

ЦИРКУМАРКТИЧЕСКАЯ КАРТА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД И ГРУНТОВЫХ ЛЬДОВ (МАСШТАБ 1:10 000 000)

Е.С. Мельников, К.А. Кондратьева*

Институт криосферы Земли СО РАН, 625000, Тюмень, а/я 1230, Россия

** Московский государственный университет, геол. ф-т, 119899, Москва, Воробьевы горы, Россия*

В статье рассматривается легенда и содержание циркумарктической карты многолетнемерзлых пород и грунтовых льдов м-ба 1:10 000 000, составленной под эгидой Международной ассоциации по мерзлотоведению. Особое внимание уделено особенностям составления Российской и Монгольской частей этой карты— геосистемному подходу, использованию в качестве основы геокриологической карты СССР м-ба 1:2 500 000 млн, объяснению различий геокриологических условий отдельных стран и регионов.

Циркумарктическая карта многолетнемерзлых пород, геосистемный принцип, геокриологические условия России, Монголии, горных стран, Аляски и Канады

CIRCUM-ARCTIC MAP OF PERMAFROST AND GROUND ICE CONDITIONS, SCALE 1:10 000 000

E.S. Melnikov, K.A. Kondratieva*

Earth Cryosphere Institute SB RAS, 625000, Tyumen, 1230, Russia

** Moscow State University, Department of Geology, 119899, Moscow, Russia*

The legend and contents of Circum-arctic map of permafrost and ground ice conditions, scale 1:10 000 000 compiled under aegis of International Permafrost Association is considered. The special attention is given to features of drawing up of Russian and Mongolian parts of this map, and use of: (a) geosystem approach; (b) of Permafrost map of the USSR, scale 1:2 500 000 as a base map, (c) explanation of distinctions in geocryological conditions of separate countries and regions.

Circum-Arctic Permafrost map, geosystem principle, geocryological conditions of Russia, Mongolia, mountainous regions, Alaska and Canada

Циркумпольярная карта многолетнемерзлых пород и грунтовых льдов Северного полушария Земли м-ба 1:10 000 000, изданная в 1997 г. Геологической службой США (на англ.яз.), составлена специалистами-геокриологами государств евроазиатского и североамериканского континентов*. Карта, охватывающая криолитозону Северного полушария, в таком крупном масштабе составлена впервые и имеет большое научное значение как с позиций общей оценки масштаба наземного и подземного оледенения на современном этапе развития Земли, так и с позиций сравнительной оценки природных условий и общеэкологических перспектив стран северных континентов.

