

Подошва криолитозоны и предпосылки существования газогидратов на месторождении Т севера Западной Сибири

С.Е. Агалаков*, К.В. Салова, Ю.А. Сизько
ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия

Обобщены исходные данные для расчета интервала стабильности газовых гидратов на месторождении Т Западной Сибири – температура разреза, пластовое давление, плотность газа по воздуху, минерализация пластовых вод. Определение положения подошвы криолитозоны моделировалось комплексированием термоградиента, рассчитанного при испытаниях скважин и положения подошвы многолетнемерзлых пород (ММП) по данным каротажа удельного электрического сопротивления.

В связи с неоднозначностью определения положения подошвы ММП и криолитозоны построены два варианта карт подошвы криолитозоны – минимальный и максимальный. Соответственно, было построено два варианта карт подошвы зоны стабильности газогидратов – минимальный и максимальный. Показано, что верхние газонасыщенные пласты месторождения Т находятся в зоне стабильности газогидратов.

Ключевые слова: криолитозона, многолетнемерзлые породы, газовые гидраты, Западная Сибирь

Для цитирования: Агалаков С.Е., Салова К.В., Сизько Ю.А. (2025). Подошва криолитозоны и предпосылки существования газогидратов на месторождении Т севера Западной Сибири. *Георесурсы*, 27(3), с. 25–35. <https://doi.org/10.18599/grs.2025.3.2>

Введение

Газовые гидраты представляют собой особую форму существования природного газа и являются потенциальным и стратегически важным сырьем. За 2015–2020 гг. в России защищено не менее 25 научных диссертаций по темам, связанным с газогидратами, подано более 50 заявок на получение патентов РФ (Шиц и др., 2021). За последние несколько лет количество публикаций, посвященных газогидратам, еще более возросло. Одним из важных направлений исследования газовых гидратов является их изучение в естественном природном залегании.

Подход к газогидратам как ресурсному потенциалу Западной Сибири в конце 70-х, начале 80-х годов прошлого века развивался усилиями Васильева В.Г., Трофимука А.А., Макогона Ю.Ф. (Васильев и др., 1970; Макогон, 1985; Трофимук и др., 1983), якутских ученых Никитина С.П., Царева В.П., Черского Н.В. (Никитин и др., 1982; Царев, 1976; Черский и др., 1983, 1987). В 80-х годах оценки ресурсов выполнялись в Ленинграде Барканом Е.С., Гинсбургом Г.Д., Вороновым А.Н., Якуцени В.П. (Баркан и др., 1983, 1989; Гинсбург и др., 1990). В Тюмени особенности газогидратных процессов в недрах Западной Сибири исследовались Агалаковым С.Е., Ненаховым В.А., Курчиковым А.Р., Царевым В.П. (Агалаков и др.,

1990, 1996, 2003, 2019; Агалаков, 2010; Курчиков, 1984; Ненахов, 1982). В XXI веке активно занимаются оценками ресурсов и методами разработки газогидратов Басниев К.С., Истомин В.А., Леонов С.А., Перлова Е.В., Сухоносенко А.Л., Якушев В.С. (Басниев и др., 2010; Леонов, 2010; Якушев и др., 2007, 2014; Перлова и др., 2017; Перлова, 2018; Сухоносенко, 2013). В литературе появляются обзоры по проблематике газовых гидратов (Якуцени, 2015; Гудзенко и др., 2016; Шиц и др., 2021).

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 надсеноманские отложения. Достигнутая к настоящему времени изученность их строения и свойств позволяет анализировать и моделировать характеристики, являющиеся ключевыми для оценки ресурсов газогидратов.

Методика определения положения подошвы стабильности газовых гидратов

Основные характеристики, определяющие равновесные термобарические условия существования газогидратов в поровом пространстве (Макогон, 1985) – температура разреза, пластовое давление, плотность газа по воздуху, минерализация пластовых вод.

Для расчета подошвы стабильности газогидратов в толще горных пород использована усовершенствованная формула, предложенная в работе (Пономарев, 1960). Формула получена на основе обработки экспериментальных данных по условиям гидратообразования природных газов различного состава.

* Ответственный автор:

e-mail: SEAgalakov@TNNC.rosneft.ru

© 2025 Коллектив авторов

Статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution (CC BY) License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Методика и необходимые для расчета региональной карты подошвы интервала стабильности газогидратов данные для условий Западной Сибири по температуре разреза, характеристике пластового давления, минерализации пластовых вод и составу газа были собраны и обобщены в работе (Агалаков и др., 2023).

Методика изучения температурного режима разреза

Ключевым фактором существования газогидратов является охлажденность разреза, вызванная наличием многолетнемерзлых пород (ММП). Для определения глубины подошвы криолитозоны применены следующие подходы (Володько, 1989; Ирбэ, 1974; Острый, 1969; Агалаков, Ненахов, 1990; Курчиков, Агалаков, 2004).

1. Прямым и наиболее надежным методом определения температурного режима разреза является термометрия в выстоявшихся скважинах – метод определения геотемпературного градиента (ОГГ).

2. 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.

3. Используются материалы ГИС. По ГИС определяется положение подошвы ММП:

- термометрия в невыстоявшихся скважинах по изгибу термограммы отбивки цементного кольца (ОЦК),
- каротаж электрического сопротивления (физической основой является эффект повышения сопротивления породы при замещении поровой воды диэлектриком – льдом),
- кавернометрия – для льдосодержащих пород характерны каверны.

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

Результаты региональных исследований

Построение региональных карт подошвы криолитозоны Западной Сибири выполнено с привлечением материалов ГИС по 735 скважинам. При построении также использованы литературные данные (Балобаев, Левченко, 1988; Девяткин, 1993), данные каталога ММП (Ан и др., 2002) и Геотермического Атласа (Геотермический атлас Сибири..., 2012). Карта (рис. 1) построена исключительно с учетом комплекса имеющихся данных по скважинам в исследуемом районе (Агалаков и др., 2023). Наземные геофизические методы, а также другие подходы, связанные с модельными представлениями о формировании-расформировании многолетнемерзлых пород, при построении не использованы.

Следует отметить обширную меридионально вытянутую зону повышенной мощности криолитозоны на запад от реки Енисей. Здесь по сравнению с западными и центральными областями в интервале ММП располагаются породы с более высокой песчанистостью и льдистостью, которые характеризуются медленным подъемом подошвы

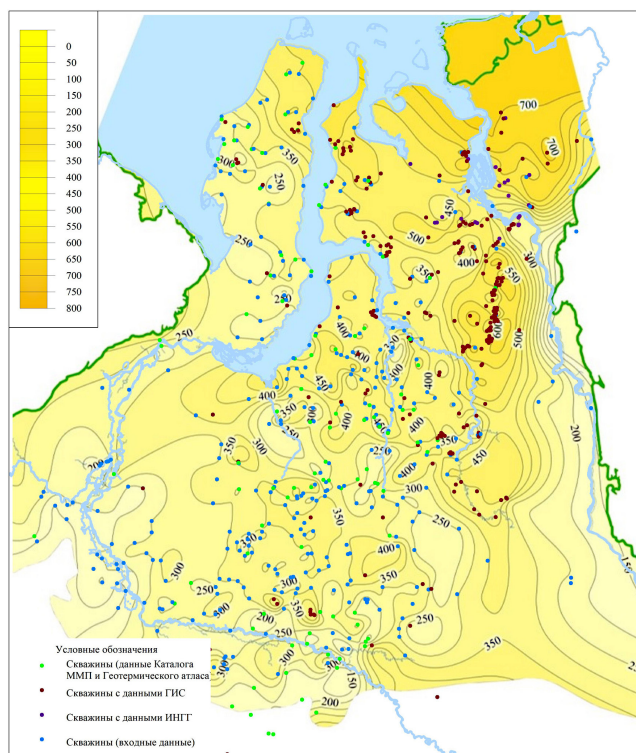


Рис. 1. Карты глубин подошвы криолитозоны Западной Сибири (Агалаков и др., 2023)

криолитозоны вследствие потепления климата. В целом, построенная карта согласуется с опубликованными ранее картами (Баулин, 1985; Геокриология СССР..., 1989) и, по мнению авторов, является надежной актуализированной основой для определения интервала стабильности газогидратов Западной Сибири.

