

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/268505770>

# Natural gas in permafrost of northern canada and russia: Genesis and forms of existence

Conference Paper · June 2001

---

CITATION

1

---

READS

4

3 authors, including:



[Evgeny Chuvilin](#)

Lomonosov Moscow State University

173 PUBLICATIONS 371 CITATIONS

SEE PROFILE



**МАТЕРИАЛЫ  
Второй  
конференции геокриологов России**

**МГУ им. М.В. Ломоносова**

**6 - 8 июня 2001 г.**

**ТОМ 3**

*Региональная и историческая геокриология*

**Издательство Московского университета**

**2001**

оценивается в 5,63 - 15,120 куб. км, что соответствует 2-4 см уровня моря. Реальное содержание грунтового льда колеблется от 10,800 до 35,460 куб. км, что соответствует 2,7-8,8 см уровня моря.

Наземные измерения указывают, что грунты на глубине 5 см промерзают в течение 2-3 недель при среднемесячной температуре воздуха равной 0°C или близкой к ней. Грунты на глубине 5 см испытывают циклы промерзания/оттаивания, даже если среднемесячная температура воздуха составляет 10°C. Распространение сезонно-мерзлых грунтов с циклом промерзания/оттаивания более 2-х недель определяется среднемесячной температурой воздуха равной 0°C. Область среднемесячной температуры воздуха между 0°C и 10°C указывает потенциальный цикл промерзания/оттаивания, составлений менее, чем две недели. Максимальное распространение сезонно-мерзлых грунтов, определенное как изотерма 0°C средней температуры воздуха в январе, составляет около 55 млн. кв. км или 55% от общей поверхности земли. Вообще, граница промерзания/оттаивания проходит несколько южнее, чем распространение снежного покрова в Северной Америке и Европе, в то время как распространение снежного покрова отступает дальше на север в Азии из-за воздействия климатического режима муссонов.

Время от времени, граница промерзания/оттаивания смешается южнее распространения снежного покрова осенью. Во время весеннего таяния снегов продвижение южной границы снежного покрова на север отстает от нулевой изотермы. Среднегодовые изменения и изменения, происходящие каждые десять лет, в сезонно-мерзлых грунтах и распространении снежного покрова рассматриваются на уровне региона и уровне полушария.

Продолжительность по времени и распространение поверхностного промерзания/оттаивания грунта были исследованы с применением данных специализированного микроволнового датчика (SSM/I), данных наземных измерений и цифровым моделированием для северного полушария. Граница промерзания/оттаивания обычно находится в соответствии с изотермой 0°C температуры воздуха. Промерзание поверхностного слоя грунта начинается в сентябре-октябре в районах высоких широт/больших высот, а в декабре или даже январе - в районах более средних широт.

Последний день поверхностного промерзания грунта относится к февралю или марту в районах средних широт и к мая-июню в районах высоких широт/больших высот. Эти результаты показывают, что длительность про-

мерзания поверхностного слоя грунта изменяется от нескольких недель до нескольких месяцев. Количество дней, когда поверхностный слой грунта проходит циклы промерзания/оттаивания колеблется от нескольких дней до пяти месяцев и более. Обычно поверхностный слой промерзает до того, как снег покрывает поверхность.

Однако, мерзлый грунт может быстро исчезнуть после установления постоянного снежного покрова, особенно в области средних широт. В период с 1988 г. по 1999 г. более 50% поверхности земли в северном полушарии либо было покрыто снегом, либо проходили циклы промерзания/оттаивания. Долговременное (1988-1999 г.г.) изучение снежного покрова и распространения мерзлых грунтов и их зависимость от климатических условий также будет рассмотрена в данной публикации.