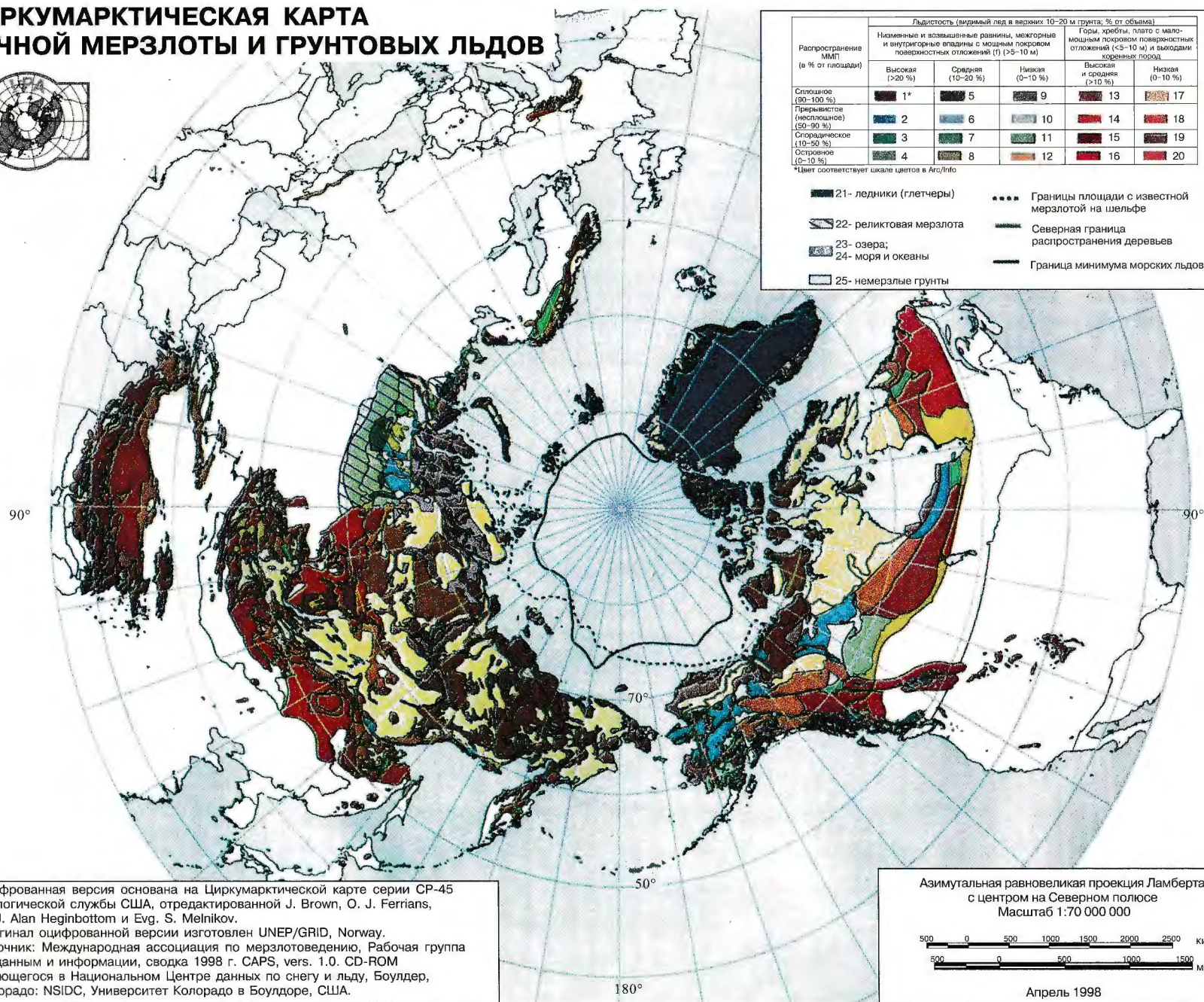
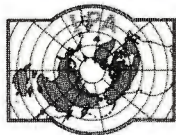
В основу составления карты была положена легенда, разработанная Международной Ассоциацией мерзлотоведов при Циркумтихоокеанском Совете по энергетическим и минеральным ресурсам [Heginbottom et al., 1993]. В ней было предусмотрено отображение таких геокриологических характеристик, как: 1) цветом — распространение по площади многолетнемерзлых пород (ММП), подразделяемых на два крупных класса

(литифицированных плотных и нелитифицированных рыхлых), и содержание в них льда; 2) значковым и цифровым способом — среднегодовая температура ММП, мощность криолитозоны, распространение ледяных жил, пластовых залежей льда и льда в буграх пучения, а также (только для России) литогенной основы (по преобладающему составу пород), наледей и криопэгов (в приповерхностном слое пород). Буквенный код в каждом контуре карты (и в клетках первого раздела легенды) позволяет определить, к какому классу распространения ММП и содержания грунтового льда относится данный контур карты.

Перечень характеристик, отображение которых предусмотрено легендой Циркумпольярной карты, как бы близок к перечисленному для Геокриологической карты СССР масштаба 1:2 500 000 [1997]. Однако действительное содержание и методы его отображения на обеих картах существенно различны. Это объясняется как более мелким (в 4 раза) масштабом Циркумпольярной карты, слабой изученностью многих территорий криолитозоны, так и существенным

* В составлении российской части карты кроме авторов статьи принимали участие Г.Ф. Гравис, Л.А. Конченко, Л.Н. Крицук и С.Ф. Хруцкий.

