

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА СЕВЕРЕ РОССИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

Малкова Г.В., Павлов А.В., Коростелев Ю.В.

Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень, galina_malk@mail.ru

MAPPING OF CLIMATIC CHANGES IN THE NORTH OF RUSSIA FOR ESTIMATE OF GEOCRYOLOGICAL AND GEOECOLOGY CONSEQUENCES

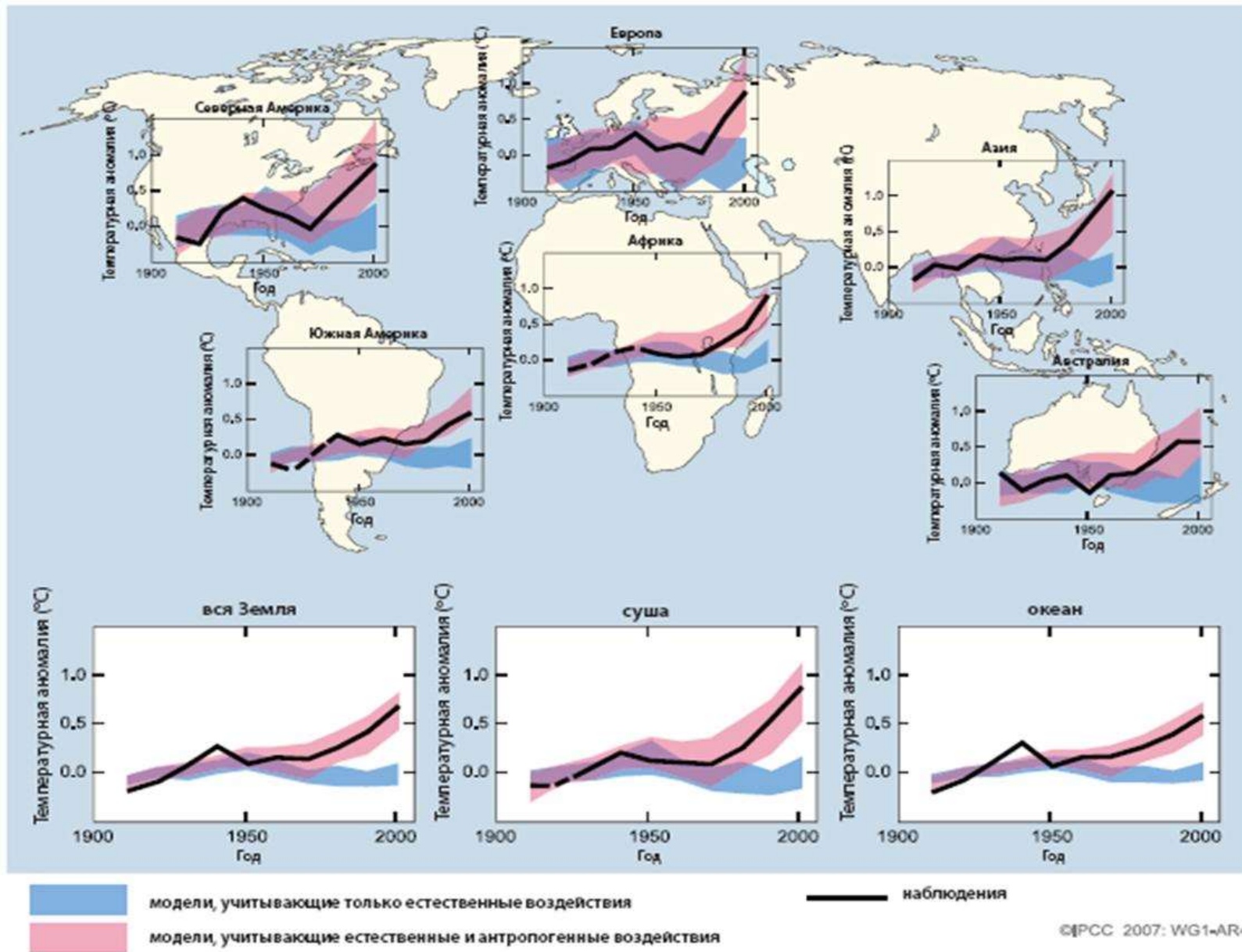
Malkova G.V., Pavlov A.V., Korostelev Yu.V.

Earth Cryosphere Institute SB RAS, Tyumen, galina_malk@mail.ru

Благодарности

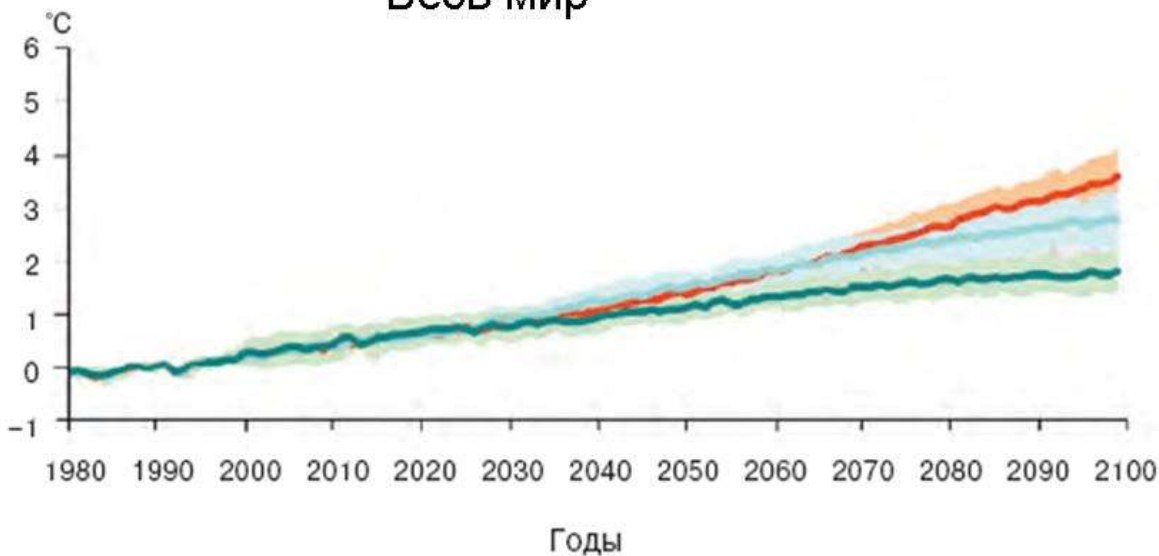
Работа выполнена при поддержке интеграционной программы ОНЗ-12 СО РАН,
Губернской Академии (Тюмень), международных проектов CALM и TSP.

