

5. Романовский В.Е., Остеркамп Т.Е. Система мерзлотного мониторинга на Аляске (структура и результаты) // Криосфера Земли, 2001, Т. V, № 4, с. 59-68.
6. Скачков Ю.Б. Реакция криолитозоны Центральной Якутии на современное изменение климата // Материалы Международной научной конф. (Иркутск, 17-21 сент. 2012 г.), Иркутск, Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2012, Т. 1, с. 236-238.
7. Скачков Ю.Б., Скрябин П.Н., Варламов С.П. Изменения температуры грунтов слоя годовых теплооборотов на якутском теплобалансовом стационаре за последние сорок лет. Материалы IX Международного симпозиума «Проблемы инженерного мерзлотоведения» (Мирный, 3-7 сентября 2011 г.), Якутск, ИМЗ СО РАН, 2011, с. 444-449.
8. Скрябин П.Н., Скачков Ю.Б., Варламов С.П. Мониторинговые исследования температурного режима грунтов в Центральной Якутии // География и природные ресурсы. – Новосибирск: Наука, 1998, № 2, с. 49-55.
9. Скрябин П.Н., Скачков Ю.Б., Варламов С.П. Потепление климата и изменение термического состояния грунтов в Центральной Якутии // Криосфера Земли. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГТМ СО РАН, 1999, т. 3, № 3, с. 32-40.
10. «Спасская падь»: комплексные исследования мерзлотных ландшафтов / А.Н.Федоров, Т.Х.Максимов, П.П.Гаврильев и др. Якутск: ИМЗ СО РАН, 2006, 210 с.
11. Romanovsky V.E., Drozdov D.S., Oberman N.G., Malkova G.V., Kholodov A.L., Marchenko S.S., Moskalenko N.G., Sergeev D.O., Ukrainseva N.G., Abramov A.A., Gilichinsky D.A., Vasiliev A.A. Thermal state of permafrost in Russia // Permafrost and Periglacial Processes, 2010, 21, p. 136-155.
12. Smith T., Burgess V.V., Riseborough D., Nixon F.M. Recent trends from Canadian permafrost thermal monitoring network sites // Permafrost and Periglacial Processes, 2005, No 16, p. 19-30.
13. Zhang T., Osterkamp T. Changing climate and permafrost temperatures in the Alaskan Arctic // Permafrost: Proc.of the 5th Intern. Conf. Beijing, China, South China Univ. of Technol Press, 1993, vol. 1, p. 783-788.

## **ДИНАМИКА СУБАКВАЛЬНОЙ МЕРЗЛОТЫ КАРСКОГО МОРЯ В МЕНЯЮЩИХСЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

**А.А. Васильев<sup>1</sup>, И.Д. Стрелецкая<sup>2</sup>, Г.Е. Облогов<sup>1</sup>, Р.С. Широков<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия; [al.a.vasiliev@gmail.com](mailto:al.a.vasiliev@gmail.com)

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия; [irinastrelets@gmail.com](mailto:irinastrelets@gmail.com)

Представлены результаты изучения распространения, условий залегания и динамики субаквальной мерзлоты в Карском море. Шельф Карского моря представлен четвертичными отложениями морского генезиса. Температура замерзания отложений зависит от степени засоления и меняется в пределах  $-0,5 \div -1,5$  °С. Субаквальная мерзлота в Карском море имеет прерывистый и островной характер. Возрастание придонной температуры вызывает понижение кровли мерзлоты со скоростью 1,5 – 2,5 см в год.

### **SUBMARINE PERMAFROST DYNAMICS IN KARA SEA UNDER CLIMATE CHANGE**

**A.A. Vasiliev<sup>1</sup>, I.D. Streletskaia<sup>2</sup>, G.E. Oblogov<sup>1</sup>, R.S. Shirokov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Earth Cryosphere Institute SB RAS, Tyumen, Russia; [al.a.vasiliev@gmail.com](mailto:al.a.vasiliev@gmail.com)

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Department of Geography, Moscow, Russia; [irinastrelets@gmail.com](mailto:irinastrelets@gmail.com)

This paper presents results of Submarine Permafrost studies including space distribution and Dynamics. The shelf of the Kara Sea is represented by the Quaternary sediments of marine genesis. The freezing temperature of sediments is dependent on salinity and changes in the range  $-0,5 \div -1,5$  °C. The increase in near-bottom temperature causes a lowering of the Permafrost Table Position at a rate of 1.5 – 2.5 cm per year.

