесной температуры гидратообразования
Tab. 4. Corrections for calculating the equilibrium temperature of hydrate formation

Поправка к B1 от пластового давления Ka		Поправка к B1 от минерализации M, г/л		Поправка к B1 от плотности газа по воздуху Pв	
		0	0		
1	0	5	0,3	0,56	0,00
1,05	-0,365	10	0,6	0,562	-0,52
1,1	-0,73	15	0,9	0,565	-1,26
1,15	-1,095	20	1,2	0,57	-2,40
1,2	-1,46	25	1,5	0,575	-3,41

Табл. 5 Поправки для расчета равновесной температуры гидратообразования для перспективных газоносных резервуаров
Tab. 5. Corrections for calculating the equilibrium temperature of hydrate formation for prospective gas-bearing reservoirs

Сеноман (ПК1)					
Параметр	Ka = 1	P = 0,57	M = 15	поправка	Итог B1
Поправка	0	2,4	-0,9	1,5	41,22
Турон (Г, газсалинская пачка)					
Параметр	Ka = 1,2	P = 0,57	M = 10	поправка	Итог B1
Поправка	1,46	2,4	-0,6	3,26	39,46
Березовская свита (НБ-ВБ)					
Параметр	Ka = 1,15	P = 0,565	M = 8	поправка	Итог B1
Поправка	1,12	1,26	-0,5	1,88	40,84
Ганькинская свита					
Параметр	Ka=1	P=0,565	M=6	поправка	Итог B1
Поправка	0	1,26	-0,4	0,86	41,86

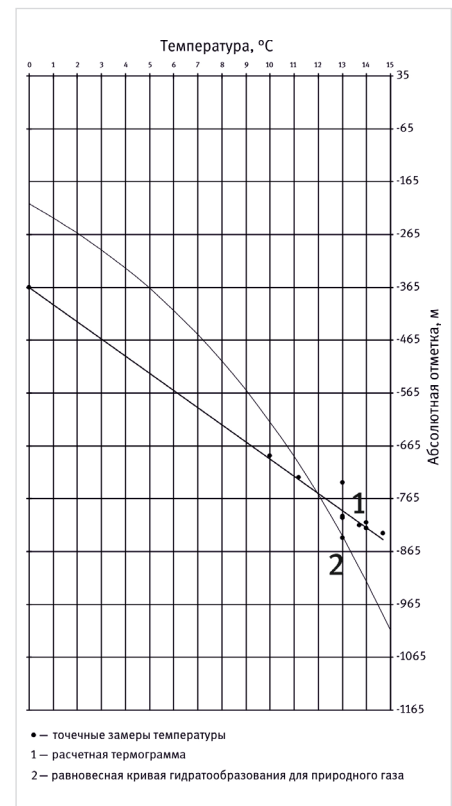


Рис. 9. Графоаналитический метод определения подошвы зоны стабильности газогидратов (ЗСГ)
Fig. 9. Graphoanalytical method for determining the soles of the stability zone of gas hydrates

- построены региональные карты мощности криолитозоны, карты подмерзлотного геотермического градиента;
- построены индивидуальные карты подошвы зон стабильности газогидратов для перспективных газонасыщенных резервуаров Западной Сибири;
- построены региональные карты температур в кровле верхнемеловых сейсмостратиграфических комплексов Западной Сибири;
- ооконтурены зоны стабильности газогидратов для уватского, кузнецовского, нижнеберезовского, верхнеберезовского, ганькинского резервуаров.

Выводы

Полученные региональные карты зон развития газогидратов показывают закономерное увеличение площади возможного существования газогидратов вверх по разрезу. Если для уватского горизонта (ОГ Г) в районах с перспективами газонасыщенности находятся только восточная часть Гыданского полуострова, Енисей-Хатангский региональный прогиб и Тагульское месторождение, то для ганькинской свиты уже исключением являются структуры с прогнозируемым безгидратным насыщением.