Изменение глобальных и континентальных температур



a)

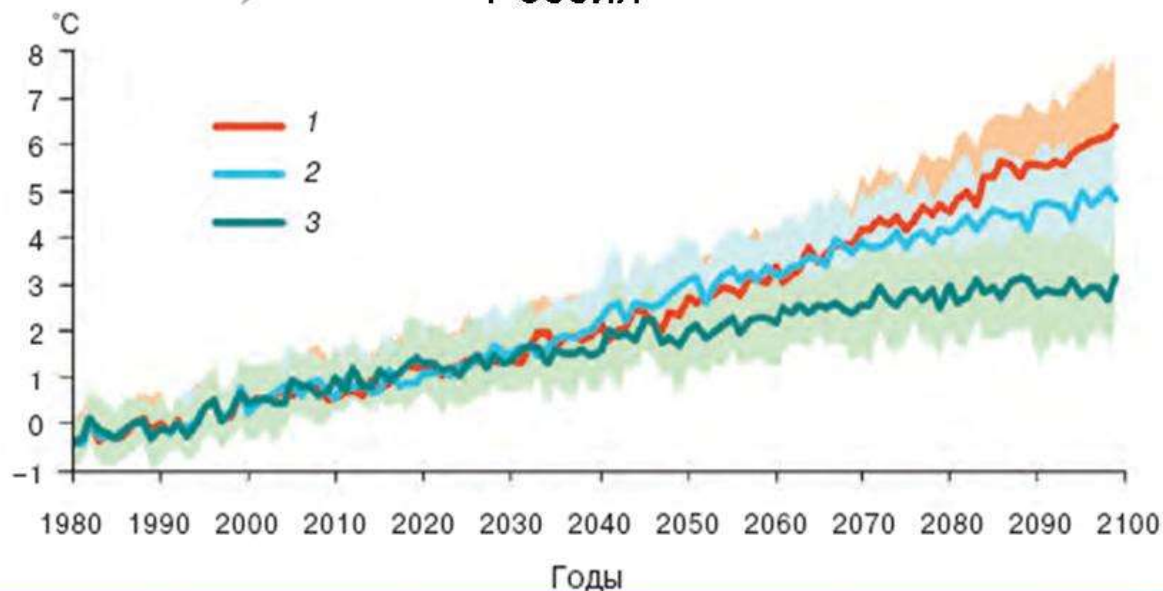
Весь мир



Временной ход средней годовой аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) по отношению к базовому периоду (1980–1999 гг.) с учетом сценариев A2 (1), A1B (2) и B1 (3) в XXI веке: средние глобальные (а) и осредненные по территории России (б).

б)

Россия



Жирные линии характеризуют средние распределения по ансамблю из 16 моделей МОЦАО СМIP3. Цветом выделены области стандартных отклонений ($+\sigma$), характеризующих межмодельный разброс.

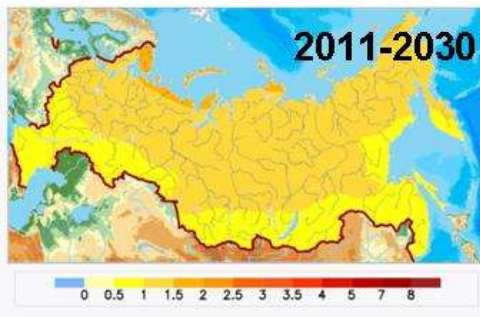
Согласно: **Оценочный Доклад по изменению климата, 2008**

<http://climate2008.igce.ru/v2008/v1/vl-7.pdf>

Изменение климата России в XXI веке относительно баз. периода 1980-1999г. по данным ГГО им. Воейкова www.voeikovmgo.ru

Оценочный доклад "Изменение климата на территории РФ», 2008

Повышение температуры воздуха, оС, год



2011-2030

Параметры:
 Температура (°C)
 Осадки (мм)
 Осадки - испарение (%)

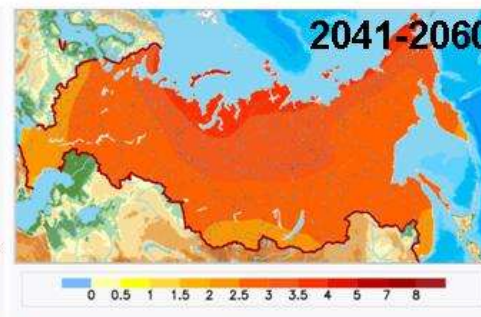
Сезонные:
 SPRES A2
 SPRES A1B
 SPRES B1

Временной период:
 2011-2031
 2041-2060
 2080-2099

Сезон:
 Зима
 Весна
 Лето
 Осень
 Год

Слой:
 Ср. значения по регионам

Яркость:
 Низкая
 Средняя
 Высокая



2041-2060

Параметры:
 Температура (°C)
 Осадки (мм)
 Осадки - испарение (%)

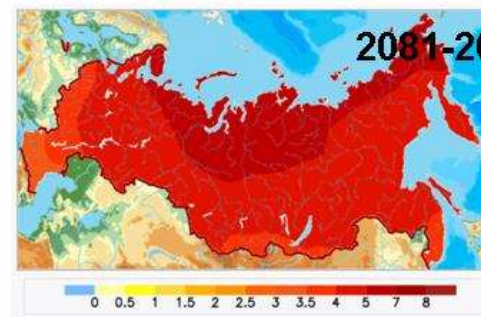
Сезонные:
 SPRES A2
 SPRES A1B
 SPRES B1

Временной период:
 2011-2031
 2041-2060
 2080-2099

Сезон:
 Зима
 Весна
 Лето
 Осень
 Год

Слой:
 Ср. значения по регионам

Яркость:
 Низкая
 Средняя
 Высокая



2081-2099

Параметры:
 Температура (°C)
 Осадки (мм)
 Осадки - испарение (%)

Сезонные:
 SPRES A2
 SPRES A1B
 SPRES B1

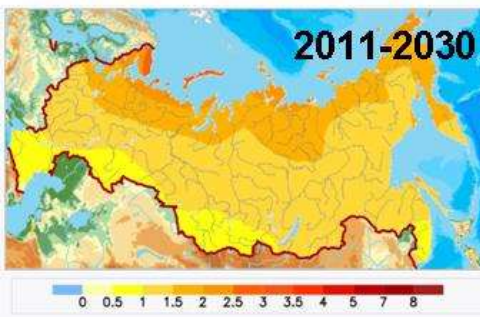
Временной период:
 2011-2031
 2041-2060
 2080-2099

Сезон:
 Зима
 Весна
 Лето
 Осень
 Год

Слой:
 Ср. значения по регионам

Яркость:
 Низкая
 Средняя
 Высокая

Повышение температура воздуха, оС, зима



2011-2030

Параметры:
 Температура (°C)
 Осадки (мм)
 Осадки - испарение (%)

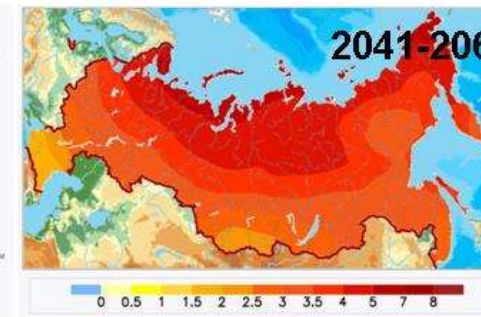
Сезонные:
 SPRES A2
 SPRES A1B
 SPRES B1

Временной период:
 2011-2031
 2041-2060
 2080-2099

Сезон:
 Зима
 Весна
 Лето
 Осень
 Год

Слой:
 Ср. значения по регионам

Яркость:
 Низкая
 Средняя
 Высокая



2041-2060

Параметры:
 Температура (°C)
 Осадки (мм)
 Осадки - испарение (%)

Сезонные:
 SPRES A2
 SPRES A1B
 SPRES B1

Временной период:
 2011-2031
 2041-2060
 2080-2099

Сезон:
 Зима
 Весна
 Лето
 Осень
 Год

Слой:
 Ср. значения по регионам

Яркость:
 Низкая
 Средняя
 Высокая



2081-2099

Параметры:
 Температура (°C)
 Осадки (мм)
 Осадки - испарение (%)