Полученная авторами итоговая карта температурного градиента по территории Западно-Сибирского бассейна представлена на рис. 2 (Агалаков и др., 2023). На представленной карте по изолинии 3,5 град/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.

Результаты исследований на месторождении Т

На северо-востоке Западной Сибири, наряду с повышенной мощностью ММП, выявлен ряд месторождений с относительно неглубоко залегающими газовыми залежами. Одним из них является месторождение Т (рис. 3). Авторы работы решили более детально изучить месторождение и определить возможность существования газовых гидратов в выявленных залежах долганской и дорожковской свиты.

Геологическое строение

В мерзлом состоянии на месторождении Т находятся (сверху вниз) четвертичные отложения, а также отложения танамской (маастрихт – датский ярус) и салпадинской (кампанский ярус) свит (рис. 4).

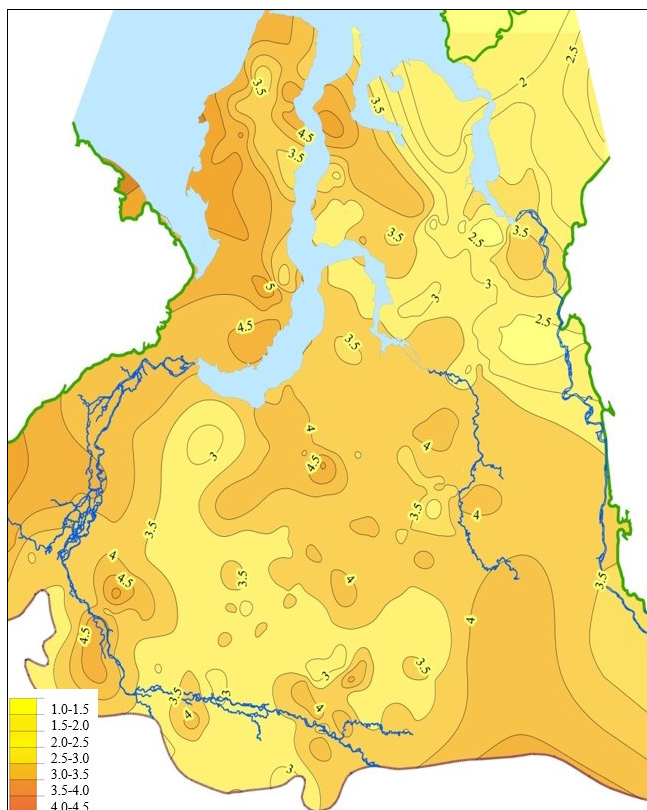


Рис. 2. Карта температурного градиента подмерзлотных толщ Западной Сибири (Агалаков и др., 2023)



Рис. 3. Обзорная карта с расположением месторождения Т. Х, Z – ближайшие скважины с термометрией в выстоявшихся скважинах.

Разрез сложен песчано-глинистыми отложениями, причем глинистость возрастает вниз по разрезу. На месторождении мерзлые породы не изучены. Литология дана по описанию стратиграфических подразделений на стратиграфических схемах. Физические свойства пород изучены на соседнем месторождении Х до глубины 380 м. До этой глубины суммарная естественная влажность в зависимости от гранулометрического состава пород изменяется от 0,17 до 0,33 д.е. и от глубины не зависит.

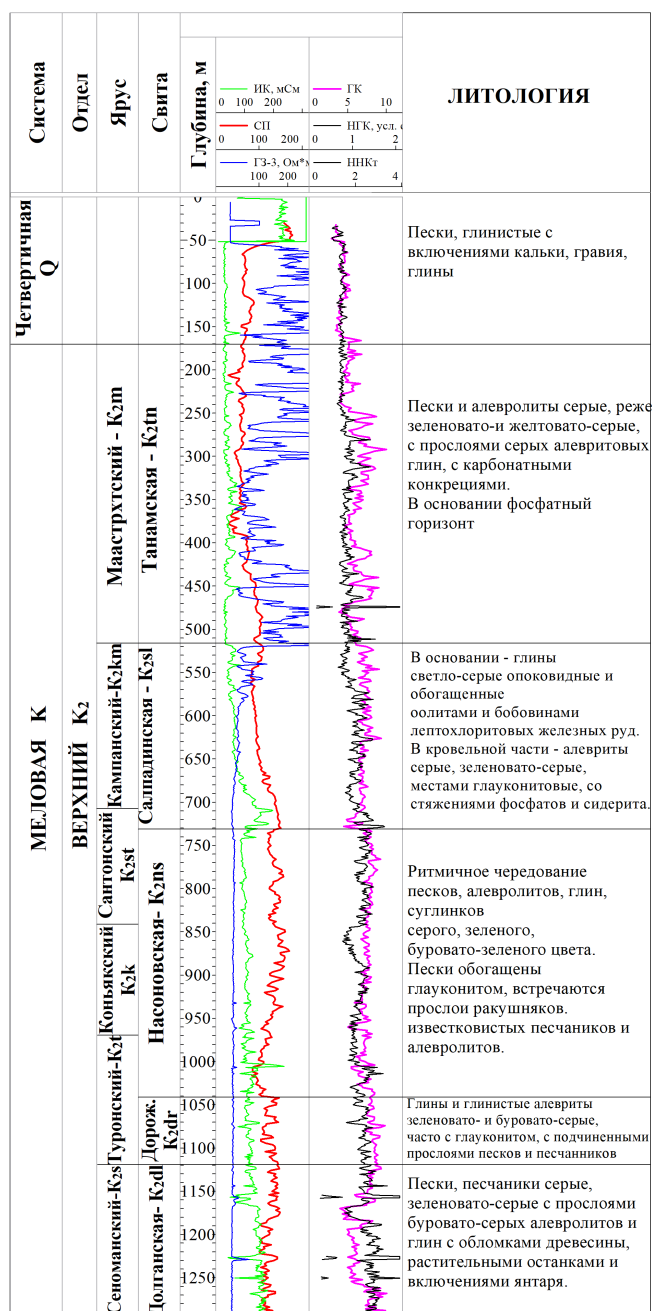


Рис. 4. Верхняя часть сводного геологического разреза месторождения Т

Коэффициент пористости изменяется от 0,18 до 0,54. Содержание солей не превосходит 0,13%.

Подшоша ММП проходит в глинистых отложениях салпадинской свиты, что по сравнению с песчаными отложениями затрудняет определение ее положения по ГИС вследствие постепенного перехода от льдистых пород к породам, не содержащим льда.

Продуктивные газонасыщенные отложения представлены пластами Др и Дл дорожковской и долганской свит.

Отложения долганской свиты имеют прибрежно-континентальный генезис – неравномерное переслаивание песчаников мелкозернистых с прослоями углито-слюдистого материала и аргиллитоподобных глин, аргиллитов и алевролитов с прослоями и линзами углей.

Коллекторы пластов Дл имеют повсеместное распространение. Коллекторские свойства высокие. По керну

в коллекторе пористость изменяется от 3 до 41%, в среднем – 31%.

Пласты прибрежно-морской дорожковской свиты (Др) сложены зеленовато-буровато-серыми глинами и алевролитами, нередко с глауконитом и конкрециями сидерита с редкими прослоями песков и песчаников серых, мелкозернистых. Коллекторские свойства хуже, чем в пластах Дл. По керну в коллекторе пористость изменяется от 1,6 до 38,5%, в среднем – 30%.