ЦИРКУМАРКТИЧЕСКАЯ КАРТА ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ И ГРУНТОВЫХ ЛЬДОВ



Распространение ММП (в % от площади)	Льдистость (видимый лед в верхних 10-20 м грунта; % от объема)				
	Низменные и возвышенные равнины, межгорные и внутригорные впадины с мощным покровом поверхностных отложений (t) (>5-10 м)			Горы, хребты, плато с мало-мощным покровом поверхностных отложений (<5-10 м) и выходы коренных пород	
	Высокая (>20 %)	Средняя (10-20 %)	Низкая (0-10 %)	Высокая и средняя (>10 %)	Низкая (0-10 %)
Сплошное (90-100 %)	1*	5	9	13	17
Переувлажнение (несплошное) (50-90 %)	2	6	10	14	18
Спорадическое (10-50 %)	3	7	11	15	19
Островное (0-10 %)	4	8	12	16	20

*Цвет соответствует шкале цветов в Arc/Info

- 21- ледники (глетчеры)
- 22- реликтовая мерзлота
- 23- озера;
- 24- моря и океаны
- 25- немерзлые грунты
- Границы площади с известной мерзлотой на шельфе
- Северная граница распространения деревьев
- Граница минимума морских льдов

Оцифрованная версия основана на Циркумарктической карте серии CP-45 Геологической службы США, отредактированной J. Brown, O. J. Ferrans, Jr. J. Alan Heginbottom и Evg. S. Melnikov. Оригинал оцифрованной версии изготовлен UNEP/GRID, Norway. Источник: Международная ассоциация по мерзлотоведению, Рабочая группа по данным и информации, сводка 1998 г. CAPS, vers. 1.0. CD-ROM имеющегося в Национальном Центре данных по снегу и льду, Боулдер, Колорадо: NSIDC, Университет Колорадо в Боулдоре, США.

Азимутальная равновеликая проекция Ламберта
с центром на Северном полюсе
Масштаб 1:70 000 000

500 0 500 1000 1500 2000 2500 километр
500 0 500 1000 1500 мили

Апрель 1998

отличием методик мерзлотных исследований и картографирования.

Так, изучение ММП в большинстве северных стран с циркумарктической криолитозоной обычно ограничено лишь пределами экономически целесообразных участков, достаточными для решения конкретной задачи освоения территории. В этом случае криолитозона изучается в основном только локально, что недостаточно для обоснованной экстраполяции мерзлотных характеристик на смежные территории. В горных странах, где ММП занимают лишь самые вершины гор, изученность их еще более мала, а часто неизвестен даже ареал их распространения [Геокриология, 1989].

В России (до 1993 г. в СССР) изучение и картографирование криолитозоны было связано также с нуждами практики. Необходимость освоения северных территорий страны со сплошным распространением ММП привела к организации планомерных геокриологических исследований, их расширению и углублению, а в конечном итоге — к разработке методики геокриологических исследований. Главной задачей такой методики было изучение взаимосвязей геокриологических характеристик и мерзлотообразующих факторов природной среды, т. е. установление причинных взаимосвязей, позволяющих выявить и изучить происхождение и развитие ММП во времени и пространстве.

На этой основе был сформулирован геосистемный принцип геокриологического картографирования [Мельников, 1981, 1988; Ландшафты криолитозоны..., 1983], при котором каждый таксон иерархической лестницы природных геосистем каждого региона характеризуется своими геокриологическими особенностями.

В соответствии с работами И.С. Гудилина [1987] и А.Г. Исаченко [1985] на российской части карты выделены границы пяти морфогенетических групп ландшафтов (низменных равнин, высоких равнин, межгорных впадин и предгорий, плоскогорий и плато, гор), восьми генетических типов ландшафтов (морских и ледово-морских, озерных и аллювиальных, ледниковых и водно-ледниковых, аллювиальных, пролювиальных, делювиальных и солифлюкционных, эоловых, нерасчлененных и эрозионных).

В экспликациях к карте приведены таблицы распространения генетических типов ландшафтов по морфогенетическим группам, а также распространения морфогенетических групп ландшафтов по регионам и геокриологическим зонам и распространения тех или иных комплексов криогенных процессов (морозобойного трещинообразования и термокарста; термоэрозии; морозного пучения и термокарста; наледообразования; нивации; курумов, солифлюкции и оползания; термодеструкции).

Такой же подход был использован при составлении монгольской части карты.

Способы отображения перечисленного выше содержания на Циркумпольярной карте были приняты следующие.