Сезонные:
 SPRES A2
 SPRES A1B
 SPRES B1

Временной период:
 2011-2031
 2041-2060
 2080-2099

Сезон:
 Зима
 Весна
 Лето
 Осень
 Год

Слой:
 Ср. значения по регионам

Яркость:
 Низкая
 Средняя
 Высокая

Увеличение осадков, %, зима



2011-2030

Параметры:
 Температура (°C)
 Осадки (мм)
 Осадки - испарение (%)

Сезонные:
 SPRES A2
 SPRES A1B
 SPRES B1

Временной период:
 2011-2031
 2041-2060
 2080-2099

Сезон:
 Зима
 Весна
 Лето
 Осень
 Год

Слой:
 Ср. значения по регионам

Яркость:
 Низкая
 Средняя
 Высокая



2041-2060

Параметры:
 Температура (°C)
 Осадки (мм)
 Осадки - испарение (%)

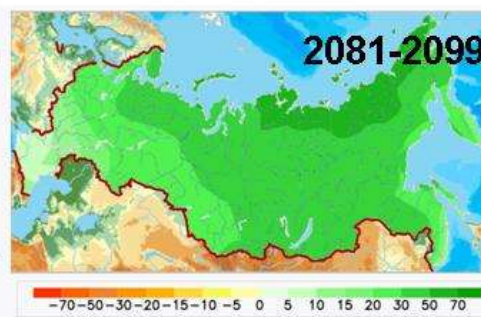
Сезонные:
 SPRES A2
 SPRES A1B
 SPRES B1

Временной период:
 2011-2031
 2041-2060
 2080-2099

Сезон:
 Зима
 Весна
 Лето
 Осень
 Год

Слой:
 Ср. значения по регионам

Яркость:
 Низкая
 Средняя
 Высокая



2081-2099

Параметры:
 Температура (°C)
 Осадки (мм)
 Осадки - испарение (%)

Сезонные:
 SPRES A2
 SPRES A1B
 SPRES B1

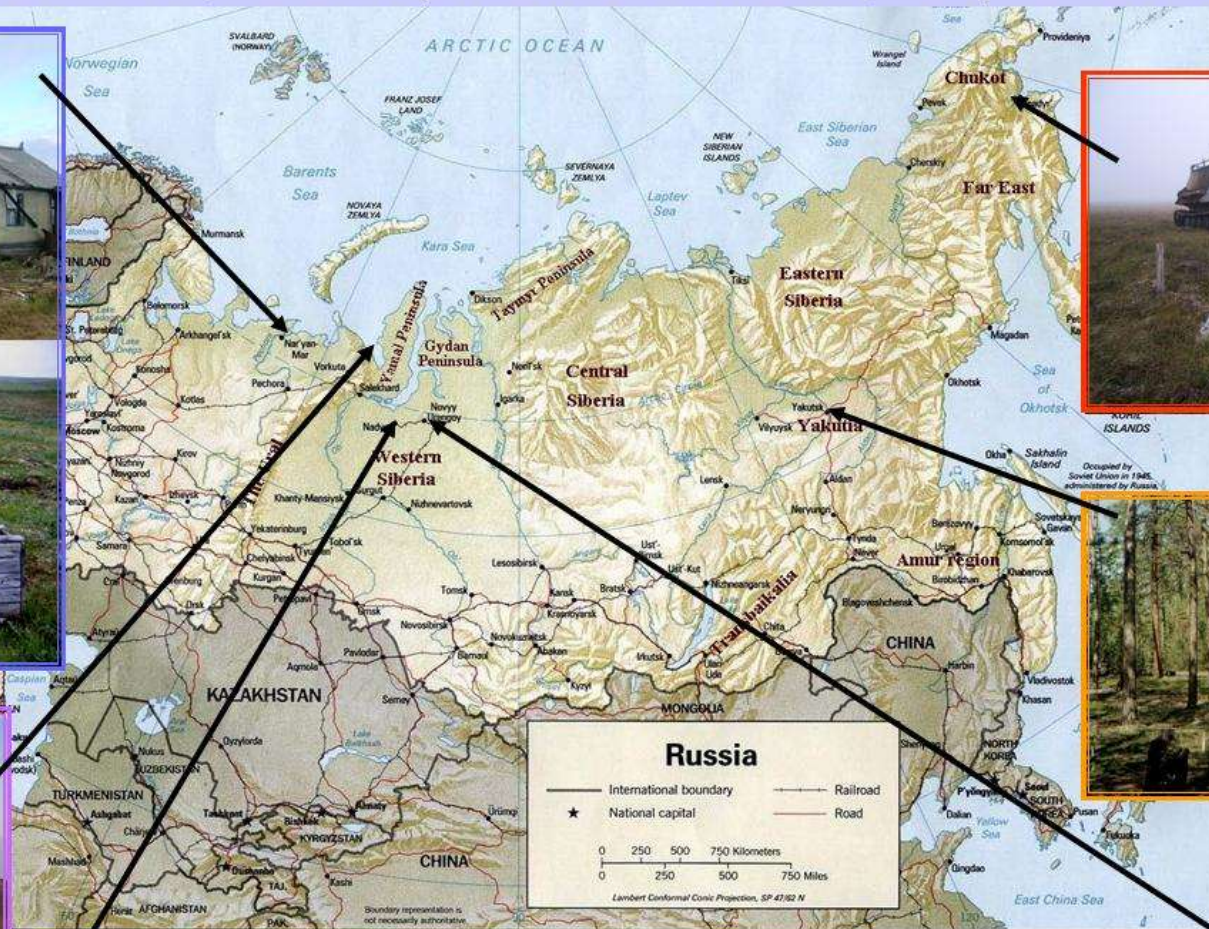
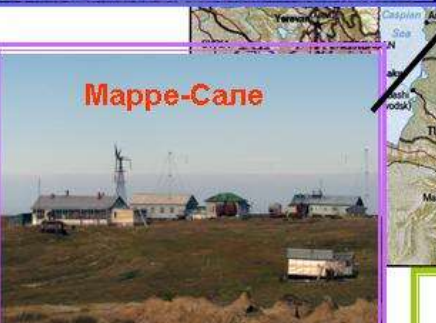
Временной период:
 2011-2031
 2041-2060
 2080-2099