Температурный режим

На месторождении Т в выстоявшихся скважинах термометрия не проводилась.

Ближайшая термометрия в выстоявшихся скважинах проведена на месторождениях Х и Z, при этом на месторождении Z температура измерена только до глубины 380 м.

Месторождение Х находится в 300 км от исследуемого месторождения Т. По термометрии на месторождении Х подошва криолитозоны 550 м (рис. 5). По градиенту испытаний термометрии подошва криолитозоны – 570 м. По каротажу удельного электрического сопротивления (КС) подошва ММП на глубине 550 м соответствует выработанному переходу от 25 Ом к 15 Ом.

По данным лабораторных исследований на соседнем месторождении Z снижение температуры начала замерзания пород вследствие незначительной засоленности и высокой влажности разреза находится в диапазоне от $-0,17$ до $0,23$ °C, что при среднем термоградиенте 3 °C на 100 м разреза дает разницу в положении подошвы ММП и криолитозоны не более 8 м, то есть менее погрешности определения другими методами. Этот факт был учтен при прогнозировании положения подошвы криолитозоны по данным о подошве ММП.

Таким образом, тремя различными методами получен сопоставимый результат, что дает основание

для использования двух косвенных методов для восстановления температурного режима разреза для месторождения Т.

На месторождении Т определение положения подошвы криолитозоны моделировалось комплексированием термоградиента, рассчитанного при испытаниях скважин и положения подошвы ММП по данным каротажа удельного электрического сопротивления.

В результате по термоградиенту удалось рассчитать положение нулевой изотермы по 8 скважинам (рис. 6), относительно равномерно расположенным в купольной части структуры. При этом диапазон значений составил 626–687 м, со средним значением 649 м. Среднеквадратическое отклонение (СКО) определения глубины нулевой изотермы для разных скважин находится в диапазоне 6–47 м. Среднее значение СКО составило 28 м.

Одну скважину с минимальным количеством определений (3) не приняли в расчет, поскольку в ней глубина подошвы криолитозоны отличается от общей выборки на 70 м, что в 3,5 раза больше отклонения от среднего по остальным скважинам.

По ГИС на месторождении подошва ММП в связи с неопределенностью показаний каротажа сопротивлений определена для двух вариантов – по снижению сопротивления пород от 25 и от 15 Ом. Всего удалось использовать каротажные диаграммы по 17 скважинам для определения положения подошвы ММП.

Сопоставление определения положения подошвы ММП по данным ГИС и нулевой изотермы по термоградиенту оказалось возможным по трем скважинам Т_А, Т_Б и Т_З (рис. 7).

Неопределенность определения подошвы ММП по ГИС составила ± 20 м. Отличие положения подошвы ММП от подошвы криолитозоны за счет минерализации пластовых вод, как отмечалось выше, не превосходит 8 метров.

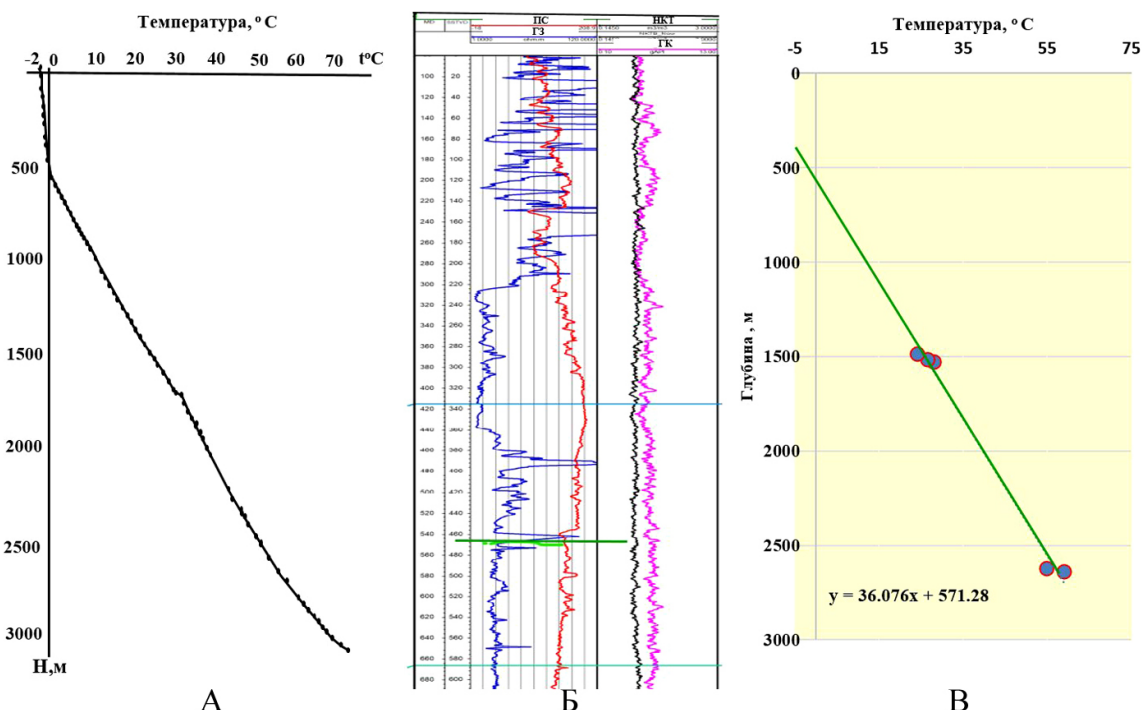


Рис. 5. Определение положения подошвы криолитозоны по данным термометрии (А), ГИС (Б) и термоградиента (В) на месторождении Х