Распространение и строение субаквальных многолетнемерзлых пород (СММП) на шельфе Карского моря изучено недостаточно. Основные представления получены на базе результатов инженерно-геологического бурения [4, 5] в прибрежных районах.

Несмотря на наличие ряда публикаций, достоверные границы распространения и условия залегания СММП до сих пор не установлены из-за отсутствия достаточной прямой геологической информации [2]. Поэтому на большинстве геокриологических карт границы распространения СММП проведены на основе экспертных оценок, а сами оценки применимы только к картам мелкого масштаба.

Ранее было установлено, что субаквальная мерзлота в Карском море представлена прерывистым и островным типами. Размер массивов твердомерзлых пород составляет 100-500м, между ними располагаются отрицательно температурные (охлажденные) породы [3]. Данных о мощности субаквальных мерзлых пород очень мало. Тем не менее, можно говорить, что в подавляющем большинстве на шельфе Карского моря распространены реликтовые мерзлые породы, сформировавшиеся в сартанское время.

После начала фландрской трансгрессии мерзлые породы были затоплены, их температура повысилась до температуры фазовых переходов, и началось их протаивание сверху и снизу. Мощность реликтовых субаквальных мерзлых пород составляет 10-60м. Так же были обнаружены штокообразные массивы мерзлых пород мощностью более 100м. Их формирование объясняется промерзанием охлажденных пород при струйной дегазации метана из-под мерзлой толщи [2]. Температура таких мерзлых штоков также близка к температуре фазовых переходов.

Субаквальная мерзлота Карского моря представлена седиментационно засоленными позднечетвертичными морскими отложениями песчаного и глинистого состава. Засоленность четвертичных отложений изменяется от 0,1 до 2,0%. В зависимости от засоленности температура фазовых переходов меняется от 0 до -4 °С. Были собраны и проанализированы все данные о зависимости температуры фазовых переходов от исходной засоленности пород. Результаты приведены на рис. 1. В качестве первого приближения использована линейная аппроксимация.

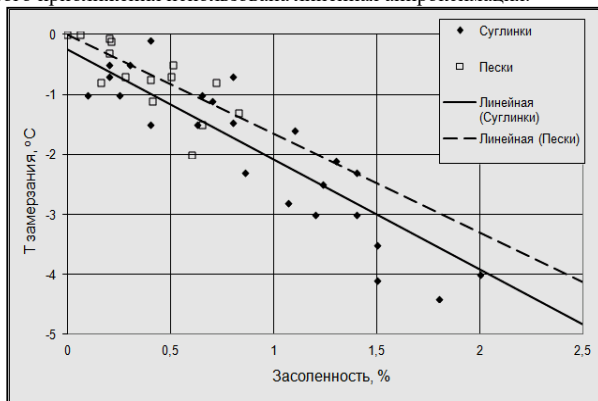


Рис. 1. Зависимость температуры фазовых переходов в породах на шельфе Карского моря от засоленности.

Как следует из рисунка, при одной и той же температуре, в зависимости от состава и засоленности породы могут находиться как в твердомерзлом, так и в

охлажденном состоянии. По нашему мнению, это и является основной причиной одновременного существования твердомерзлых и охлажденных пород в одном массиве при одинаковой температуре.

В условиях нехватки прямой геологической информации для поисков массивов твердомерзлых многолетнемерзлых пород используются высокоразрешающие сейсмоакустические методы. Современное развитие аппаратной, программной и методической базы позволяет использовать результаты интерпретации сейсмических данных, как самостоятельный источник геологической информации. Использование методики сейсмофациального анализа позволяет извлекать из сейсмического волнового поля информацию о внутреннем геологическом строении изучаемых толщ до глубины 60-70 м, в т.ч. наличие в разрезе многолетнемерзлых пород [6].