Сезон:
 Зима
 Весна
 Лето
 Осень
 Год

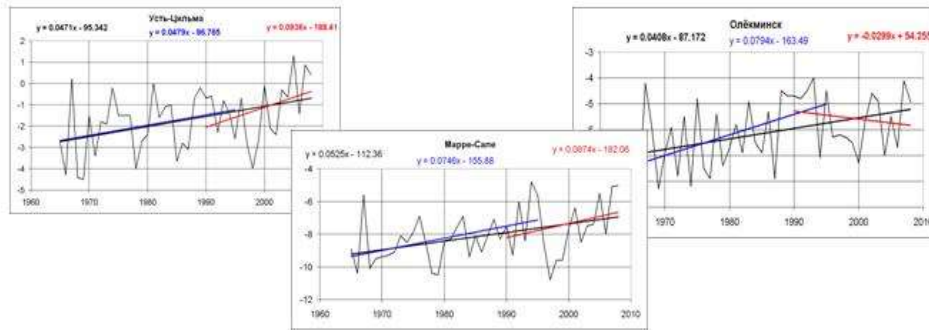
Слой:
 Ср. значения по регионам

Яркость:
 Низкая
 Средняя
 Высокая

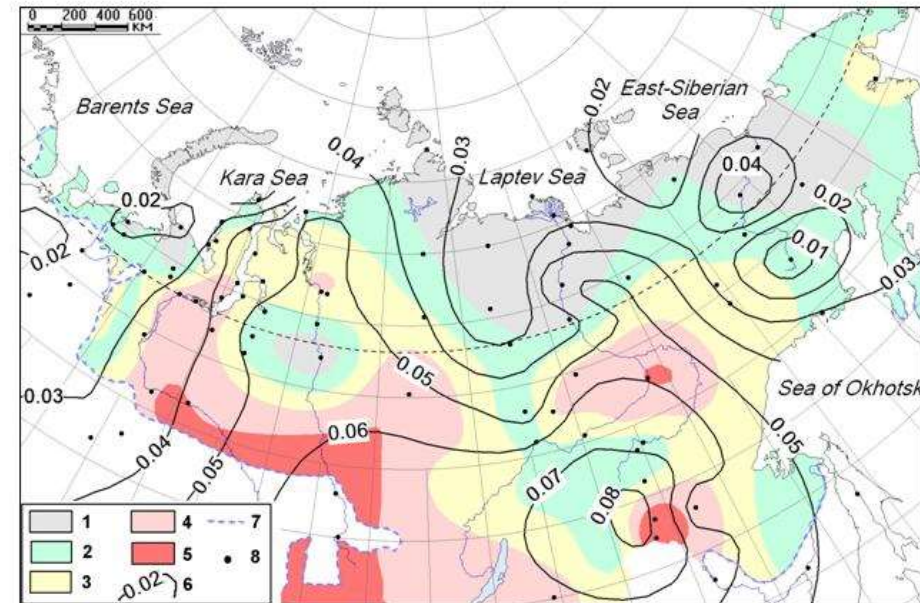
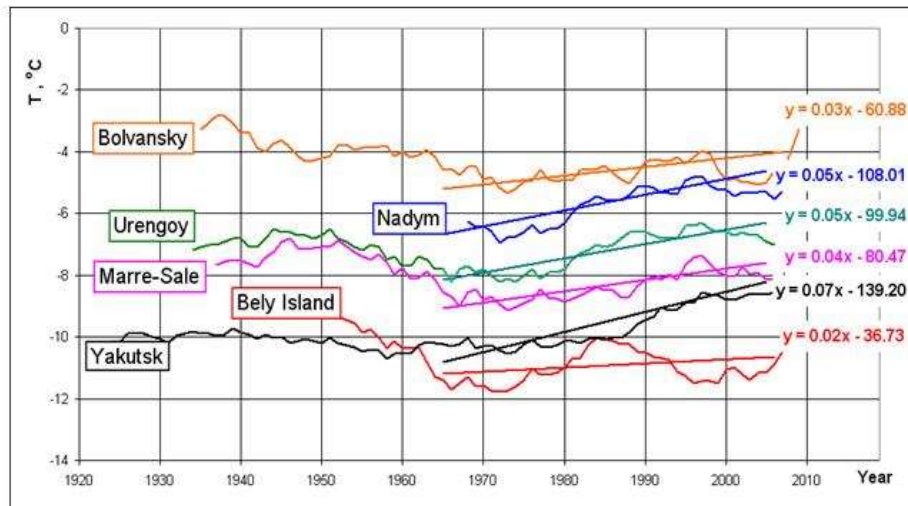
Основные метеостанции и геокриологические стационары на севере России



Изменение трендов среднегодовой температуры воздуха в различных регионах севера России



Интенсивность потепления в отдельных регионах постоянно меняется во времени, а очаги максимальных трендов среднегодовой температуры воздуха перемещаются в пространстве.



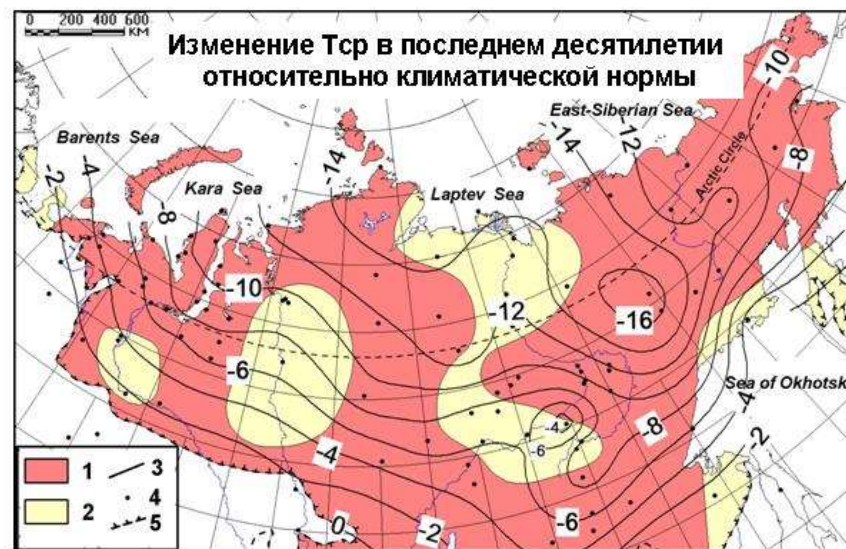
Долговременный тренд T_{sp} воздуха (1965-2010) изменяется в пределах $0,02-0,07^{\circ}\text{C}/\text{год}$. Очаги минимальных трендов ($0,02...0,04^{\circ}\text{C}/\text{год}$) сконцентрированы на севере Средней и Восточной Сибири, в среднем течении р. Енисей и на севере полуострова Ямал, на Югорском полуострове. Наиболее высокие тренды (до $0,06-0,08^{\circ}\text{C}/\text{год}$) температуры воздуха приурочены к южным районам Западной и Восточной Сибири и к центральной Якутии.

Тренд среднегодовой температуры воздуха

Условные обозначения: (1-5)- тренд среднегодовой температуры воздуха за период 1965-2010 гг. ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$): 1 – менее 0,03; 2 – 0,03-0,04; 3 – 0,04-0,05; 4 – 0,05-0,06; 5 – более 0,06; 6 – изолинии и значения тренда температуры воздуха за период 1965-2000 гг ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$); 7 – южная граница криолитозоны; 8 – метеостанции

Изменение среднегодовой температуры воздуха на севере России

Аномалии современных изменений климата количественно характеризуют путем сравнения метеоданных за последнее десятилетие с **климатической нормой** (в настоящее время это среднее значение климатического показателя **в период с 1961 по 1990 гг.**)