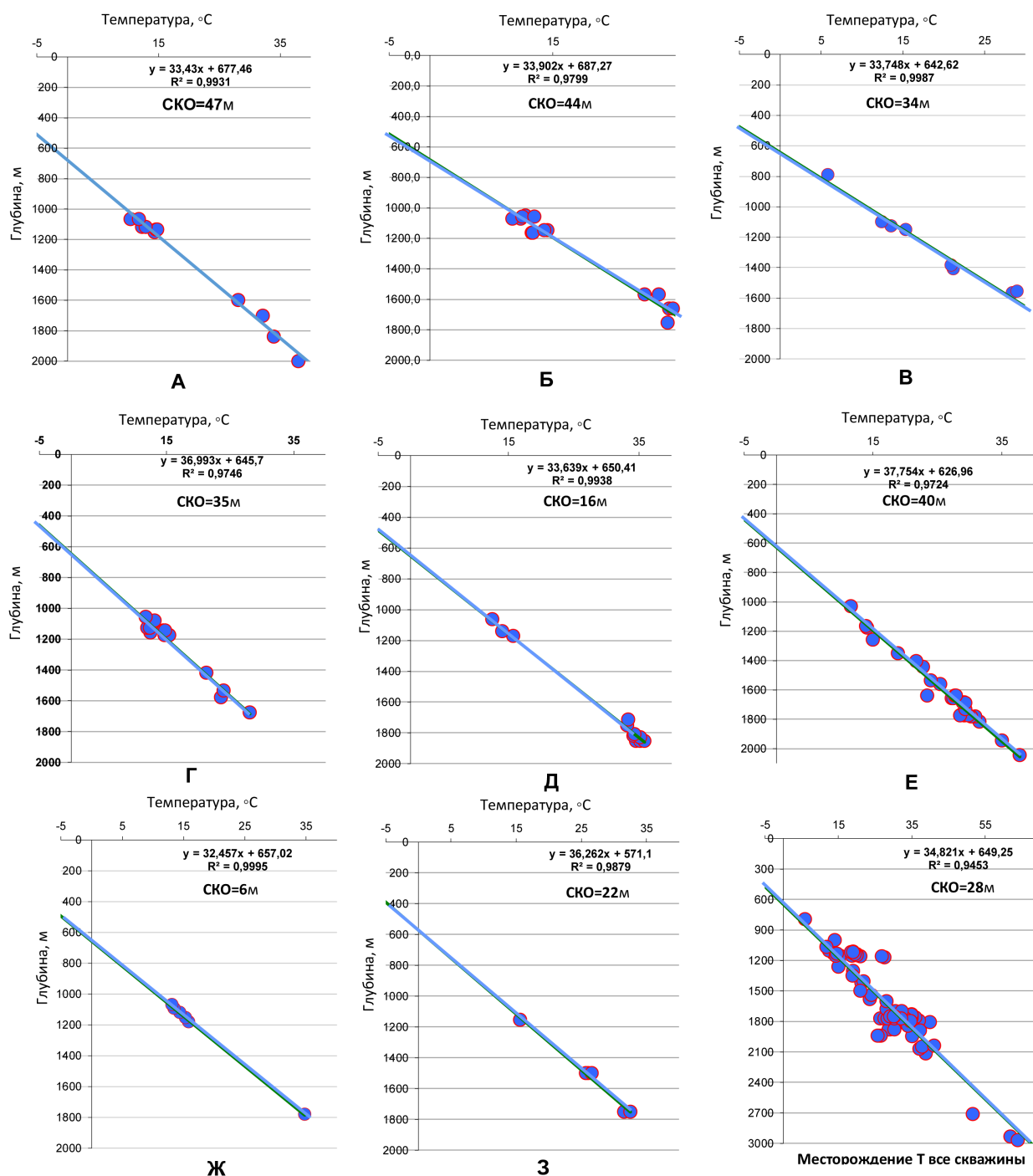


Рис. 6. Определение положения подошвы криолитозоны для исследуемого района по термоградиенту результатов испытаний скважин А-З

В итоге, неопределенности определения подошвы криолитозоны по данным ГИС и испытаний (28 м) сопоставимы. При этом есть хорошее соответствие этих методов в среднем по скважинам: среднее значение по термоградиенту – 649 м, среднее значение по ГИС – 652 м.

В связи с неоднозначностью определения положения подошвы ММП и криолитозоны принято решение построить два возможных варианта карты подошвы криолитозоны – минимальный и максимальный (рис. 8).

Выполнена работа по определению других необходимых параметров для расчета положения подошвы

зоны стабильности газогидратов – пластового давления, минерализации пластовых вод и состава природного газа.

Пластовое давление

По данным испытаний в пластах Др и Дл аномально-высокого давления не зафиксировано. Коэффициент аномальности при расчетах принят равным 1.

Минерализация пластовых вод и состав газа

В таблице 1 приведены данные по минерализации пластовых вод и составу газа.

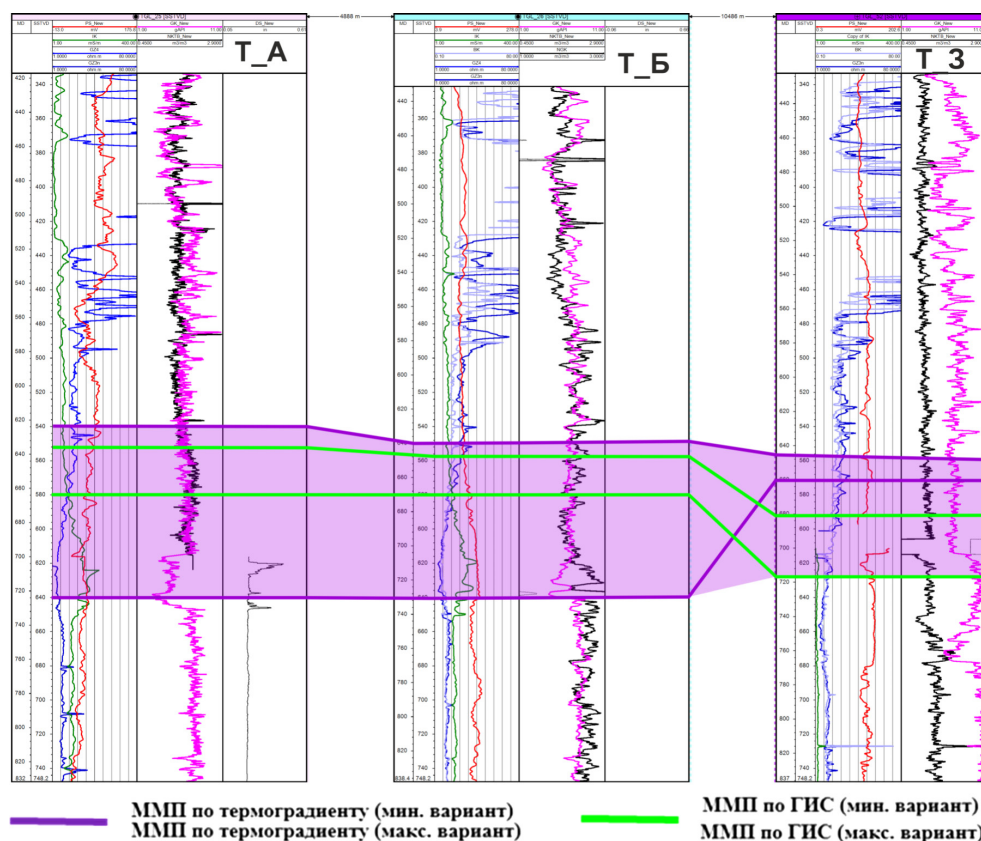


Рис. 7. Скважины с наличием ГИС и испытаний в пластах дорожковской и долганской свит. Диапазон неопределенности положения подошвы криолитозоны показан сиреневым фоном.

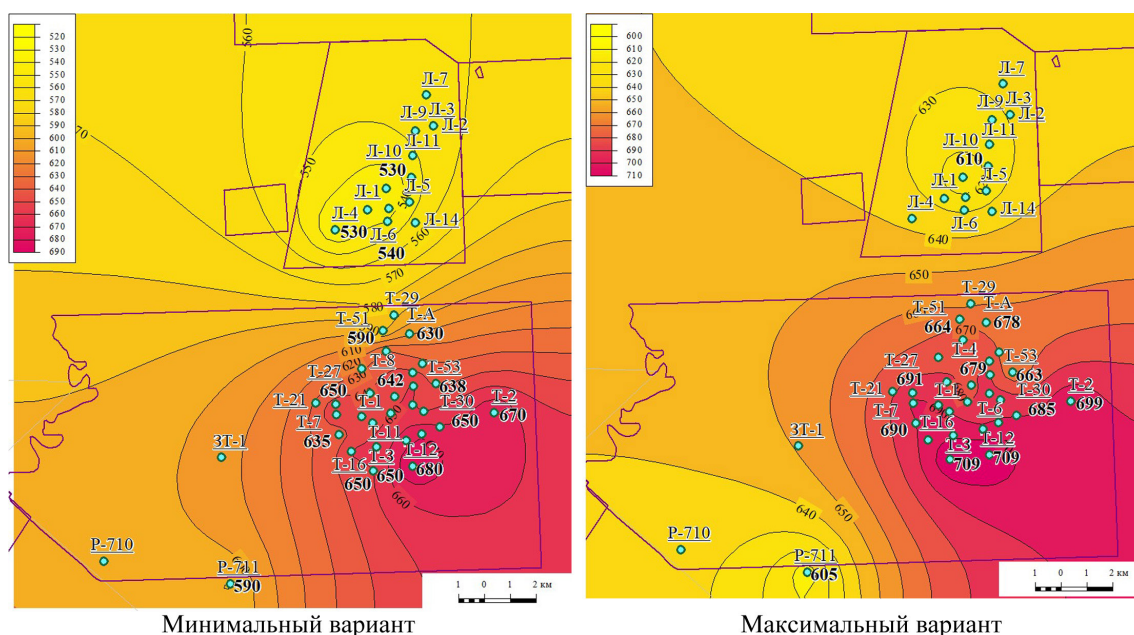


Рис. 8. Карты положения подошвы криолитозоны исследуемого района в минимальном и максимальном вариантах

Диапазон изменения минерализации пластовых вод составил 7600–8900 мг/л. Для расчетов принято среднее значение минерализации $M = 8395$ мг/л.