Литература

1. Шиц Е.Ю., Корякина В.В., Варфоломеев М.А., Замрий А.В. Газовые гидраты: краткий обзор современных российских исследований в 2015–2020 гг. // Газовая промышленность. 2021. № 2. С. 46–56.
2. Васильев В.Г., Макогон Ю.Ф., Тренин Ф.А., Трофимук А.А., Черский Н.В. Свойство природных газов, находящихся в земной коре в твердом состоянии, образовывать газогидратные залежи // Открытия, изобретения и товарные знаки. 1970. № 10. С. 3–5
3. Макогон Ю.Ф. Газовые гидраты, предупреждение их образования и использование. М.: Недра. 1985. 231 с.
4. Макогон Ю.Ф. Природные газовые гидраты: распространение, модели образования, ресурсы // Российский химический журнал. 2003. Т. 47. № 3. С. 70–79.
5. Макогон Ю.Ф. Газогидраты. История изучения и перспективы освоения // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2010. № 2. С. 5–21.
6. Трофимук А.А., Макогон Ю.Ф., Толкачев М.В. О роли газогидратов в процессах аккумуляции углеводородов и формировании их залежей // Геология и геофизика. 1983. № 6. С. 3–15.
7. Никитин С.П., Царев В.П., Черский Н.В. Рекомендации по учету влияния газогидратного процесса на оценку перспектив газонасыщенности Западной Сибири. Якутск: Якут. фил. СО АН СССР, 1982. 30 с.
8. Царев В.П. Особенности формирования, методы поиска и разработки скоплений углеводородов в условиях вечной мерзлоты. Якутск: Якут. фил. СО АН СССР, 1976. 216 с.
9. Черский Н.В., Царев В.П., Никитин С.П. Исследование и прогнозирование условий накопления ресурсов газа в газогидратных залежах. Якутск: Якутский филиал СО АН СССР, 1983. 156 с.
10. Черский Н.В., Никитин С.П. Изучение газонасыщенности зон гидратообразования СССР. Якутск: Якутский филиал СО АН СССР, 1987. 176 с.
11. Баркан Е.С., Воронов А.Н. Оценка ресурсов газа в зонах возможного гидратообразования // Советская геология. 1983. № 8. С. 26–29.
12. Гинсбург Г.Д., Соловьев В.А. Геологические модели газогидратообразования // Литология