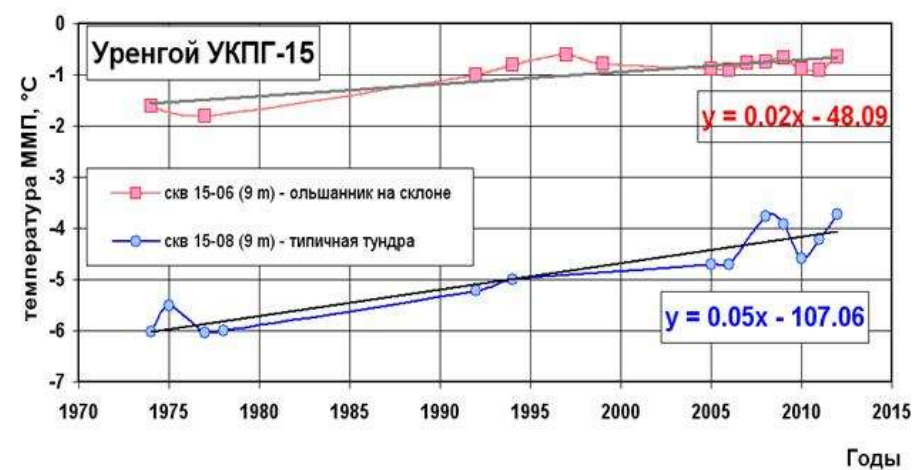
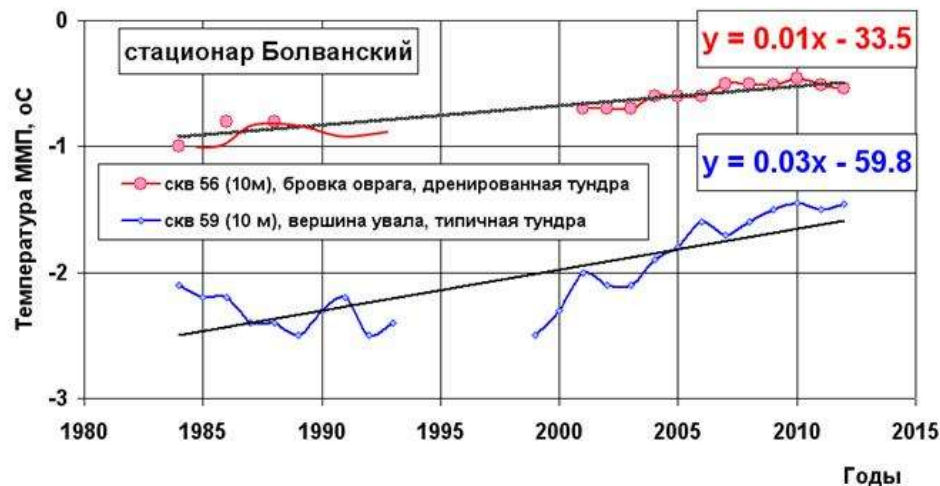
Климатическая норма Тсп воздуха изменяется от 0°C около южной границы мерзлоты до $-14...-16^{\circ}\text{C}$ на побережье моря Лаптевых и в районе Верхоянска в Восточной Сибири. Преимущественно, изолинии Тсп подчиняются субширотной зональности.

Для периода 2000-2010 гг характерно значительное повышение Тсп воздуха. Минимальные температуры составляют всего $-12...-13^{\circ}\text{C}$ на побережье моря Лаптевых, при этом аналогичные изолинии Тсп смещаются на север.

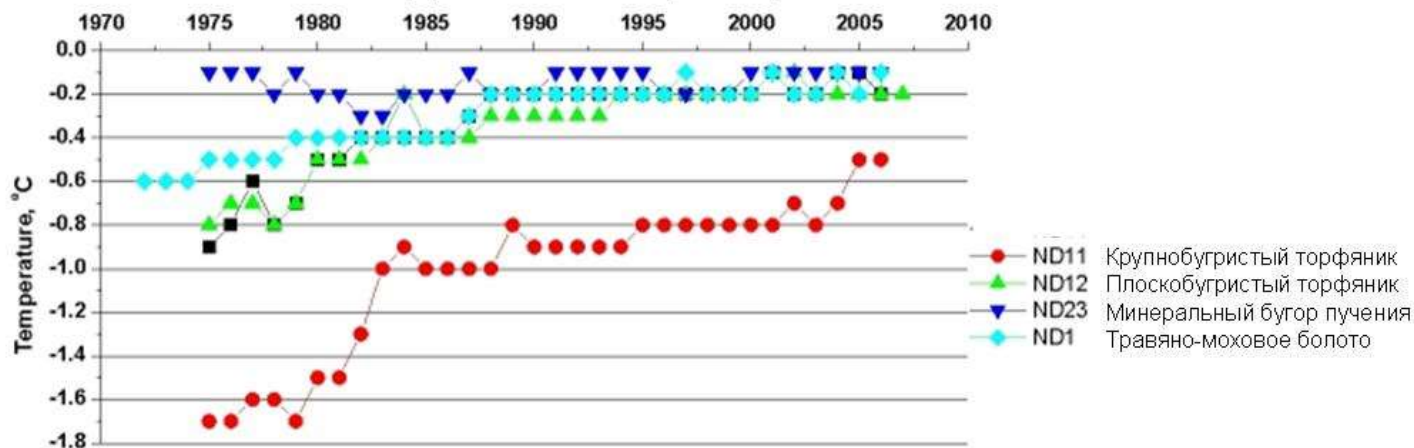
Условные обозначения: повышение температуры в последнее десятилетие относительно нормы: 1- сильное, $\Delta t_{вз} > 1,0^{\circ}\text{C}$; 2 – умеренное, $0,7 \leq \Delta t_{вз} \leq 1^{\circ}\text{C}$; 3 – изолинии среднегодовой температуры воздуха (норма); 4 – метеостанции; 5 – южная граница криолитозоны

Сильное потепление климата (повышение температуры воздуха более, чем на 1°C , показано красным цветом) охватывает большую часть территории криолитозоны России. Умеренное потепление климата (показано желтым цветом) приурочено к отдельным участкам на Европейском севере, в Западной и Средней Сибири и в Приморье

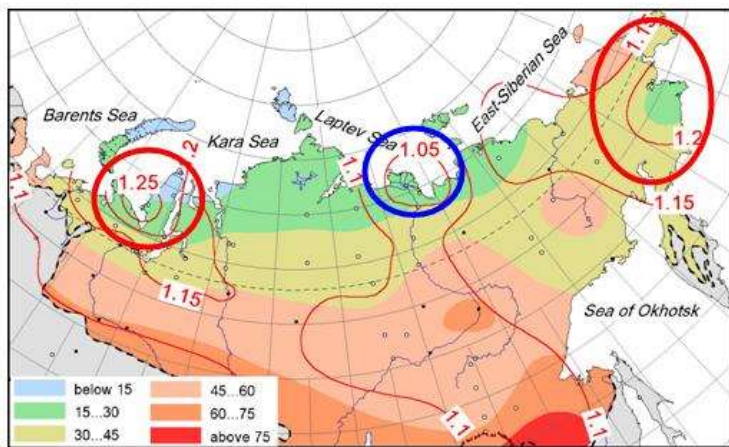
Тренды изменения среднегодовой температуры ММП в различных ландшафтных условиях



Надымский стационар



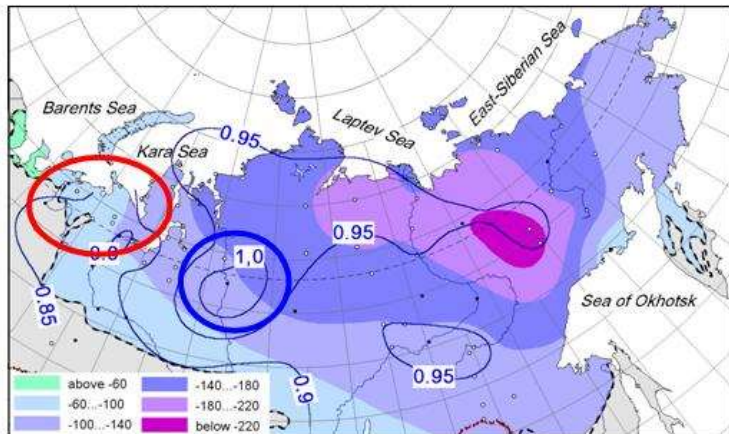
Из публикации: Д.С. Дроздов, А.А. Васильев, Г.В. Малкова, Н.Г. Москаленко, П.Т. Орехов, Н.Г. Украинцева. Изменения температуры многолетнемерзлых пород западного сектора Российской Арктики в связи с изменениями климата // раздел коллективной монографии «Полярная криосфера и воды суши» – М.:Paulsen, 2011 - 320 с. (153-170)