Природный газ метанового состава (метана около 99%); плотность газа по воздуху изменяется в диапазоне 0,559–0,563 при среднем значении $P = 0,561$.

В соответствии с двумя вариантами карты подошвы криолитозоны построено 2 варианта карты подошвы зоны

стабильности газогидратов – минимальный и максимальный (рис. 9).

В максимальном варианте подошва зоны стабильности газогидратов залегает в интервале глубин 1100–1180 м, в минимальном – 1005–1140 м.

Согласно полученным построениям, в зоне стабильности газогидратов находится как минимум верхняя часть залежи пласта Др-1, как максимум – залежи пластов Др-1, Др-2 и верхняя часть залежи пласта Др-3 (рис. 10).

Минерализация
пластовых вод

Пласт	Общая минерализация, мг/л
Др-I	8850
Др-I	8120
Др-I	8900
Др-I	8740
Др-II	7659
Др-II	8371
Др-II	7961
Др-II	8140
Др-II	8590
Др-II	8110
Др-II	8900
среднее	8395

Состав газа

пласт, залежь	глубина отбора м	Содержание, % моль.													Плот- ность газа, д.ед.
		CO ₂	N ₂	He	Ar	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	iC ₄ H ₁₀	nC ₄ H ₁₀ 10	iC ₅ H ₁₂ 2	nC ₅ H ₁₂	C ₆₊	
Др-3	1082.0	0.025	1.019	0.011	н/о	0	98.728	0.147	0.011	0.004	0.005	0.004	0.002	0.044	0.562
среднее по залежи		0.025	1.019	-	-	-	98.728	0.147	0.011	0.004	0.005	0.004	0.002	0.044	0.562
Дл-1	1130.6	0.043	1.018	0.01	н/о	0.001	98.667	0.161	0.002	0.004	0.001	0.002	0	0.091	0.563
	1186.0	0.024	0.861	0.01	н/о	0	98.94	0.143	0.002	0	0	0.003	0	0.017	0.559
среднее по залежи		0.034	0.94	0.01	-	0.001	98.804	0.152	0.002	0.002	0.001	0.003	0	0.054	0.561
Дл-2	1155.3	0.016	0.739	0.013	н/о	0	98.997	0.183	0.005	0.001	0.001	0.004	0.001	0.04	0.56
среднее по залежи		0.016	0.739	-	-	0	98.997	0.183	0.005	0.001	0.001	0.004	0.001	0.04	0.56
Дл-3	1156	0.065	1.344	0.021	н/о	0	98.429	0.104	0.005	0.001	0.002	0.003	0	0.026	0.562
	1216.0	0.026	0.945	0.014	н/о	0	98.845	0.139	0.01	0.002	0.005	0.002	0.002	0.01	0.56
	1160.0	0.015	0.693	0.013	н/о	0	99.084	0.173	0.003	0.001	0.001	0.004	0.001	0.012	0.559
среднее по залежи		0.035	0.994	0.016	-	0	98.786	0.139	0.006	0.001	0.003	0.003	0.001	0.016	0.56
Принято в расчетах															0.561

Табл. 1. Минерализация пластовых вод и состав газа

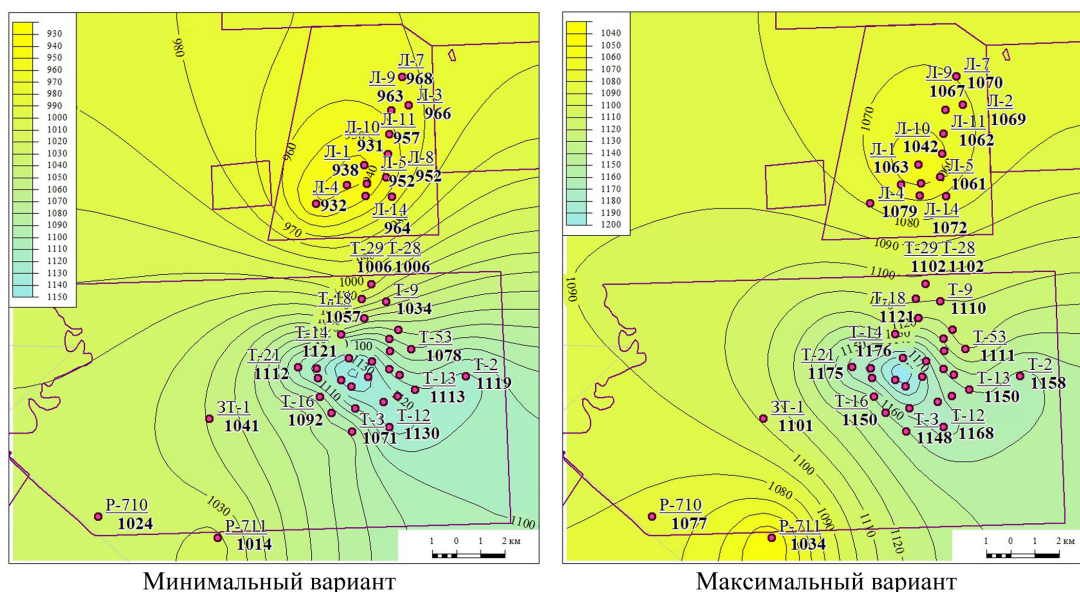


Рис. 9. Два варианта положения подошвы стабильности газогидратов на месторождении Т

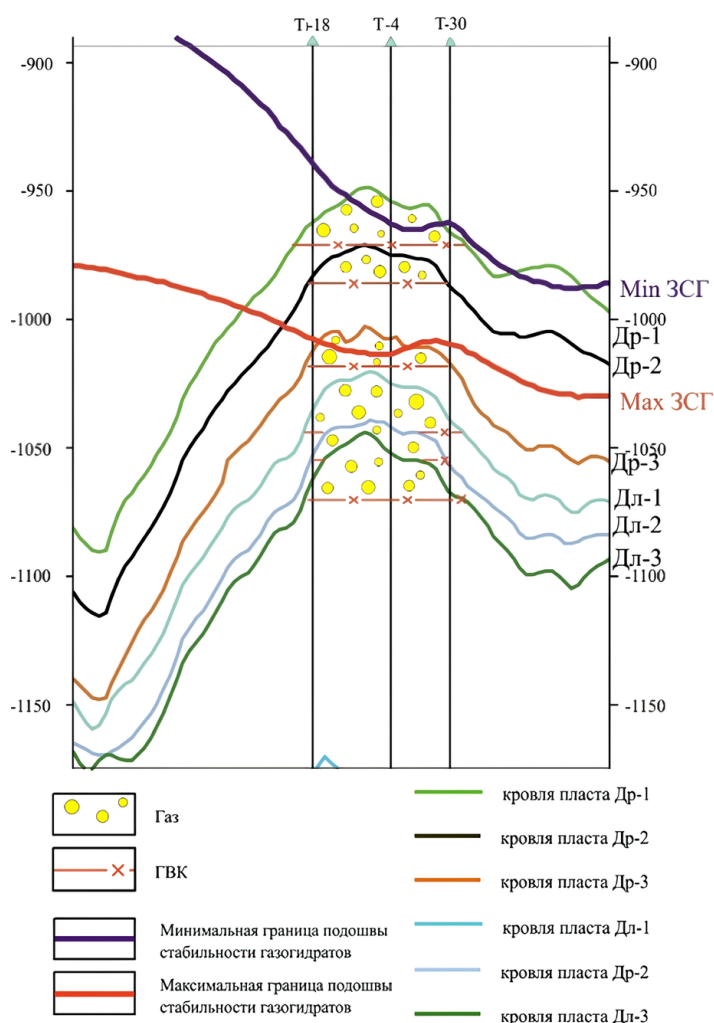


Рис. 10. Положение подошвы зоны стабильности газогидратов на геологическом разрезе месторождения Т. ЗСГ – зона стабильности газогидратов.