Первый раздел легенды, посвященный распространению ММП и содержанию в них льда, является основным. Так, сами мерзлые породы отражены на карте двумя различными группами цвета в соответствии с двумя классами пород, различающихся содержанием льда и его количеством. Таковыми являются: 1) породы рыхлого осадочного чехла (нелитифицированные отложения) и 2) коренные породы уплотненные, трещиноватые (литифицированные). Рыхлые отложения мощностью более 5—10 м показаны на карте для низменностей и равнин, во внутри- и межгорных впадинах и в долинах крупных рек. Преимущественный тип пород по составу в верхнем 10—20-метровом слое (показан только для России) на карте дан буквенными индексами в виде преобладания глинисто-пылеватого, грубообломочного, песчаного и торфяного состава отложений, а также лессов и эоловых песков засоленных или незасоленных.

Литифицированные породы, слагающие горы, хребты, возвышенности и плато, показаны на карте до глубины 10—15 м и характеризуются маломощным (<5—10 м) слоем элювиальных и склоновых отложений и выходами на поверхность коренных пород. Особенности состава коренных пород по отношению к растворимости и размываемости показаны (только для России) буквенными индексами в мерзлотно-грунтовых контурах, выделенных на карте по типу распространения ММП и содержанию льда.

Распространение ММП по площади дано на карте в виде широтных зон и высотных поясов оттенками цвета своей цветовой группы в соответствии с площадью, занятой ММП. Контур на карте индексируется символами: „С“ — сплошное (90—100 % площади с ММП), „D“ — прерывистое (50—90 %), „S“ — спорадическое (в России — массивно-островное и островное) (10—50 %), „I“ — отдельные острова (в России — редкоостровное) (до 10 %). При этом площадь ММП в пределах каждой зоны в России определялась по участкам проведения средне- и мелко-масштабных исследований, репрезентативным для больших территорий, и является величиной достаточно обоснованной.

Содержание грунтового льда (видимое, в % от объема картируемого слоя пород) показано оттенками цвета высотно-широтной зоны распространения ММП. Так, в 10—20-метровом слое рыхлых отложений (в России в зависимости от состава пород и установленного полевыми исследованиями сингенетического или эпигенетического типа промерзания) показано низкое (0—10 %), среднее (10—20 %) и высокое (>20 %)

содержание льда (текстурообразующего, микро-, средне- и макрошпирового). В 5—10-метровом слое коренных пород видимое содержание льда показано как низкое (<10 %) и средне-высокое (>10 %). Крупные массы грунтового льда ледяные жилы и пластовые залежи льда показаны дополнительными значками-символами, указывающими на широкое или ограниченное их распространение в пределах мерзлотно-грунтовых контуров. Так же показан и лед в буграх пучения.

Распространение по площади мерзлых реликтовых пород плейстоценового криогенного возраста, захороненных под тальмами, показано на Циркумполярной карте только для России (через глубину залегания их кровли и подошвы по скважинам). Конкретные среднегодовые температуры пород (на глубине нулевых годовых амплитуд) и мощность ММП (пройденная или расчетная) показаны по опорным скважинам. Кроме того, для всех выделенных мерзлотно-грунтовых подразделений на карте указан диапазон среднегодовых температур пород. Для России среднегодовые температуры показаны более детально с учетом ландшафтной структуры, состава и льдистости пород.

На Циркумполярной карте отражено также распространение поверхностного льда в виде ледниковых покровов и разрозненных ледников, а для России еще и наледей крупных и гигантских размеров. Отражение ландшафтных особенностей по континентам дополняется показом северной границы леса, а в морях Северного Ледовитого океана — северной границей известной или предполагаемой криолитозоны.

К карте прилагаются схематические мерзлотные разрезы, на которых в той же цветовой гамме, что и на карте, показаны тип распространения мерзлых рыхлых или коренных пород, интервал среднегодовых температур подразделения (и подподразделения) зоны и буквенный код символами „С“, „D“, „S“ и „I“.