Повышение температуры воздуха в теплый период года в криолитозоне России

Условные обозначения: (1-6) норма сумм температуры воздуха в теплый период, °С-мес: 1 – менее 15; 2 – 15-30; 3 – 30-45; 4 – 45-60; 5 – 60-75; 6 – более 75;
 7 – относительный индекс протаивания n_{th} ;
 8 – южная граница криолитозоны; 9 - метеостанции

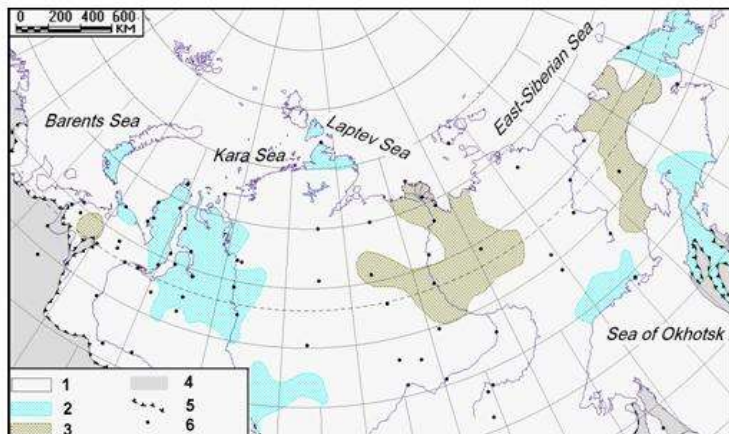
Коэффициент n_{th} (относительный индекс протаивания), равный отношению суммы летней температуры воздуха в 2000-2010 гг. к ее норме. $n_{th} = 1$, стабильная температура в летний сезон;
 $n_{th} > 1$, потепление в летний сезон



Повышение температуры воздуха в холодный период года в криолитозоне России

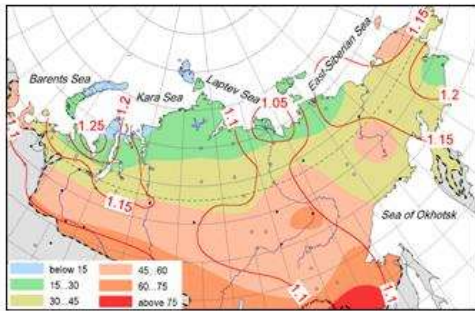
Условные обозначения: (1-6) норма сумм температуры воздуха в холодный период, °С-мес: 1 – менее -60; 2 - -60...-100; 3 - -100...-140; 4 - -140...-180; 5 - -180...-220; 6 – более -220; 7 – относительный индекс промерзания n_f ;
 8 – южная граница криолитозоны; 9 - метеостанции

Коэффициент n_f (относительный индекс промерзания), равный отношению средней суммы зимней температуры воздуха за 2000-2010 гг. к ее норме (среднее за период 1960-1990 гг) $n_f = 1$, стабильная температуры в зимний период;
 $n_f < 1$, потепление в зимний период

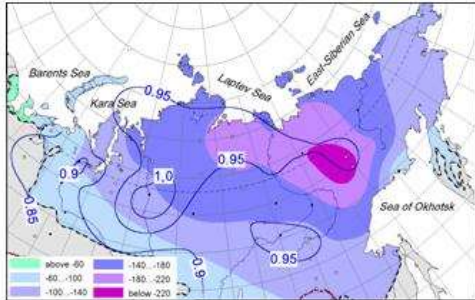


Изменение толщины снежного покрова на севере России (1975-2010)

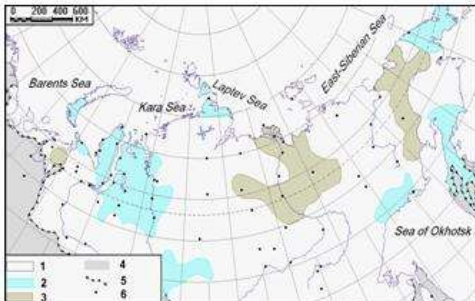
Условные обозначения: 1- незначительные изменения толщины снега (± 10 см); 2 – увеличение толщины снега на 10-20 см; 3 – сокращение толщины снега на 10-20 см; 4 – территория вне криолитозоны; 5 – южная граница криолитозоны; 6 - метеостанции



+



+



Карта метеорологического риска криолитозоны России

Условные обозначения: (1-8) - баллы риска;

9- южная граница криолитозоны, 10 – граница сплошного распространения мерзлоты с поверхности; 11 - метеостанции

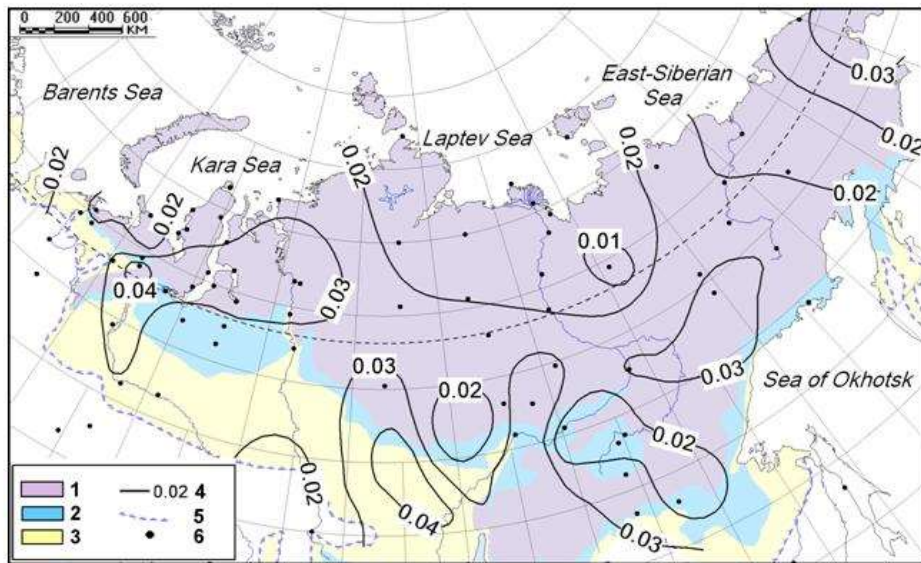
Карта метеорологического риска криолитозоны России



Области криолитозоны, имеющие от 1 до 3 баллов, можно отнести к **слабому** метеорологическому риску. Это, прежде всего – дельта реки Лена, северная Якутия и, частично, - южная Якутия. В общей сложности такие территории занимают **8% площади** криолитозоны.

Области **умеренного** метеорологического риска (4-5 баллов) охватывают значительно **большие площади** криолитозоны (**63%**). Сюда относятся обширные территории Средней и Восточной Сибири, частично – юго-восточная часть Западной Сибири.