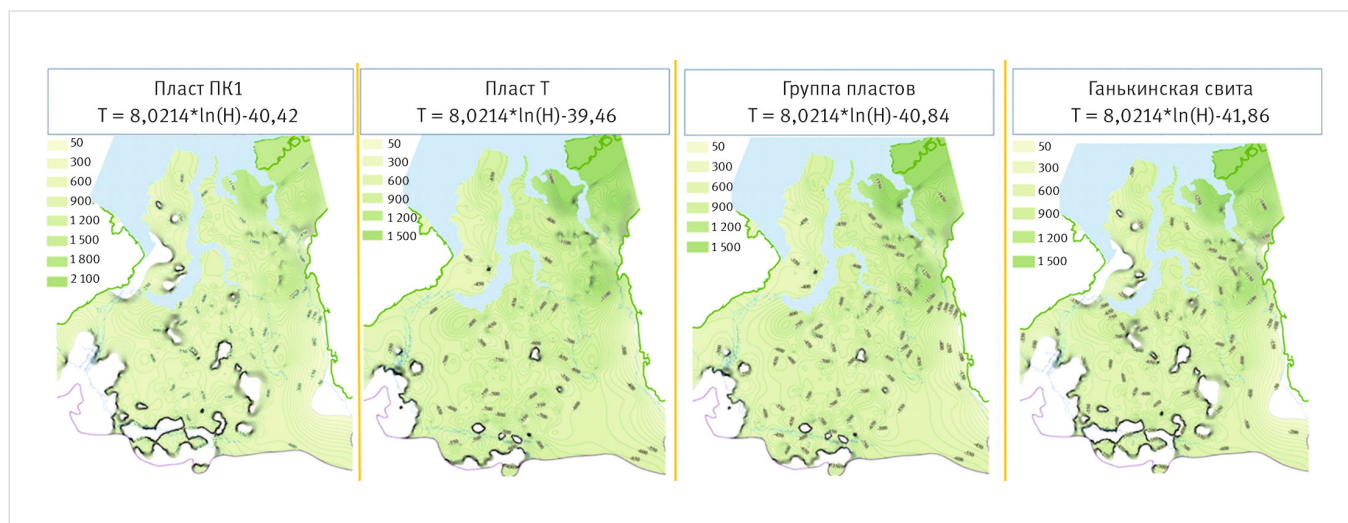


Рис. 10. Карты подошвы стабильности газогидратов
Fig. 10. Maps of the soles of the stability of gas hydrates

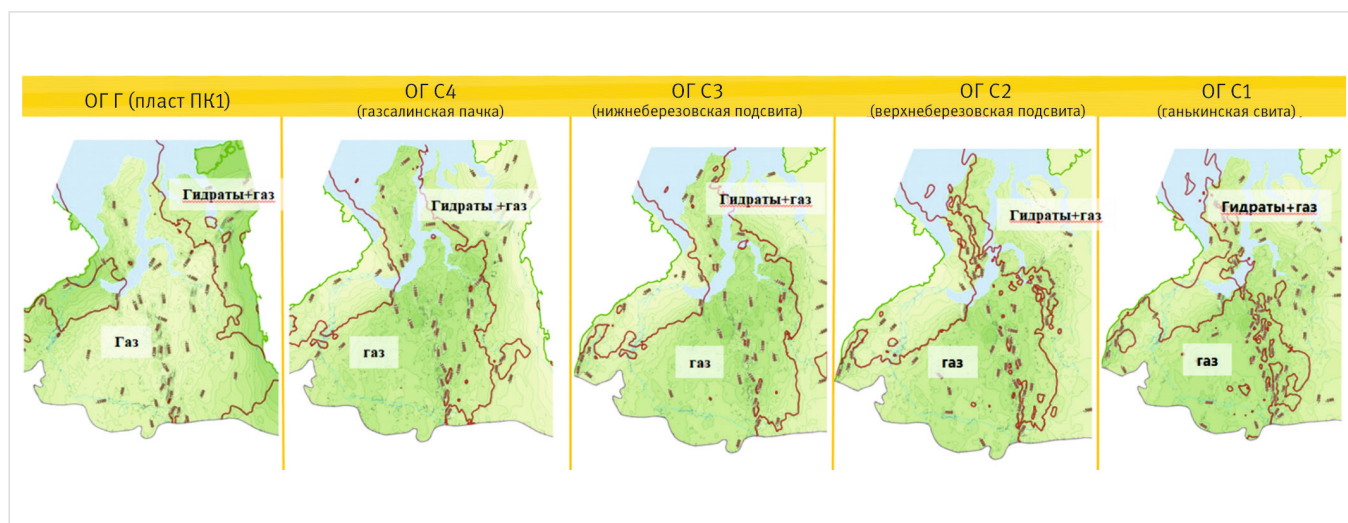


Рис. 11. Региональные структурные карты с контуром зоны стабильности газогидратов
Fig. 11. Regional structural maps with a contour of the gas hydrate stability zone