Таким образом, показ перечисленных характеристик и способы их отображения позволили отразить на карте разностороннюю информацию о геокриологических и гляциологических условиях континентов Северного полушария Земли. На карте видно, что преобладающее развитие циркумполярная криолитозона имеет на Евразийском континенте, где она прослеживается в юго-восточной части почти до 30° с.ш., в то время как на юго-востоке Североамериканского континента распространена лишь до 50° с.ш. Такое положение связано с тем, что, несмотря на широтное поступление к поверхности Земли тепла солнечной радиации, континентальные условия теплообмена на обоих материках имеют свои особенности. На Евразийском материке они связаны с преобладающим западным переносом теплых и влажных воздушных масс с Атлантики, проникающих через Европу на запад

азиатской части континента. Восточная его часть характеризуется континентальным типом теплообмена на протяжении всего плейстоцена, что неизбежно привело к широкому распространению мерзлых пород большой мощности.

В результате криолитозона в Западной Европе занимает только вершины высоких горных массивов и отдельных хребтов — альпийский тип ММП по А.П. Горбунову [1988]. Это горные массивы Сьерра-Невада, Пиренеи, Альпы, Карпаты и Скандинавские горы, характеризующиеся развитием групповых и отдельных ледников вершинного и склонового типов.

Наиболее изученной, как это видно по полноте и детальности отображения на Циркумполярной карте, является территория бывшего СССР, где криолитозона занимала более 49 %, а сейчас в России более 65 % ее площади. Детальность Циркумполярной карты на территории СССР непосредственно связана с использованием при ее составлении Геокриологической карты СССР масштаба 1 : 2 500 000 [Геокриологическая..., 1997]. В соответствии с нею орографические регионы и районы характеризуются своими природными и в том числе мерзлотными условиями, которые в обобщенном виде показаны в каждом мерзлотно-грунтовом подразделении Циркумполярной карты по описанной выше легенде. В соответствии с нею геолого-тектонические регионы и орографические районы территории России и сопредельных стран характеризуются своими ландшафтно-климатическими и геокриологическими условиями вследствие расположения территории в умеренных и высоких широтах, совместного влияния Северного Ледовитого океана и охвата восточной половины страны зимним Азиатским антициклоном. Поэтому мерзлотные особенности криолитозоны страны показаны на Циркумполярной карте для таких крупных регионов, как: 1) арктические острова в виде выходов коренных пород на Арктическом шельфе с широким развитием покровного и глетчерного оледенения и сплошным распространением ММП; 2) арктические приморские низменности с мощной толщей (80—100 м) сильнольдистых рыхлых отложений и систем мощных ледяных жил; 3) Европейский Север и Западная Сибирь с широтной зональностью распространения рыхлых мерзлых толщ различной льдистости, с наличием реликтовых мерзлых пород под современной талой толщей; 4) Среднесибирское плоскогорье на слабо- и среднельдистых коренных породах и равнины с рыхлыми сильнольдистыми отложениями со сплошным (на юге несплошным) распространением ММП; 5) горные районы юга бывшего СССР, Северо-Востока, Дальнего Востока и Чукотки с прерывистым и сплошным распространением коренных слабо- и среднельдистых мерзлых пород и межгорные впадины, долины крупных рек и

Приамурье со сплошным и несплошным распространением рыхлых ММП различной льдистости.

Существенной детальностью отражения ММП на Циркумпольярной карте характеризуется Монголия. Однако меньшая изученность, более южное ее положение и менее контрастные ММП, обуславливающие переход от мерзлых пород в горных массивах к талым породам высоких равнин и плоскогорий, способствовали большей схематичности отображения геокриологической обстановки.

На юго-востоке Евразии между 40 и 27° с.ш. развита криолитозона преимущественно альпийского типа, приуроченная как к высоким вершинам и хребтам (Малоазиатские нагорья, горные вершины и вулканы Кореи и Японских островов), так и широко распространенные субполярные ММП, занимающие высоко поднятые вершины и склоны гор, межгорные впадины и долины рек на Памире, Тянь-Шане, Гиндукуше, Куньлуне, Тибетском плато и Гималаях. Все эти территории, вследствие их ограниченной изученности, показаны на Циркумпольярной карте с неполной характеристикой ММП, предусмотренной в легенде.