В результате интерпретации более 200 тыс. погонных км. сейсмоакустических профилей установлено множество участков уверенного прослеживания сейсмоакустических маркеров мерзлых пород, а также области предполагаемого их развития, что позволило составить ГИС-ориентированную карту распространения субаквальных твердомерзлых пород (рис. 2). Наиболее уверенно сейсмоакустические маркеры субаквальных мерзлых пород фиксируются в широкой прибрежной полосе южной части Карского моря и западной части Ямальского шельфа. Неуверенно подобные маркеры зафиксированы в пределах локальных поднятий центральной и северо-восточной частей шельфа. Главным фактором, контролирующим распространение субаквальной криолитозоны, является современная глубина морского бассейна.

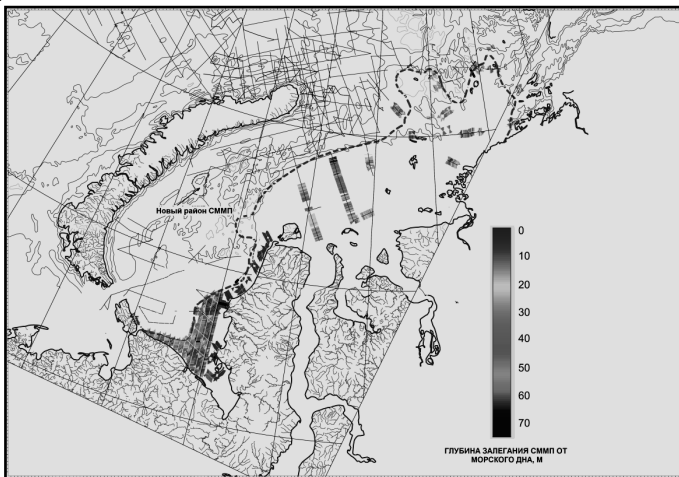


Рис. 2. Распространение субаквальных мерзлых пород на шельфе Карского моря. Прерывистая линия – область распространения твердомерзлых субаквальных пород.

Субаквальные многолетнемерзлые породы установлены на глубинах моря менее 105м, что примерно соответствует величине отступления моря при сартанской регрессии.

Кровля СММП залегает на глубине 5-60 м ниже поверхности морского дна. Статистическая обработка данных показала, что встречаемость глубин залегания кровли СММП, по крайней мере, в юго-западной части Карского моря и на Ямальском

шельфе близка к нормальному закону распределения. При этом максимум встречаемости в 47% приходится на глубину залегания кровли СММП 10-20 м от поверхности дна.

Температурный режим субаквальных многолетнемерзлых пород Карского моря изучен даже хуже, чем их пространственное распространение. Имеются разовые измерения в отдельных скважинах. В районе Марре-Сале были проведены мониторинговые измерения в скважинах, расположенных на границе твердомерзлого и охлажденного массивов, на расстоянии около 900 м от береговой линии [1].

Анализ имеющихся фактических данных с учетом представлений о квазиравновесном термическом состоянии подводной мерзлоты показал, что наблюдаются два типа распределения температуры мерзлых пород по глубине (рис. 3).

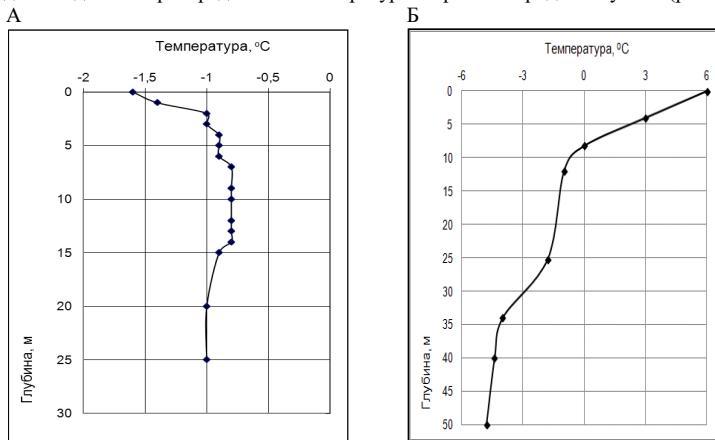


Рис. 3. Типичные распределения температуры субаквальных мерзлых пород Карского моря. А – район Харасовея, Б – район к северо-востоку от Ямала.

Как видно из рисунка, первый тип характеризуется безградиентным распределением температуры по глубине, близкой к температуре фазовых переходов. Средняя температура мерзлых пород в районе Харасовея составляет 0,8-1,0 °C (рис. 3А). Можно считать такое распределение температуры характерным для квазиравновесных мерзлых толщ.