- и полезные ископаемые. 1990. № 2. С. 76–87.
13. Баркан Е.С., Безруков В.М., Гинзбург Г.Д. и др. Нетрадиционные источники углеводородного сырья. М.: Недра, 1989. 223 с.
 14. Якуцени В.П. Газогидраты — нетрадиционное газовое сырье, их образование, свойства, распространение и геологические ресурсы // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2015. Т. 10. № 4. С. 1–20.
 15. Агалаков С.Е., Ненахов В.А. Промышленно-геофизические характеристики геологического разреза криолитогидратозоны Западной Сибири // Ресурсы нетрадиционного газового сырья и проблемы его освоения. Ленинград: ВНИГРИ, 1990. С. 228–236.
 16. Агалаков С.Е. Бочкарев В.С., Царев В.П. Особенности строения криолитозоны полуострова Ямал // Биоразнообразия Западной Сибири — результаты исследований. Тюмень: ИПОС, 1996. С. 103–118.
 17. Агалаков С.Е., Курчиков А.Р., Бабуринов А.Н. Геолого-геофизические предпосылки существования газогидратов в турон-коньякских отложениях Восточно-Мессояхского месторождения // Газовые гидраты в экосистеме земли – 2003. Новосибирск: 2003. С. 15.
 18. Агалаков С.Е. Ресурсы газа в зонах стабильности газогидратов на севере Западной Сибири // Санкт-Петербург – 2010. К новым открытиям через интеграцию геонаук. 2010.
 19. Агалаков С.Е., Новоселова М.Ю. Газоносность надсеноманских отложений Западной Сибири. Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2019. № 4, С. 10–23.
 20. Курчиков А.Р. Оценка возможности поиска залежей гидратов природного газа по геотермическим данным. Тюмень: Труды ЗапСибНИГНИ, 1984. вып. 191. С. 65–76.
 21. Ненахов В.А. Исследование особенностей разработки газогидратных месторождений с целью повышения газоотдачи пласта. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. М.: 1982. 20 с.
 22. Басниев К.С., Сухоносенко А.Л. Перспективы освоения ресурсов газогидратных месторождений // Газовая промышленность. 2010. № 1. С. 22–23.
 23. Якушев В.С., Гафаров Н.А., Карнаухов С.М., Рыбальченко В.В., Огородников И.В. Газовые гидраты в Арктике и мировом океане: особенности залегания и перспективы освоения. М.: Недра, 2014. 251 с.
 24. Истомин В.А. Якушев В.С. Газовые гидраты в природных условиях. М.: Недра, 1992. 236 с.
 25. Леонов С.А. Перспективы гидратоносности надсеноманских отложений севера Западной Сибири. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. М.: 2010. 24 с.
 26. Перлова Е.В., Махонина Н.А. Виды геологических ресурсов газа в газогидратах и определение их извлекаемой части. Нефть, газ Арктики. М.: Интерконтакт Наука, 2007. С. 248–256.
 27. Перлова Е.В., Леонов С.А., Хабибуллин Д.Я. Приоритетные направления освоения газогидратных залежей России // Научно-технический сборник Вести газовой науки, 2017. № 3. С. 224–228.
 28. Перлова Е.В. Подготовка ресурсов гидратного газа для развития минерально-сырьевой базы газодобычи ПАО «Газпром» // Научно-технический сборник Вести газовой науки. 2018. № 3. С. 256–263.
 29. Сухоносенко А.Л. Термогидродинамическое моделирование процессов разработки газогидратных месторождений. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. М.: 2013. 28 с.