Особенности криолитозоны Североамериканского континента отражены на карте в виде трех крупных геокриологических регионов: Аляски, северной части Канады и Гренландии. Формирование геокриологических условий на Аляске, занимающей северо-запад континента, обусловлено влиянием Северного Ледовитого океана, западного переноса тихоокеанских холодных воздушных масс в центральной ее части и теплых — в южной. На Циркумпольярной карте это нашло отражение в зональной смене с юга на север сплошности распространения ММП от спорадического до сплошного и чередовании мерзлых слабодыстных литифицированных пород хребтов и среднелдыстых нелитифицированных отложений долин крупных рек. Крупные массивы сильнольдыстых плейстоценовых отложений с ледяными жилами показаны на карте в основном для Арктической прибрежной равнины и Юкон-Коюкукской межгорной впадины.

В северной части Канады криолитозона представлена литифицированными низкотемпературными слабодыстыми породами Канадского Арктического архипелага. Формирование сплошной криолитозоны в его пределах связано с его расположением в высоких широтах и преобладающим влиянием в течение всего кайнозоя Северного Ледовитого океана. Скальные породы хребтов на островах, имеющих горный и плоскогорный рельеф, характеризуются в восточном секторе архипелага развитием ледников покровного и глетчерного типа оледенения. ММП по скважинам на побережьях и прибрежных плоскогорьях отличаются большой мощностью (400—600 м и более), среднегодовые температуры имеют наиболее низкие значения (–15...–19 °С) для

прибрежных и цокольных равнин Северного полушария на этих широтах.

В материковой плоскогорно-равнинной части Канады формирование криолитозоны связано с барьерной ролью Кордильер, препятствующих западному переносу тихоокеанских влажных воздушных масс, с тектонически мало подвижной частью Канадского щита и с охлаждающим влиянием арктического Гудзонова залива. Орографическая плавность рельефа, раннеголоценовое стаивание остатков Лаврентийского ледника и позднеголоценовое промерзание пород способствовали широтно-зональному формированию материковой криолитозоны. При этом на Циркумпольярной карте показано существенное понижение температур пород (до –5...–7 °С) лишь на северном побережье материка и на побережье Гудзонова залива, в зоне сплошного распространения ММП. Позднее освобождение от ледникового покрова привело к плавному возрастанию мощности ММП к северному побережью материка до 300—500 м. Лишь на о. Ричардс, п-ове Туктояктак и в дельте р. Маккензи, не покрывавшихся ледником, мощность составляет 600—700 м и более. Однако эти хорошо разбуренные районы не нашли на карте более детального отображения ММП в связи с мелким масштабом карты.

Остров Гренландия, расположенный на востоке материковой платформы между 59 и 83° с.ш., покрыт ледниковым щитом мощностью 3000 м и более. Береговая кромка острова, густо изрезанная глубокими фьордами, представлена скальными слабо- и среднелдыстыми ММП преимущественно сплошного распространения.

В заключение следует отметить, что Циркумпольярная карта вечной мерзлоты и грунтовых льдов заполняет тот пробел в серии карт о природе, которые составляют содержание географических атласов во всем мире.

Статья написана при поддержке гранта РФФИ 98-05-64540.

Литература

- Ландшафтная карта СССР м-ба 1 : 2 500 000 млн / Ред. И. С. Гудилин. Л., ВСЕГЕИ, 1987.
 Геокриологическая карта СССР м-ба 1 : 2 500 000 / Ред. Э. Д. Ершов. Винница, 1997.
 Геокриология СССР / Ред. Э. Д. Ершов, т. I—VI. М., Недра, 1989.
 Исаченко А.Г. Ландшафты СССР. Л., Изд-во ЛГУ, 1985, 320 с.
 Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции / Ред. Е.С. Мельников. Новосибирск, Изд-во Наука, 1983, 165 с.
 Heginbottom J.A., Brown J., Melnikov E.S., et al. Circum-arctic map of Permafrost and Ground Ice Conditions // Proceedings (vol.2), Sixth International Conference on Permafrost. South China University of Technology Press, 1993, p. 1132—1136.
 Melnikov E.S. Natural geosystems of the plain cryolitozones in Permafrost // Proceedings Fifth International Conference. Tapir publishers Trondheim, Norway, vol.1, 1988, p. 208—212.

Поступила в редакцию
10 июня 1998 г.