Scott R. Dallimore\*, Eugene M. Chuvpilo\*\*, Vladimir S. Yakushev\*\*\*

(\*Geological Survey of Canada, P.O. Box 6000, Sidney, British Columbia, Canada  
\*\*Department of Geology, Moscow State University, \*\*\*Газпром, VNIIGAZ, Russia)

#### NATURAL GAS IN PERMAFROST OF NORTHERN CANADA AND RUSSIA: GENESIS AND FORMS OF EXISTENCE

The occurrence of methane and other hydrocarbon gases in association with permafrost is of concern from a drilling safety point of view, as a possible natural source of greenhouse gas to the atmosphere affecting global climate change, and as a possible small-scale gas supply for remote Arctic communities. Researchers from the Geological Survey of Canada, Moscow State University and VNIIGAZ have a long history of field, laboratory and theoretical investigations of permafrost. Recently these institutes have begun a collaboration to investigate the issue of natural gas within areas of continuous permafrost. This research includes investigations of anecdotal observations from local inhabitants and documented shallow gas occurrences encountered during the course of exploration hydrocarbon and geotechnical drilling. Field studies have been done in Mackenzie Delta and northwest Siberia (Fig. 1). Fundamental laboratory research is also being conducted under controlled temperature and pressure conditions, and dedicated field programs have been carried out to collect gas samples and characterize in situ geothermal and porous media conditions.

In a permafrost setting, both free gas and gas dissolved in the available pore water can occur within the sediment pore spaces. Dependent on the formation pres-

sure and temperature conditions, and also on the history of permafrost development in the region, solid methane hydrate may also occur as an additional component. The proportions of these various phases are controlled by the geochemistry of the pore waters, the physicochemical properties of the porous media, the in situ temperature and pressure conditions, and the history of changes in these conditions over time. For the gas phase a key consideration is the source of the gas, be it biogenic gas formed in situ from active microbiological communities, locally derived biogenic gas transported or concentrated through geologic processes, or deeper generated thermogenic gas. Aspects related to permafrost properties including the effective permeability (i.e. the permeability to gas and liquid) are especially important. In general well ice-bonded, cold permafrost with little unfrozen water and reduced effective permeability to gas/fluid flow can be expected to have a low reservoir capacity for free gas. In comparison, warm permafrost with saline pore water may have similar reservoir characteristics to that for unfrozen sediments.

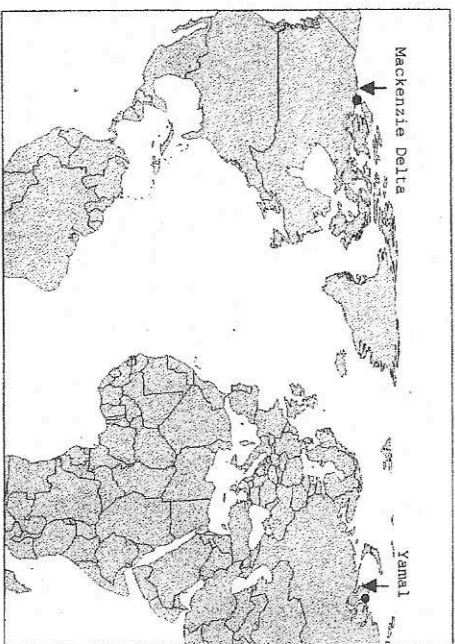


Figure 1. Locations of field studies of intrapermafrost gas accumulations in Canada (Mackenzie Delta) and in Russia (Yamal peninsula, North of West Siberia).

Documented accounts of free gas associated with permafrost in the Mackenzie Delta are mainly related to talik zones. Observations of surface gas discharges are typically associated with taliks beneath water bodies where both perennial and episodic gas seeps have been described as open water boils, gas spouts and holes or thin ice conditions during the winter (kushkas). Case histories from the Niglingtak and Taglu gas fields, as well as several offshore fields, document free gas