 30. Якушев В.С., Истомин В.А., Перлова Е.В. Ресурсы и перспективы освоения нетрадиционных источников газа в России. М.: ВНИИГАЗ, 2002. 87 с.
 31. Гудзенко В.Т., Вареничев А.А., Громова М.П. Газогидраты. Информационно-аналитический обзор // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2016. № 5. С. 39–68.
 32. Балобаев В.Т., Левченко А.И. Глубокое промерзание и динамика теплового поля верхней части земной коры Западной Сибири // Нефтегеологические интерпретации теплового режима недр Западной Сибири. Тюмень: 1988. С. 31–41.
 33. Баулин В.В. Многолетнемерзлые породы нефтегазоносных районов СССР. М.: Недра, 1985. 176 с.
 34. Девяткин В.Н. Тепловой поток криолитозоны Сибири. Новосибирск: Наука, 1993. 165 с.
 35. Дучков А.Д., Курчиков А.Р., Лысак С.В., Балобаев В.Т. и др. Тепловое поле недр Сибири. Новосибирск: Наука, 1987. 196 с.
 36. Ан В.Н., Девяткин В.Н., Курчиков А.Р. Каталог мерзлотно-геотермической информации Западно-Сибирского региона. 2002.
 37. Курчиков А.Р., Агалаков С.Е. Мощность многолетнемерзлых пород (ММП) и геотермический режим верхней части разреза Севера Западной Сибири // Горные ведомости. 2004. № 4. С. 21–37.
 38. Шарбатян А.А. К истории развития многолетнемерзлых горных пород // Очерки региональной и исторической криологии. М.: АН СССР, 1962. С. 127–142.
 39. Володько Б.В. О возможности определения по данным метода самопроизвольной поляризации мощности мерзлых терригенных толщ. Инженерное мерзлотоведение, Новосибирск: Наука, 1979. 208 с.
 40. Геокриология СССР. Западная Сибирь. М.: Недра, 1989. 454 с.
 41. Ирбэ Н.А. Особенности интерпретации промыслово-геофизических материалов в низкотемпературном разрезе Западной Сибири на этапе поисково-разведочных работ. М.: Недра, 1974. Вып. 65. С. 98–120.
 42. Острый Г.Б. Вопросы геологии и бурения и добычи в зоне мерзлых пород на нефтяных и газовых месторождениях Западной Сибири. Тюмень.: Гипротьюменьнефтегаз. 1969. Вып. 18. 179 с.
 42. Безносиков А.Ф. Газогидратные залежи и исследование некоторых особенностей их разработки: (на прим. Мессояхского месторождения). Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. Тюмень: 1978. 17 с.
 44. Ильин А.В. Газогидраты севера Тюменской области как новый объект изучения геофизическими методами. Диссертация. Екатеринбург: 2012. 220 с.
 45. Геотермический атлас Сибири и Дальнего Востока. ИНГГ СО РАН, 2012.
 46. Геокриология СССР. Западная Сибирь. М.: Недра, 1989. 454 с.
 47. Малюков В.П., Воробьев К.А. Инновационные технологии разработки месторождений газовых гидратов. М.: РУДН, 2021, 289 с.
 48. Ставицкий Б.П., Курчиков А.Р., Конторович А.Э., Плавник А.Г. Гидрохимическая зональность юрских и меловых отложений Западно-Сибирского бассейна. Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 7. С. 826–832.
 49. Пономарев Г.В. Условия образования гидратов природных и попутных газов. Куйбышев: НИИ НП, 1960. Вып. 2. С. 49–55.
 50. Дегтярев Б.В., Бухгалтер Э.Б. Борьба с гидратами при эксплуатации газовых скважин в северных районах. М.: Недра, 1976. 200 с.