Выводы

В научной литературе, касающейся газогидратов Западной Сибири, в основном обсуждалось наличие газогидратов на Мессояхском месторождении. Настоящая работа предлагает еще один перспективный на наличие природных газовых гидратов объект изучения – месторождение Т.

Обобщены данные по температурному режиму разреза, составу природного газа, пластовым давлениям и минерализации пластовых вод месторождения Т.

В связи с имеющимися неопределенностями в температурном режиме разреза расчеты подошвы криолитозоны и, соответственно, подошвы стабильности газогидратов для месторождения Т выполнены в максимальном и минимальном вариантах.

Впервые показано, что верхние газонасыщенные пласты месторождения Т находятся в зоне стабильности газогидратов.

Дальнейшие исследования должны быть связаны с:

- выполнением температурных измерений в существующих скважинах;
- анализом результатов испытаний в газовых и газогидратных интервалах разреза;
- проведением специальных исследований ГИС в потенциально гидратосодержащих интервалах разреза;
- проведением газогидратных лабораторных исследований на керне продуктивных пластов;
- выполнением работ по извлечению герметизированного керна с неразложившимися газогидратами, его изучению как на скважине, так и в специализированной лаборатории;
- оценкой запасов газа, адаптация технологии разработки газовых залежей с учетом их гидратонасыщенности.

Финансирование

Публикация статьи поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению № 075-10-2022-011 в рамках программы развития НЦМУ.

Литература

- Агалаков С.Е., Ненахов В.А. (1990). Промыслово-геофизические характеристики геологического разреза криолитогидратозоны Западной Сибири. *Сб. тр.: Ресурсы нетрадиционного газового сырья и проблемы его освоения*. Ленинград: ВНИГРИ, с. 228–236.
- Агалаков С.Е., Бочкарёв В.С., Царев В.П. (1996). Особенности строения криолитозоны полуострова Ямал. *Сб. тр.: Биоразнообразие Западной Сибири — результаты исследований*. Тюмень: ИПОС СО РАН, с. 103–118.
- Агалаков С.Е., Курчиков А.Р., Бабуринов А.Н. (2003). Геолого-геофизические предпосылки существования газогидратов в турон-коньякских отложениях Восточно-Мессояхского месторождения. *Тезисы конф.: ГАЗОВЫЕ ГИДРАТЫ В ЭКОСИСТЕМЕ ЗЕМЛИ — 2003*. Новосибирск, с. 15.
- Агалаков С.Е. (2010). Ресурсы газа в зонах стабильности газогидратов на севере Западной Сибири. Доклад на Международной конференции «К новым открытиям через интеграцию геонаук». Санкт-Петербург.
- Агалаков С.Е., Новосёлова М.Ю. (2019). Газоносность надсеноманских отложений Западной Сибири. *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ*, (4), с. 10–23. <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2019-4-10-23>
- Агалаков С.Е., Кузовков А.А., Озирная Е.Т., Плавник А.Г. (2023). Региональные построения карт мощности криолитозоны и подошвы интервала стабильности газогидратов Западной Сибири. *Экспозиция Нефть Газ*, 8, с. 46–55. DOI 10.24412/2076-6785-2023-8-46-55
- Ан В.Н., Девяткин В.Н., Курчиков А.Р. (2002). Каталог мерзлотно-геотермической информации Западно-Сибирского региона.
- Балобаев В.Т., Левченко А.И. (1988). Глубокое промерзание и динамика теплового поля верхней части земной коры Западной Сибири. Нефтегеологические интерпретации теплового режима недр Западной Сибири. Тюмень, с. 31–41.
- Баркан Е.С., Воронов А.Н. (1983). Оценка ресурсов газа в зонах возможного гидратообразования. *Советская геология*, 8, с. 26–29.
- Баркан Е.С., Безруков В.М., Гинзбург Г.Д. и др. (1989). Нетрадиционные источники углеводородного сырья, под ред. В.П. Якуцени. Москва: Недра, Министерство геологии СССР, Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геолого-разведочный институт, 223 с.
- Басниев К.С., Сухоносенко А.Л. (2010). Перспективы освоения ресурсов газогидратных месторождений. *Газовая промышленность*, 1(641), с. 22–23. EDN: KZDXOJ
- Баулин В.В. (1985). Многолетнемерзлые породы нефтегазоносных районов СССР. Москва: Недра, 176 с.
- Васильев В.Г., Макогон Ю.Ф., Требин Ф.А., Трофимук А.А., Черский Н.В. (1970). Свойства природных газов, находящихся в земной коре в твёрдом состоянии, образующих газогидратные залежи. *Открытия, изобретения и товарные знаки*, 10, с. 3–5.
- Володько Б.В. (1979). О возможности определения по данным метода самопроизвольной поляризации мощности мерзлых терригенных толщ. *Инженерное мерзлотоведение*. Новосибирск: Наука, 208 с.
- Геокриология СССР. Западная Сибирь (1989). Под ред. Э.Д. Ершова. Москва: Недра, 454 с.
- Геотермический атлас Сибири и Дальнего Востока (2012). ИНГТ СО РАН.
- Гинсбург Г.Д., Соловьев В.А. (1990). Геологические модели газогидратообразования. *Литология и полезные ископаемые*, 2, с. 76–87. EDN: BEZURY
- Гудзенко В.Т., Вареничев А.А., Громова М.П. (2016). Газогидраты. Информационно-аналитический обзор. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, 5, с. 39–68. EDN: VWNVKN
- Девяткин В.Н. (1993). Тепловой поток криолитозоны Сибири. Новосибирск: Наука, 165 с.
- Дучков А.Д., Курчиков А.Р., Лысак С.В., Балобаев В.Т. и др. (1987). Тепловое поле недр Сибири. Новосибирск: Наука, 196 с.
- Ирбэ Н.А. (1974). Особенности интерпретации промыслово-геофизических материалов в низкотемпературном разрезе Западной Сибири на этапе поисково-разведочных работ. *Вопросы геологии и бурения скважин в зоне мерзлых пород на нефтяных и газовых месторождениях Западной Сибири*, вып. 65, с. 98–120.
- Истомин В.А., Якушев В.С. (1992). Газовые гидраты в природных условиях. Москва: Недра, 236 с. EDN: YSOMOR
- Курчиков А.Р. (1984). Оценка возможности поиска залежей гидратов природного газа по геотермическим данным. *ЗапСибНИГНИ*, вып. 191, с. 65–76.
- Курчиков А.Р., Агалаков С.Е. (2004). Мощность многолетнемерзлых пород (ММП) и геотермический режим верхней части разреза Севера Западной Сибири. *Горные ведомости*, 4, с. 21–37.
- Леонов С.А. (2010). Перспективы гидратоносности надсеноманских отложений севера Западной Сибири. *Автореферат канд. дисс.* Москва, 24 с. EDN: QEPXHN
- Макогон Ю.Ф. (1985). Газовые гидраты, предупреждение их образования и использование. Москва: Недра, 231 с.
- Ненахов В.А. (1982). Исследование особенностей разработки газогидратных месторождений с целью повышения газоотдачи пласта. *Автореферат канд. дисс.* Москва, 20 с.
- Никитин С.П., Царев В.П., Черский Н.В. (1982). Рекомендации по учету влияния газогидратного процесса на оценку перспектив газоносности Западной Сибири. Якутск, 30 с.
- Острый Г.Б. (1969). Методика выделения мерзлых пород в разрезе. *Вопросы геологии и бурения и добычи в зоне мерзлых пород на нефтяных и газовых месторождениях Западной Сибири*, вып. 18.
- Перлова Е.В., Леонов С.А., Хабибуллин Д.Я. (2017). Приоритетные направления освоения газогидратных залежей России. *Проблемы ресурсного обеспечения газодобывающих районов России*. Москва: Газпром ВНИИГАЗ, с. 224–228. EDN: ZIWNED
- Перлова Е.В. (2018). Подготовка ресурсов гидратного газа для развития минерально-сырьевой базы газодобычи ПАО «Газпром». *Научно-технический сборник Вести газовой науки*, 3(35), с. 256–263. EDN: MUVKAI
- Пономарев Г.В. (1960). Условия образования гидратов природных и попутных газов. Выпуск 2. Куйбышев: НИИП, с. 49–55.
- Сухоносенко А.Л. (2013). Термогидродинамическое моделирование процессов разработки газогидратных месторождений. *Автореферат дисс. канд. тех. наук*. Москва, 28 с.
- Трофимук А.А., Макогон Ю.Ф., Толкачев М.В. (1983). О роли газогидратов в процессах аккумуляции углеводородов и формировании их залежей. *Геология и геофизика*, 6, с. 3–15. EDN: PNJVIA
- Царев В.П. (1976). Особенности формирования, методы поиска и разработки скоплений углеводородов в условиях вечной мерзлоты. Якутск: Якутское книжное издательство, 216 с.
- Черский Н.В. и др. (1983). Исследование и прогнозирование условий накопления ресурсов газа в газогидратных залежах. Якутск: Якутский филиал СО АН СССР, 156 с.
- Черский Н.В., Никитин С.П. (1987). Изучение газоносности зон гидратообразования СССР. Якутск, 176 с.
- Шиц Ю.А. и др. (2021). Газовые гидраты: краткий обзор современных российских исследований в 2015–2020 гг. *Газовая промышленность*, 2(812), с. 46–56. EDN: VLUUKQ
- Якуцени В.П. (2015). Газогидраты — нетрадиционное газовое сырьё, их образование, свойства, распространение и геологические ресурсы. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 10(4). https://doi.org/10.17353/2070-5379/45_2015
- Якушев В.С. и др. (2014). Газовые гидраты в Арктике и мировом океане: особенности залегания и перспективы освоения. Москва: Недра, 251 с. EDN: VNKPSF
- Якушев В.С., Истомин В.А., Перлова Е.В. (2007). Ресурсы и перспективы освоения нетрадиционных источников газа в России. Москва: ВНИИГАЗ, 86 с. EDN: QKGWFP