associated with laterally continuous intrapermafrost taliks (Todd and Dallimore, 1999). In these cases local geopressure anomalies have been observed with some overpressured zones. Similar shallow gas occurrences associated with taliks have also been documented in the Yamal Peninsula area of northwest Siberia (Yakushev and Chuvilin 2000, Chuvilin et al. 2001). However, in some areas gas flows have been observed within ice-bonded sections. Monitoring drilling and coring of permafrost and sub-permafrost interval in the south part of Bovenenkovovo gas field carried out by Krios Company Ltd. In 1994-1997, was accompanied by a series of gas blowouts from the permafrost interval. Most of the gas releases were documented at depth 60-80 m. In the Bovenenkovovo area Quaternary ice-bonded silty marine sediments with thin sand layers are found at these depths. Sediments typically have high ice contents inferring low effective permeabilities and reduced reservoir capacity. Nevertheless some of gas lowouts flow rates reached 14 000 m<sup>3</sup>/d (Fig. 2). The magnitude and duration of these gas discharges can only be attributed to a large free gas occurrences existing within permafrost, where gas was accumulated and stored during permafrost development. Local geopressure anomalies caused by shallow intrapermafrost gas hydrates may also be a factor. Laboratory investigations of permafrost drill cores recovered from intervals close to gas-releasing zones have shown the probable existence of part of the gas in pore space in the form of relic hydrates – a metastable state which is caused by gas hydrate self-preservation phenomenon (Ershov et al., 1991). According to (Yakushev 1989) these hydrates could be formed during the course of frontal epigenetic freezing and gas concentration in relatively permeable, but geometrically closed lithological pockets. Visible intrapermafrost gas hydrates within ice bonded permafrost have been described by Dallimore and Collett (1995) at depths of 330-350m in the Mackenzie Delta. They also postulate the presence of self preserved gas hydrate at 119m (outside the normal methane hydrate pressure-temperature stability field) on the basis of high core headspace gas concentrations.

Geochemical analyses of gas from blowouts, and from gas inclusions in permafrost cores, suggest that gas occurring in ice bonded permafrost in the Mackenzie Delta and Yamal Peninsula is primarily from microbial sources (see table 1, 2, 3). Collett and Dallimore (1999) have suggested that in part, this may be because of the low effective permeability of ice bonded permafrost greatly reducing upward flux of deeper thermogenic gas. This seems to be the case at the Bovenenkovovo field where geochemical data indicate that a shallow gas-bearing reser-

voir situated only 400 m below the base of permafrost has a different origin (gen-  
 sis) from the permafrost gas. Methane in sub-permafrost gas-bearing reservoir is  
 thermogenic according to isotopic analyses (-44 - -48‰) and to C<sub>1</sub>/C<sub>2</sub>-C<sub>5</sub> ratio  
 (about 1000). Gas within permafrost is biogenic according to isotopic data (-70  
 90‰) and C<sub>1</sub>/C<sub>2</sub>-C<sub>5</sub> ratio (unlimited). Given the volume of gas flows released  
 within the permafrost interval at the Bovenankovo field it is seems that biogenic  
 gas can accumulate more efficiently than thermogenic gas in this environment.

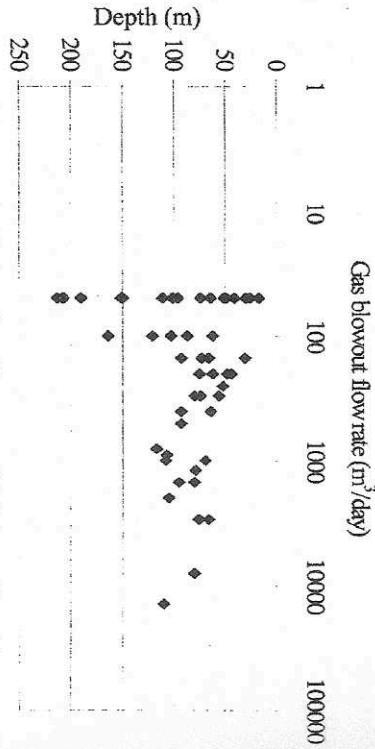


Figure 2. Distribution of gas blowouts and their intensities with permafrost depth at Bovenankovo gas field.