ENGLISH

Results

The study included the following activities:

- regional thickness maps of the permafrost zone, maps of the subpermafrost geothermal gradient were built;
- individual maps of the bottom of the gas hydrate stability zone of promising gas-saturated reservoirs in West Siberia were built;
- regional temperature maps of the top of Upper Cretaceous seismostratigraphic complexes of West Siberia were built;
- the gas hydrate stability zones in the Uvat, Kuznetsovsky, Nizhneberezovsky, Verkhneberezovsky, and Gankinsky reservoirs were outlined.

Conclusions

The resulting regional maps of gas hydrate zones show a natural increase in the area of possible upward existence of gas hydrates. While for the Uvat Horizon (G Reflector) only the eastern part of the Gydan Peninsula, the Yenisei-Khatanga Regional Trough, and the Tagul field host the gas potential areas, for the Gankinsky Formation the structures with predicted hydrate-free saturation are an exception.

References

- Shitz E.Yu., Koryakina V.V., Varfolomeev M.A., Zamriy A.V. Gas hydrates: a brief review of modern russian studies in 2015–2020th. *Gas industry journal*, 2021, issue 2, P. 46–56. (In Russ).
- Vasiliev V.G., Makogon Yu.F., Trebin F.A., Trofimuk A.A., Chersky N.V. The property of natural gases in the Earth's crust in a solid state to form gas hydrate deposits. Discoveries, inventions and trademarks, 1970, issue 10, P. 3–5. (In Russ).
- Makogon Yu.F. Gas hydrates, prevention and use, Moscow: Nedra, 1985, 231 p. (In Russ).
- Makogon Yu.F. Natural gas hydrates: distribution, models of formation, resources, *Russian Chemical Journal*, 2003, Vol. 47, issue 3, P. 70–79. (In Russ).
- Makogon Yu.F. Gas Hydrates. History of study and prospects of development, *Geology and minerals of the World Ocean*, 2010, issue 2, P. 5–21. (In Russ).
- Trofimuk A.A., Makogon Yu.F., Tolkachev M.V. On the role of gas-hydrates in the process of hydrocarbon accumulation and formation of their fields. *Geology and geophysics*, 1983, issue 6, P. 3–15. (In Russ).
- Nikitin S.P., Tsarev V.P., Chersky N.V. Recommendations for considering the effect of the gas hydrate process on the gas content prospects in West Siberia. *Yakutsk: Yakut. Phil. Siberian branch of the USSR Academy of Sciences*, 1982, 30 p. (In Russ).
- Tsarev V.P. Features of formation, methods of search and development of hydrocarbon accumulations in permafrost conditions, *Yakutsk: Yakut. Phil. Siberian branch of the USSR Academy of Sciences*, 1976, 216 p. (In Russ).
- Chersky N.V., Tsarev V.P., Nikitin S.P. Research and forecasting the conditions for the accumulation of gas resources in gas hydrate deposits. *Yakutsk: Yakut. Phil. Siberian branch of the USSR Academy of Sciences*, 1983, 156 p. (In Russ).
- Chersky N.V., Nikitin S.P. Studying the gas content of hydrate formation zones of the USSR. *Yakutsk: Yakut. Phil. Siberian branch of the USSR Academy of Sciences*, 1987, 176 p. (In Russ).
- Barkan E.S., Voronov A.N. Assessment of gas resources in areas of possible hydrate formation. *Soviet Geology*, 1983, issue 8, P. 26–29. (In Russ).
- Ginsburg G.D., Solovyov V.A. Geological models of gas hydrate formation. *Lithology and minerals*, 1990, issue 2, P. 76–87. (In Russ).
- Barkan E.S., Bezrukov V.M., Ginzburg G.D., et. al. Unconventional sources of hydrocarbons. Moscow: Nedra, 1989, 223 p. (In Russ).
- Yakutseni V.P. Gas hydrates – unconventional gas sources, their formation, properties, distribution and geological resources. *Neftgazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika*, 2015, Vol. 10, issue 4, 24 p. (In Russ).
- Agalakov S.E., Nenakhov V.A. Field and geophysical characteristics of the geological section of the cryolithohydrate zone of West Siberia. Resources of unconventional gas raw materials and problems of its development. Leningrad: VNIGRI, P. 228–236. (In Russ).