Сведения об авторах

Сергей Евгеньевич Агалаков — доктор геол.-минерал. наук, старший эксперт экспертно-аналитического управления, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»

Россия, 625048, Тюмень, ул. Максима Горького, д. 42
e-mail: SEAgalakov@tnnc.rosneft.ru

Ксения Владимировна Салова — главный специалист управления геолого-разведочных работ Север Западной Сибири, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»

Россия, 625048, Тюмень, ул. Максима Горького, д. 42
e-mail: kvsalova@tnnc.rosneft.ru

Юлия Андреевна Сизько – ведущий специалист управления геолого-разведочных работ Север Западной Сибири, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»
Россия, 625048, Тюмень, ул. Максима Горького, д. 42
e-mail: yasizko@tnnc.rosneft.ru

Статья поступила в редакцию 01.11.2024;
Принята к публикации 26.05.2025;
Опубликована 20.09.2025

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

The bottom of the cryolithic zone and conditions for the formation of gas hydrates at the T field in the north of West Siberia

S.E. Agalakov*, K.V. Salova, Yu.A. Sizko

Tyumen Petroleum Research Center, Tyumen, Russian Federation

*Corresponding author: Sergey E. Agalakov, e-mail: SEAgalakov@TNNC.rosneft.ru

Abstract. The initial data to estimate the gas hydrate stability interval at the T field in West Siberia has been summarized, i.e. the cross-section temperature, reservoir pressure, gas-to-air density, and formation water salinity. The position of the cryolithic zone bottom was modeled by combining the thermal gradient estimated during well testing and the permafrost bottom position based on resistivity logging data.

Due to the ambiguity in interpreting the position of the bottom of the permafrost and cryolithic zone, two options of the cryolithic zone bottom maps were built: the minimum and maximum. Thus, two options of the gas hydrate stability zone bottom maps were built: the minimum and maximum. It is shown that the upper gas-saturated reservoirs of the T field are located in the gas hydrate stability zone.

Keywords: cryolithic zone, permafrost, gas hydrates, West Siberia.

Recommended citation: Agalakov S.E., Salova K.V., Sizko Yu.A. (2025). The bottom of the cryolithic zone and conditions for the formation of gas hydrates at the T field in the north of West Siberia. *Georesursy = Georesources*, 27(3), pp. 25–35. <https://doi.org/10.18599/grs.2025.3.2>

Acknowledgements

The publication of the article was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under agreement No. 075-10-2022-011 within the framework of the development program for a world-class Research Center.

References

- Agalakov S.E., Nenakhov V.A. (1990). Geophysical characteristics of the geological section of the cryolithohydrate zone of Western Siberia. *Coll. papers: Resources of unconventional gas raw materials and problems of its development*. Leningrad: VNIGRI, pp. 228–236. (In Russ.)
- Agalakov S.E., Bochkarev V.S., Tsarev V.P. (1996). Features of the structure of the cryolithozone of the Yamal Peninsula. *Coll. papers: Biodiversity of Western Siberia – results of studies*. Tyumen: IPOS SO RAN, pp. 103–118. (In Russ.)
- Agalakov S.E., Kurchikov A.R., Baburin A.N. (2003). Geological and geophysical prerequisites for the existence of gas hydrates in the Turonian-Coniacian deposits of the East Messoyakhskoye field. *Proc. Conf.: GAS HYDRATES IN THE EARTH'S ECOSYSTEM - 2003*. Novosibirsk. (In Russ.)

Agalakov S.E. (2010). Gas resources in gas hydrate stability zones in the north of Western Siberia. *Report at the International Conference: Towards New Discoveries through the Integration of Geosciences*. St. Petersburg. (In Russ.)

Agalakov S.E., Novoselova M.Yu. (2019). Gas content of the Upper Cenomanian deposits in Western Siberia. *Oil and Gas Studies*, (4), pp. 10–23. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2019-4-10-23>

Agalakov S.E., Kuzovkov A.A., Ozirnaya E.T., Plavnik A.G. (2023). Regional constructions of maps of the permafrost zone thickness and the base of the gas hydrate stability interval in Western Siberia. *Ekspozitsiya Neft'Gaz*, 8, pp. 46–55. (In Russ.) DOI 10.24412/2076-6785-2023-8-46-55

An V.N., Devyatkin V.N., Kurchikov A.R. (2002). Catalogue of permafrost-geothermal information of the West Siberian region. (In Russ.)

Balobaev V.T., Levchenko A.I. (1988). Deep freezing and dynamics of the thermal field of the upper part of the earth's crust in Western Siberia. Petroleum geological interpretations of the thermal regime of the earth's crust of Western Siberia. Tyumen, pp. 31–41. (In Russ.)

Barkan E.S., Voronov A.N. (1983). Assessment of gas resources in zones of possible hydrate formation. *Sovetskaya geologiya*, 8, pp. 26–29. (In Russ.)