Gas composition in gas from 92GSGTAGLU corehole samples (Mackenzie Delta)

Depth (m)	Methane (ppm)	Ethane (ppm)	Propane (ppm)	C <sub>1</sub> /(C <sub>2</sub> +C <sub>3</sub> )
2.3	2287	6	2	286
3.8	128	6	2	16
6.1	1935	6	2	241
29.9	466	<1	<1	233
56.9	44042	1	1	22021
88.4	15719	3	<1	3929
119.4	30086	4	1	6017
136.2	5229	2	<1	1743
167.5	18401	3	<1	4600
195.8	18912	6	3	2101
225.7	9201	5	2	1314
262.4	11187	3	1	2796
296.7	17710	5	1	2950
326.9	34602	4	2	5766
354.3	*95000	24	1	>3800
386.3	59445	10	1	5404
413.8	14853	4	<1	2971

Table 1.

Table 2. <sup>13</sup>C content of methane gas released from permafrost interval in Bovenankovo gas field (data from 'Krios Ltd.')

Field name, well number	Interval of gas release (m)	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	ΣC <sub>2</sub> -C <sub>5</sub>	CO	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> /Σ(C <sub>2</sub> -C <sub>5</sub> )
1-P-1	28-33	99.82	0.09	0.02	-	-	-	0.07	∞
1-P-1	59-64	98.17	0.75	0.15	-	-	0.88	0.15	∞
1-P-2	38-44	87.66	6.36	0.34	-	0.08	4.06	1.5	1095
1-P-1	150-151	97.19	0.09	2.72	-	-	-	-	∞
1-P-1	119-123	98.02	1.90	0.08	-	-	-	-	∞
1-P-1	89-96	99.79	0.21	-	-	-	-	-	∞

Table 3.

Field name, well number	Age of deposits	Gas re-lease depth (m)	δ <sup>13</sup> C value (‰)
Mackenzie Delta Top of Gas Field 92GSGTAGLU	Neogene	57 119.4 167.5 326 354	-89.9 -78.8 -79.9 -78.0 -79.8 (data G.I.Tepinski, VNIIGAZ)
Yamal peninsula Bovenankovo:			
1-P-1	Qm <sub>3</sub>	28-33	-73.9
1-P-1	Qm <sub>2</sub>	59-64	-74.6
1-P-2	Qm <sub>2</sub>	38-44	-72.2
1-P-3	Qm <sub>2</sub>	62-69	-72.3
1-P-1	Qm <sub>2</sub>	63-70	-71.0
1-P-2	Qm <sub>2</sub>	114-120	-70.4

In the future, joint Canada-Russia investigations of shallow gas occurrences within permafrost are expected to include controlled laboratory investigations to quantify self preserved gas hydrate and free gas-gas hydrate relationships. Initial results of this joint study and comparison of data received in different areas of permafrost occurrence have shown following:

- Free gas accumulations in association with ice-bonded permafrost and talik zones occur frequently, in some cases in unexpectedly large volumes and at relatively shallow depths (20 - 200m). Given the shallow depth and the important controls of ice-bonding, it can be expected that permafrost degradation (or even warming) during periods of global climate change may release significant amounts of methane and other potent greenhouse gases to the atmosphere. These shallow

gas occurrences clearly represent a considerable hazard to drilling and hydrocarbon development activities in permafrost areas and should be carefully considered during project planning for field work. Precautions such as use of cold circulating fluids and reduction of ignition sources during drilling should be mandatory. Shallow permafrost casing should be considered in problematic areas.

2. Gas hydrates can exist within hydrate-stability zone within the permafrost interval (usually below 250 m depth) and in the form of relic hydrates which were likely formed in the past and now exist due to self-preservation phenomenon at depths 20-200 m. These relic gas hydrates may be uniquely associated with free gas occurrences in ice boded permafrost although their physical and chemical associations are not well constrained. Because of their shallow depth and their metastable condition self preserved gas hydrates are very susceptible to dissociation as a consequence of global climate warming.