- Agalakov S.E., Bochkarev V.S., Tsarev V.P. Structural features of the cryolithozone of the Yamal Peninsula. *Biodiversity of West Siberia – research results*. Tyumen: IPOS, 1996, P. 103–118. (In Russ).
- Agalakov S.E., Kurchikov A.R., Baburin A.N. Geological and geophysical prerequisites for the existence of gas hydrates in the Turonian-Conacian deposits of the Vostochno-Messoyakhskiye field. *Gas hydrates in the ecosystem of the earth – 2003*. Novosibirsk: 2003, P. 15. (In Russ).
- Agalakov S.E. Gas resources in the gas hydrate stability zones in the north of West Siberia. *St. Petersburg – Towards new discoveries through the integration of geosciences*, 2010. (In Russ).
- Agalakov S.E., Novoselova M.Yu. Gas content of the Upper Cenomanian deposits in Western Siberia. *Oil and Gas Studies*, 2019, issue 4, P. 10–23. (In Russ).
- Kurchikov A.R. Assessment of the possibility of searching for deposits of natural gas hydrates using geothermal data. Tyumen: *Trudy ZapSibNIGNI*, 1984, № 191, P. 65–76. (In Russ).
- Nenakhov V.A. Investigation of the development features of gas hydrate deposits to enhance gas recovery. Abstract. dis. for the job application scientist step. ph.d. tech. sciences. Moscow: 1982, 20 p. (In Russ).
- Basniev K.S., Sukhonosenko A.L. Prospects for the development of gas hydrate deposits. *Gas Industry*, 2010, issue 1, P. 22–23. (In Russ).
- Yakushev V.S., Gafarov N.A., Karnaukhov S.M., Rybalchenko V.V., Ogorodnikov I.V. Gas hydrates in the Arctic and the world Ocean: features of occurrence and prospects of development. Moscow: Nedra, 2014, 251 p. (In Russ).
- Istomin V.A., Yakushev V.S. Gas hydrates in natural conditions. Moscow: Nedra, 1992, 236 p. (In Russ).
- Leonov S.A. Prospects of hydrate content of the Above-Cenomanian deposits of the north of West Siberia. Abstract. dis. for the job application scientist step. ph.d. tech. sciences. Moscow: 2010, 24 p. (In Russ).
- Perlova E.V., Makhonina N.A. Types of geological gas resources in gas hydrates and determination of their recoverable part. *Oil, gas of the Arctic*. Moscow: Intercontact Nauka, 2007, P. 248–256. (In Russ).
- Perlova E.V., Leonov S.A., Khabibullin D.Ya. Primary trends in development of gas hydrate deposits in Russia. *Vesti gazovoy nauki*, 2017, issue 3, P. 224–228. (In Russ).
- Perlova E.V. Preparation of hydrated gas resources for developing mineral and raw material base of gas production at the Gazprom PJSC. *Vesti gazovoy nauki*, 2018, issue 3, P. 256–263. (In Russ).
- Sukhonosenko A.L. Thermohydrodynamic modeling of the development of gas hydrate deposits. Abstract. dis. for the job application scientist step. ph.d. tech. sciences. Moscow: 2013, 28 p. (In Russ).
- Yakushev V.S., Istomin V.A., Perlova E.V. Resources and prospects for the development of unconventional gas sources in Russia. Moscow: VNIGAZ, 2002, 87 p. (In Russ).
- Gudzenko V.T., Varenichev A.A., Gromova M.P. Gas hydrates. Information-analytical review. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 2016, issue 5, P. 39–68. (In Russ).
- Balobaev V.T., Levchenko A.I. Deep freezing and the profile of the thermal field of the upper part of the Earth's crust of West Siberia. *Oil-geological interpretations of the thermal regime of the subsoil of West Siberia*. Tyumen: 1988, P. 31–41. (In Russ).
- Baulin V.V. Permafrost rocks of the oil and gas bearing regions of the USSR. Moscow: Nedra, 1985, 176 p. (In Russ).
- Devyatkin V.N. Thermal flow of the cryolithic zone of Siberia. *Novosibirsk: Nauka*, 1993, 165 p. (In Russ).
- Duchkov A.D., Kurchikov A.R., Lysak S.V., Balobaev V.T., et. al. Thermal field of the Siberian subsoil. *Novosibirsk: Nauka*, 1987, 196 p. (In Russ).
- An V.N., Devyatkin V.N., Kurchikov A.R. Catalog of permafrost and geothermal information of the West Siberian region. 2002. (In Russ).