Barkan E.S., Bezrukov V.M., Ginzburg G.D. et al. (1989). Unconventional Sources of Hydrocarbon Raw Materials. Edited by V.P. Yakutseni. Moscow: Nedra, 223 p. (In Russ.)

Basniev K.S., Sukhonosenko A.L. (2010). Prospects for Development of Gas Hydrate Deposits. *Gazovaya promyshlennost*, 1(641), pp. 22–23. (In Russ.) EDN: KZDXOJ

Baulin V.V. (1985). Permafrost Rocks of Oil and Gas Bearing Regions of the USSR. Moscow: Nedra, 176 p. (In Russ.)

Cherskiy N.V. et al. (1983). Research and forecasting of conditions for the accumulation of gas resources in gas hydrate deposits. Yakutsk: Yakutskiy filial SO AN SSSR, 156 p. (In Russ.)

Cherskiy N.V., Nikitin S.P. (1987). Study of gas content of hydrate formation zones of the USSR. Yakutsk, 176 p. (In Russ.)

Geocryology of the USSR. Western Siberia (1989). Ed. E.D. Ershov. Moscow: Nedra, 454 p. (In Russ.)

Geothermal atlas of Siberia and the Far East (2012). INGG SO RAN. (In Russ.)

Ginsburg G.D., Soloviev V.A. (1990). Geological models of gas hydrate formation. *Lithology and Mineral Resources*, 2, pp. 76–87. (In Russ.) EDN: BEZURY

Gudzenko V.T., Varenichev A.A., Gromova M.P. (2016). Gas hydrates. Information and analytical review. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 5, pp. 39–68. (In Russ.) EDN: VWNVXH

Devyatkin V.N. (1993). Heat flow of the cryolithozone of Siberia. Novosibirsk: Nauka, 165 p. (In Russ.)

Duchkov A.D., Kurchikov A.R., Lysak S.V., Balobaev V.T. et al. (1987). Thermal field of the earth's crust of Siberia. Novosibirsk: Nauka, 196 s. (In Russ.)

Irbe N.A. (1974). Features of interpretation of geophysical data in the low-temperature section of Western Siberia at the stage of prospecting and exploration works. *Issues of geology and drilling of wells in the zone of frozen rocks at oil and gas fields of Western Siberia*, is. 65, pp. 98–120. (In Russ.)

- Istomin V.A., Yakushev V.S. (1992). Gas hydrates in natural conditions. Moscow: Nedra, 236 p. (In Russ.) EDN: YSOMOR
- Kurchikov A.R. (1984). Assessment of the possibility of searching for natural gas hydrate deposits based on geothermal data. *ZapSibNIGNI*, is. 191, pp. 65–76. (In Russ.)
- Kurchikov A.R., Agalakov S.E. (2004). Thickness of permafrost rocks and geothermal regime of the upper part of the section of the North of Western Siberia. *Gornye vedomosti*, 4, pp. 21–37. (In Russ.)
- Leonov S.A. (2010). Prospects for hydrate content of the upper Cenomanian deposits in the north of Western Siberia. Abstract Cand. geol. and min. sci. diss. Moscow, 24 p. (In Russ.) EDN: QEPEXH
- Makogon Yu.F. (1985). Gas hydrates, prevention of their formation and use. Moscow: Nedra, 231 p. (In Russ.)
- Nenakhov V.A. (1982). Study of the features of gas hydrate field development in order to increase gas recovery. Abstract Cand. geol. and min. sci. diss. Moscow, 20 p. (In Russ.)
- Nikitin S.P., Tsarev V.P., Cherskiy N.V. (1982). Recommendations for taking into account the influence of the gas hydrate process on the assessment of gas potential in Western Siberia. Yakutsk, 30 p. (In Russ.)
- Ostryy G.B. (1969). Methodology for identifying frozen rocks in a section. *Issues of geology and drilling and production in the frozen rock zone at oil and gas fields in Western Siberia*, is. 18. (In Russ.)
- Perlova E.V., Leonov S.A., Khabibullin D.Ya. (2017). Priority issues for the development of gas hydrate deposits in Russia. *Problems of resource provision of gas producing regions of Russia*. Moscow: Gazprom VNIIGAZ, pp. 224–228. (In Russ.) EDN: ZIWHED
- Perlova E.V. (2018). Preparation of hydrate gas resources for the development of the mineral resource base of gas production of PJSC Gazprom. *Nauchno-tekhnicheskii sbornik Vesti gazovoy nauki*, 3(35), pp. 256–263. (In Russ.) EDN: MUVKAI
- Ponomarev G.V. (1960). Conditions for the formation of hydrates of natural and associated gases. Is. 2. Kuybyshev: NIINP, pp. 49–55. (In Russ.)
- Sukhonosenko A.L. (2013). Thermohydrodynamic modeling of gas hydrate deposit development processes. Abstract sci. diss. Moscow, 28 p. (In Russ.)
- Shits Yu.A. et al. (2021). Gas hydrates: a brief review of modern Russian research in 2015–2020. *Gazovaya promyshlennost*, 2(812), pp. 46–56. (In Russ.) EDN: VLUUKQ
- Trofimuk A.A., Makogon Yu.F., Tolkachev M.V. (1983). On the role of gas hydrates in the processes of hydrocarbon accumulation and the formation of their deposits. *Geologiya i geofizika*, 6, pp. 3–15. (In Russ.) EDN: PNJVIA
- Tsarev V.P. (1976). Features of formation, methods of prospecting and development of hydrocarbon accumulations in permafrost conditions. Yakutsk: Yakutskoe knizhnoe izdatel'stvo, 216 pp. (In Russ.)
- Vasiliev V.G., Makogon Yu.F., Trebin F.A., Trofimuk A.A., Cherskiy N.V. (1970). Properties of natural gases in the earth's crust in a solid state,

forming gas hydrate deposits. *Otkrytiya, izobreteniya i tovarnye znaki*, 10, pp. 3–5. (In Russ.)

Volodko B.V. (1979). On the possibility of determining the thickness of frozen terrigenous strata using the spontaneous polarization method. *Permafrost Engineering*. Novosibirsk: Nauka, 208 p. (In Russ.)

Yakutseni V.P. (2015). Gas hydrates - unconventional gas raw materials, their formation, properties, distribution and geological resources. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 10(4). (In Russ.) https://doi.org/10.17353/2070-5379/45_2015

Yakushev V.S. et al. (2014). Gas hydrates in the Arctic and the world ocean: features of occurrence and development prospects. Moscow: Nedra, 251 p. (In Russ.) EDN: VNKPSF

Yakushev V.S., Istomin V.A., Perlova E.V. (2007). Resources and prospects for the development of unconventional gas sources in Russia. Moscow: VNIIGAZ, 86 p. EDN: QKGWFP

About the Authors

Sergey E. Agalakov – Dr. Sci. (Geology and Mineralogy), Senior Expert, Expert-Analytical Department, Tyumen Petroleum Research Center

42 Maksim Gorky st., Tyumen, 625048, Russian Federation
e-mail: SEAgalakov@tnnc.rosneft.ru

Ksenia V. Salova – Chief Specialist, Geological Exploration Department of the North of Western Siberia, Tyumen Petroleum Research Center

42 Maksim Gorky st., Tyumen, 625048, Russian Federation
e-mail: kvsalova@tnnc.rosneft.ru

Yulia A. Sizko – Leading Specialist, Geological Exploration Department of the North of Western Siberia, Tyumen Petroleum Research Center

42 Maksim Gorky st., Tyumen, 625048, Russian Federation
e-mail: yasizko@tnnc.rosneft.ru

*Manuscript received 1 November 2024;
Accepted 26 May 2025; Published 20 September 2025*

© 2025 The Authors. This article is published in open access under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)