Западная и восточная части криолитозоны России попадают в область **высокого** метеорологического риска (6-8 баллов). Максимальный риск по нашей оценке характерен для севера Западной Сибири и Чукотки (7-8 баллов), здесь наблюдается отепляющее влияние на мерзлые толщи всех рассмотренных климатических параметров. Области высокого метеорологического риска охватывают чуть менее **30%** криолитозоны России

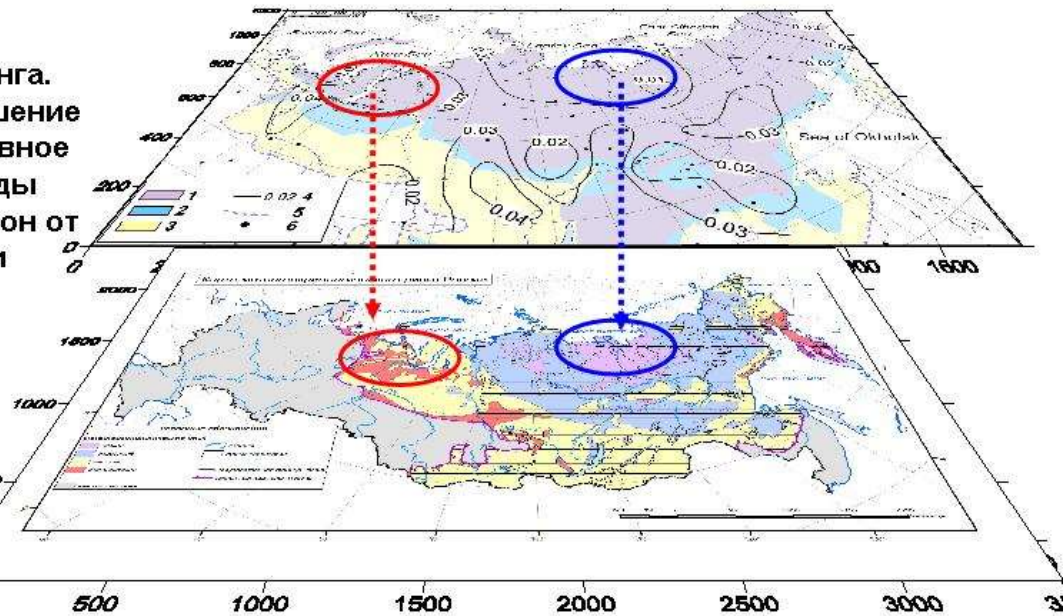


Линейные тренды температуры мерзлых толщ в криолитозоне России с 1975 по 2010 гг.

Условные обозначения: (1-3) распространение мерзлоты: 1 – сплошное; 2- прерывистое; 3 – островное и редкоостровное; 4- изолинии тренда и его значения, °С/год; 5 – южная граница криолитозоны; 6 – метеостанции и геокриологические стационары

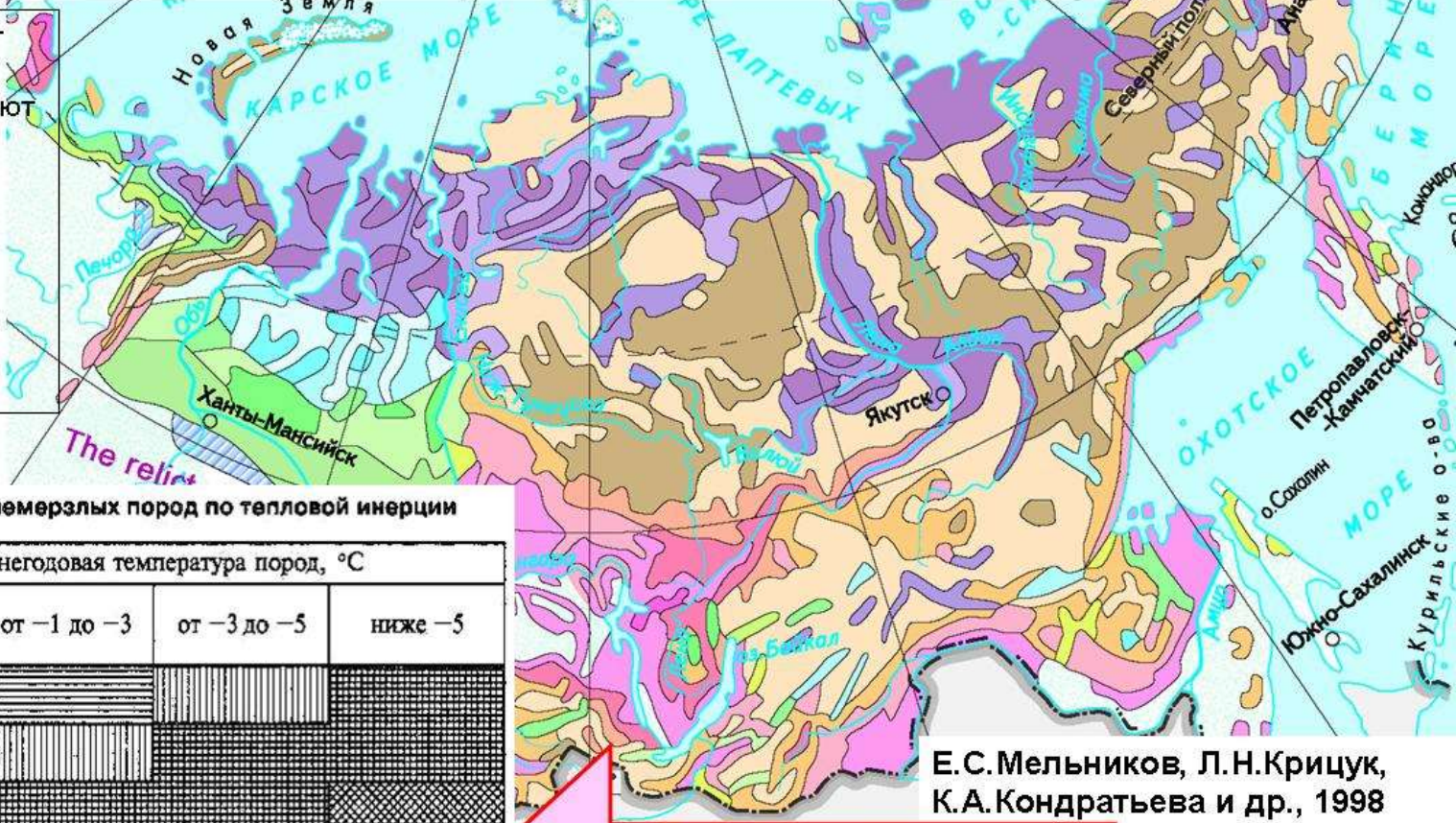
Оценка достоверности картографической модели метеогеокриологического риска возможна при ее сравнении с данными геокриологического мониторинга. Для всей криолитозоны России наблюдаются повышение среднегодовой температуры ММП, но менее интенсивное по сравнению с трендами потепления климата. Тренды изменения температуры грунтов охватывают диапазон от 0.004 до 0.05°С/год. Среднее для всего севера России значение тренда температуры пород составляет 0.03°С/год.

При совмещении двух карт обращает на себя внимание четкое совпадение области слабого метеогеокриологического риска на севере Якутии и в дельте р.Лена с областью минимальных трендов (0.01...0.02°С/год) температуры мерзлых толщ. Наибольшие тренды температуры пород (более 0.03°С/год), как правило, также совпадают с областями высокого метеогеокриологического риска.



Lowlands Льдистость (Ice Content)	Равнины / Горы (Lowlands / Mountains)			
	Распространение ММП (Extent of Permafrost)			
	сплошное (90–100%)	прерывистое (50–90%)	островное (10–50%)	редкоостровное (0–10%)
Высокая >40% (High)				
Средняя 20–40% (Medium)				
Низкая 0–20% (Low)				
	Continuous	Discontinuous	Sporadic	Isolated patches

Многолетняя мерзлота в РФ



В геокриологии существует классификация ММП по тепловой инерции. Выделяют 4 группы пород, которые в зависимости от их температуры и льдистости оттаивают с различной скоростью. Эту информацию можно получить с существующих геокриологических карт.