- Kurchikov A.R., Agalakov S.E. The thickness of permafrost rocks and the geothermal regime of the upper part of the cross-section of the north of West Siberia. *Gornye vedomosti*, 2004, issue 4, P. 21–37. (In Russ).
- Sharbatyan A.A. The history of the development of permafrost rocks. In *The essays on regional and historical cryology*. Moscow: Academy of Sciences of the USSR, 1962, P. 127–142. (In Russ).
- Volodko B.V. The possibility of determining the thickness of permafrost strata according to the spontaneous polarization method. *Engineering permafrost*. Novosibirsk: Nauka, 1979, 208 p. (In Russ).
- Geocryology of the USSR. West Siberia. Moscow: Nedra, 1989, 454 p. (In Russ).
- Irbe N.A. Features of interpretation of field and geophysical materials in a low-temperature section of West Siberia at the stage of prospecting and exploration, M.: Nedra, 1974, issue 65, P. 98–120. (In Russ).
- Ostry G.B., The method of separation of frozen rocks in the cross-section, *Issues of geology and drilling and production in the frozen rock zone in the oil and gas fields of West Siberia*. Tyumen: Giprotymenneftegaz, 1969, issue 18, 179 p. (In Russ).
- Beznosikov A.F. Gas hydrate deposits and the study of some features of their development: (case study of Messoyakhskiye field). Abstract. dis. for the job application scientist step. ph.d. tech. sciences. Tyumen: 1978, 220 p. (In Russ).
- Ilyin A.V. Gas hydrates of the north of the Tyumen region as a new study target by geophysical methods.: PhD thesis. Yekaterinburg: 2012, 220 p. (In Russ).
- Geothermal Atlas of Siberia and the Far East. ING SB RAS, 2012. (In Russ).
- Geocryology of the USSR. West Siberia. Moscow: Nedra, 1989, 454 p. (In Russ).
- Malyukov V.P., Vorobiev K.A. Innovative technologies for the development of gas hydrate deposits. Moscow: RUND, 2021, 289 p. (In Russ).
- Kurchikov B.P., Kontorovich A.R., Plavnik A.G. Hydrochemical zoning of jurassic and cretaceous deposits of the West Siberian basin. *Geology and Geophysics*, 2004, Vol. 45, issue 7, P. 826–832. (In Russ).
- Ponomarev G.V. Conditions of formation of hydrates of natural and associated gases, *Kuibyshev: NIINP*, 1960, issue 2, P. 49–55. (In Russ).
- Degtyarev B.V., Buhgalter E.B. Hydrates control during the operation of gas wells in the northern regions. Moscow: Nedra, 1976, 200 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Агалаков Сергей Евгеньевич, д.г.-м.н., старший эксперт экспертно-аналитического управления, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия
Для контактов: seagalakov@tnnc.rosneft.ru

Кузовков Антон Алексеевич, главный инженер проекта управления научно-технического развития, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия

Плавник Андрей Гарьевич, д.т.н., заведующий лабораторией геологического моделирования, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

Озирная Екатерина Тимофеевна, инженер первой категории лаборатории геологического моделирования, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

Agalakov Sergey Evgenievich, doctor of geologo-mineralogical sciences, senior expert of the expert and analytical division, "Tyumen petroleum research center" LLC, Tyumen, Russia
Corresponding author: seagalakov@tnnc.rosneft.ru

Kuzovkov Anton Alekseevich, chief project engineer of the scientific and technical development division, "Tyumen petroleum research center" LLC, Tyumen, Russia

Plavnik Andrey Garyevich, doctor of technical sciences, head of the geological modeling laboratory, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

Ozirnaya Ekaterina Timofeevna, category I engineer of the geological modeling laboratory, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

22-я АЛЬМЕТЬЕВСКАЯ ВСТРЕЧА

СО СПЕЦИАЛИСТАМИ
ПАО «ТАТНЕФТЬ»



Выставочная компания
НОВОЕ ТЫСЯЧЕЛЕНИЕ

NT-EXPO.RU



TATNEFT

2024

16-18 ОКТЯБРЯ
г. Альметьевск