3. Gas geochemistry studies suggest ice-bonded permafrost contains mainly biogenic gas and is an effective barrier to deeper migrating thermogenic gas even when conventional gas reservoirs are only a few hundred meters beneath the base of permafrost. In contrast because taliks have higher effective permeabilities they may be efficient conduits for migration of deeper thermogenic gas. The microbiology of ice-bonded permafrost and its capacity to generate biogenic gas *in situ* or during permafrost aggradation requires more study.

#### REFERENCES

1. Chuvpilin E.M., Yakushev V.S., Penlova E.V. 2001. Gas and possible gas hydrate in the permafrost of Bovamsenkovo gas field, Yamal peninsula, West Siberia. Polarforschung 68, (in press).
2. Collett, T.S. and Dallimore, S.R. 1999. Hydrocarbon gases associated with permafrost in the Mackenzie Delta, N.W.T., Canada. Applied Geochemistry, Volume 14, pp. 607-620.
3. Dallimore, S.R. and Collett, T.S. 1995. Intrapermafrost gas hydrates from a deep core hole in the Mackenzie Delta, Northwest Territories, Canada. Geology, 23, 527-530.
4. Ershov, E.D.; Lebedenko, Yu.P.; Chuvpilin, E.M.; Istomin, V.A.; Yakushev, V.S. 1991. Peculiarities of Gas Hydrate Existents in the Permafrost Zone. Doklady Akademii Nauk S.S.S.R, 321, № 4, 788-791, (in Russian).
5. Yakushev V.S. 1989. Gas hydrates in cryolithozone. Sov. Geol. Geophys. № 1, 100-105 (in Russian).
6. Yakushev V.S. and Chuvpilin E.M. 2000. Natural gas and gas hydrate accumulations within permafrost in Russia. Cold Regions Science and Technology 31, 189-197.

S.P. Dalimov\*, E.M. Chuvpilin\*\*, V.S. Yakushev\*\*\*  
(\*Геологическая служба Канады, P.O. Box 6000, Sidney, British Columbia, Канада;  
\*\*Кафедра геобиологии, Московский государственный университет, Россия;  
\*\*\*Газпром, ВНИИГАЗ, Россия)

### ПРИРОДНЫЙ ГАЗ В ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЕ СЕВЕРНОЙ КАНАДЫ И РОССИИ: ГЕНЕЗИС И ФОРМЫ СУЩЕСТВОВАНИЯ

Заглатание метана и других газообразных углеводородов в вечной мерзлоте обращает на себя внимание с точки зрения безопасности буровых работ, как возможный природный источник эмиссии тепличного газа в атмосферу, влияющий на глобальное изменение климата, а также как потенциальный маломасштабный резервуар природного газа для удаленных арктических поселений. Исследователи из Геологической службы Канады, Московского государственного университета и ВНИИГАЗ имеют богатый и долговременный опыт полевых, лабораторных и теоретических исследований изучения вечной мерзлоты. В последнее время эти научные учреждения начали сотрудничество во по исследованию проблемы природного газа в районах непрерывного распространения вечной мерзлоты. Эти исследования включают проверку невырожденных наблюдений местных жителей и изучение документации по залежкам природного газа на небольших глубинах, открытым во время бурения по разведке углеводородов и геотехнического бурения. Полевые исследования были проведены в дельте р. Маккензи и в северо-западной Сибири (Рис. 1). Наряду с этим проводятся фундаментальные лабораторные исследования в условиях контроля температуры и давления и осуществляются специальные программы по отбору проб газа и характеристике геотермических условий и пористых сред *in situ*.

В мерзлотном окружении, как свободный газ, так и газ, растворенный в имеющейся поровой воде, могут находиться внутри порового пространства осадков. В зависимости от формирования температурных условий и давления, а также истории развития вечной мерзлоты в этих регионах, твердый метан гидрат может также присутствовать в качестве дополнительного компонента. Соотношение таких разных фаз определяется геохимией поровых вод, физико-химическими свойствами пористых сред, условиями температуры и давления *in situ*, а также историей изменений этих условий во времени. Для газовой фазы ключевым моментом является природа источника газа: биогенный газ, образованный *in situ* активными микробными сообществами; локально про-