Классификация многолетнемерзлых пород по тепловой инерции

Суммарная объемная льдистость пород, д. ед.	Среднегодовая температура пород, °C			
	до -1	от -1 до -3	от -3 до -5	ниже -5
до 0,2				
0,2–0,4				
0,4–0,6				
более 0,6				

- слабоинерционные МП
- среднеинерционные МП
- сильноинерционные МП
- ультраинерционные МП

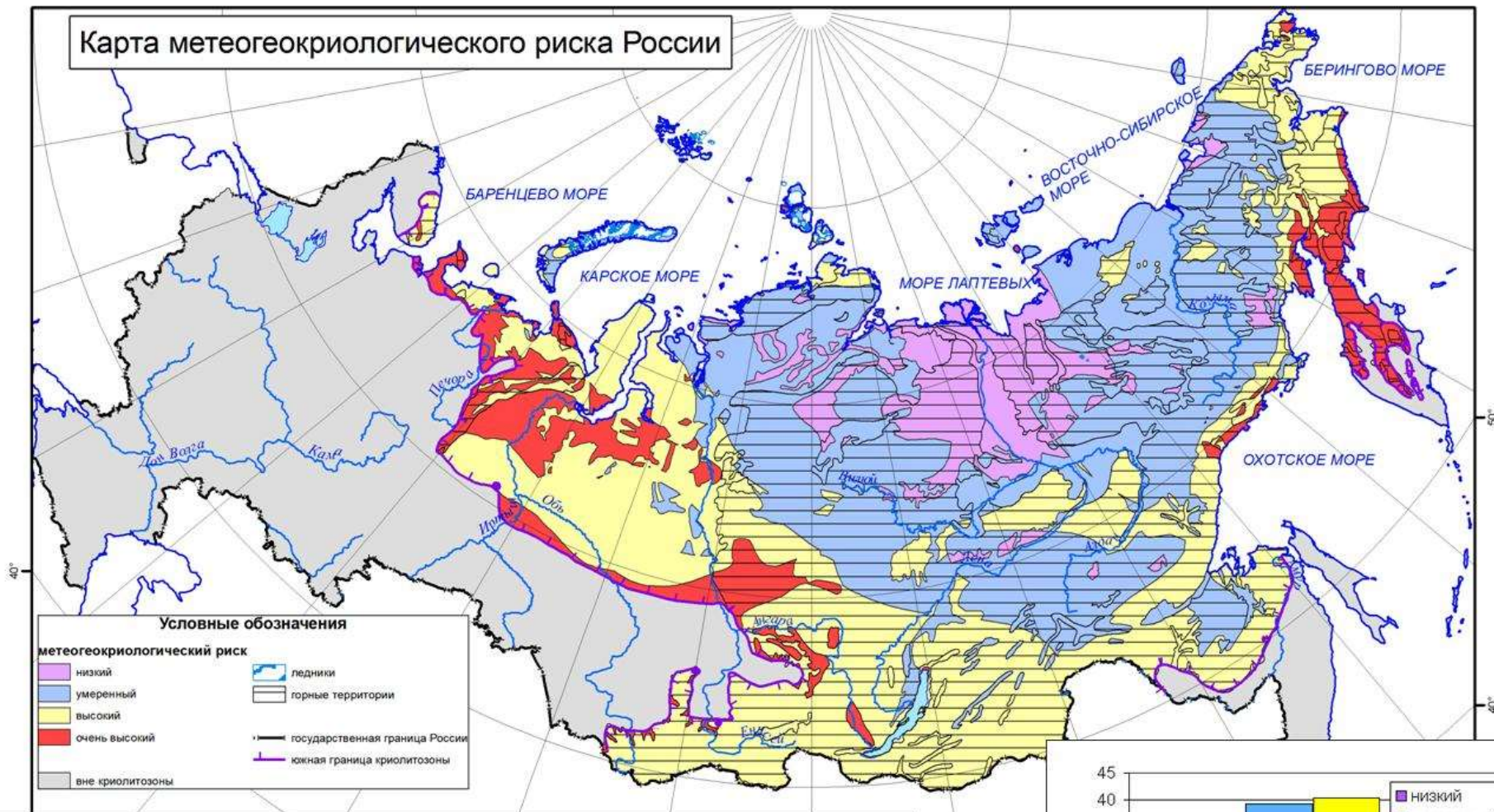
Е.С.Мельников, Л.Н.Крицук, К.А.Кондратьева и др., 1998

Основы геокриологии. Ч.6. Геокриологический прогноз и экологические проблемы в криолитозоне / Под ред. Э.Д.Ершова. М., МГУ, 2008

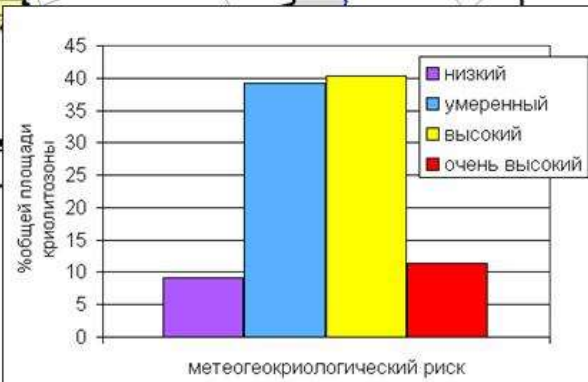
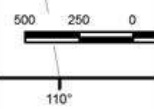


На карте особо выделены штриховкой горные территории и плато. Мы предполагаем, что тепловая инерционность здесь характеризует рыхлые элювиальные, делювиальные и пр. отложения возвышенных участков и аллювий, пролювий и пр. межгорных впадин.

Карта метеогеокриологического риска России



Карта районирования криолитозоны по степени метеогеокриологического риска получена в результате наложения карты метеориска и карты инерционности ММП. Области низкого и умеренного риска – занимают около половины площади криолитозоны - и тяготеют к средней и восточной Сибири. А высокий и очень высокий риск наблюдается в равнинных районах Европейского севера, Западной Сибири, на дальнем востоке и по южному обрамлению криолитозоны.



Заключение

Выполненные исследования являются продолжением многолетних работ авторов по изучению роли климатических факторов на температурный режим и состояние ММП.

- С помощью картографических моделей произведена оценка изменения важнейших климатических параметров в первое десятилетие XXI века относительно климатической нормы. Эти изменения имеют региональные различия, но повсеместно в той или иной степени оказывают тепляющее воздействие на криолитозону.

- Произведена оценка суммарного воздействия климатических параметров на ММП с различной температурой и льдистостью. Половина площади криолитозоны России находится в области высокого и очень высокого метеогеокриологического риска и половина площади - в области умеренного и низкого метеогеокриологического риска.

- Наблюдается четкое совпадение областей низкого метеогеокриологического риска и областей минимальных трендов среднегодовой температуры ММП.

- Наибольшие тренды среднегодовой температуры пород совпадают с областями высокого и очень высокого метеогеокриологического риска.

- Авторы придерживаются позиции, что пик потепления уже пройден, и в ближайшие десятилетия нас ожидает постепенное похолодание и стабилизация геокриологической обстановки.