Другой тип температурных кривых с обратным градиентом присущ быстро протаивающим массивам субаквальных засоленных мерзлых толщ (рис. 3Б). К северо-востоку от Ямала твердомерзлые породы залегают только с глубины 18 м (от поверхности морского дна), до этой глубины они находятся в охлажденном состоянии. Термический режим характеризуется постоянным понижением температуры с глубиной. Можно предположить, что зона фазовых переходов расположена на глубине 12-18 м., а температура фазовых переходов составляет  $-1 \div -1,8$  °C. Похожее распределение температур получено В.А. Дубровиным для района Марре-Сале [1].

Особый интерес представляет оценка динамики субаквальной мерзлоты в связи с изменением климата. Наши данные по температуре придонного слоя воды в Карском море за последние 100 лет показывают ее повышение от 0,3 °C (к востоку от Новой Земли) до 2,4 °C (южная часть Байдарацкой губы). Математическое моделирование

показало, что в этом случае понижение кровли подводной мерзлоты происходит со скоростью до 2,5 см в год.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, грант 16-05-00612.

#### Литература

1. Дубровин В.А., Крицук Л.Н., Полякова Е.И. Температура, состав и возраст отложенных шельфа Карского моря в районе геокриологического стационара Марре-Сале // Криосфера Земли, 2015, Том XIX, № 4, с.3-16.
2. Мельников В.П. и Спесивцев В.И. Инженерно-геологические и геокриологические условия шельфа Баренцева и Карского морей. Новосибирск, Наука, 1995, 198 с.
3. Рекант П.В., Васильев А.А. Распространение субаквальных многолетнемерзлых пород в Карском море // Криосфера Земли, 2011, Том XV, № 4, с.72-75.
4. Рокос С.И., Костин Д.А., Длутач А.Г. Свободный газ и многолетняя мерзлота в осадках верхней части разреза мелководных районов шельфа Печорского и Карского морей / В сб. Седиментологические процессы и эволюция морских экосистем в условия океанического перегляциала, кн.1, Апатиты, КНЦ РАН, 2001, с. 40-51.
5. Рокос С.И., Тарасов Г.А. Газонасыщенные осадки губ и заливов южной части Карского моря // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода, № 67, 2007, с. 66-75.
6. Шлезингер А.Е. Региональная сейсмостратиграфия. М.: Научный мир, 1998, 379 с.

### КРИОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ ВДОЛЬ ТРАССЫ НЕФТЕПРОВОДА В УСЛОВИЯХ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ

**Б.Е. Воробьевский<sup>1</sup>, А.В. Григорьев<sup>1</sup>, В.А. Исаков<sup>2</sup>, О.В. Романюха<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ООО «Геострой», Москва, Россия

<sup>2</sup>Географический факультет, МГУ, Москва, Россия, *isakov@geostroy-mos.ru*

В работе рассматриваются криогенные процессы и вызванные ими явления, изученные при проведении инженерных изысканий вдоль трассы проектируемого нефтепровода на севере Большеземельской тундры. Выполнена типизация изученных криогенных явлений – полигонально-жилных структур, таликов и термоэрозийных оврагов – по геоморфологии, генезису и стадии развития. Даны рекомендации по предотвращению деградации массивов сильноталистых грунтов и развития термоэрозийных процессов.

### CRYOGENIC PROCESSES ALONG A PIPELINE ROUTE IN THE BOLSHEZEMELSKAYA TUNDRA

**B.E. Vorob'evskiy<sup>1</sup>, A.V. Grigor'ev<sup>1</sup>, V.A. Isakov<sup>2</sup>, O.V. Romanyuha<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>"Geostroy" Ltd, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

*isakov@geostroy-mos.ru*

The paper considers the cryogenic dynamics along the route of a pipeline currently being constructed in the northern part of the Bolshezemelskaya tundra. We classified the cryogenic processes and phenomena over there based on the genetic, geomorphologic, and a dynamic state of those. The list of the processes and the phenomena includes the ice wedges, taliks, and thermoerosional ravines. We also provide the recommendations on how to prevent the degradation of the ice rich permafrost and the propagation of thermoerosion.

**Введение.** Строительство в условиях криолитозоны, как правило, сопровождается неблагоприятными изменениями природной среды и активизацией