ОТЧЕТ по программе ОНЗ-12 за 2012-2014 гг
Процессы в атмосфере и криосфере как фактор изменений риродной среды. ак. Котляков В.М.,ак. Голицын Г.С.,ак. Израэль Ю.А.
Подпрограмма «Криогенные и гляциальные системы: вопросы реконструкции, динамики, прогноза» ак. В.П. Мельников
Проект: «Современное состояние, трансформация, климатические и техногенные факторы пространственно-временной изменчивости криолитозоны»
(руководители Дроздов Д.С., Малкова Г.В.)

Исполнители: *к.г.-м.н. Малкова Г.В., д.г.н. Павлов А.В., Коростелев Ю.В.*

Цель проекта:
Оценка современных тенденций изменения климата и криолитозоны на основе фундаментальных представлений о структуре и эволюции природных геосистем разного уровня

В рамках настоящего проекта намечено выполнение **ряда содержательных задач.** С помощью картографических моделей будет произведена оценка изменения важнейших климатических параметров в первое десятилетие XXI века относительно климатической нормы и разработана карта районирования по тепловой инерционности ММП в зависимости от температуры и льдистости ММП. Результатом совмещения этих двух карт будет является карта районирования криолитозоны по степени метеогеокриологического риска. Намеченные исследования позволят прогнозировать изменение термического состояния ММП и возможное сокращение территории криолитозоны в условиях современного потепления климата.

Аннотация:

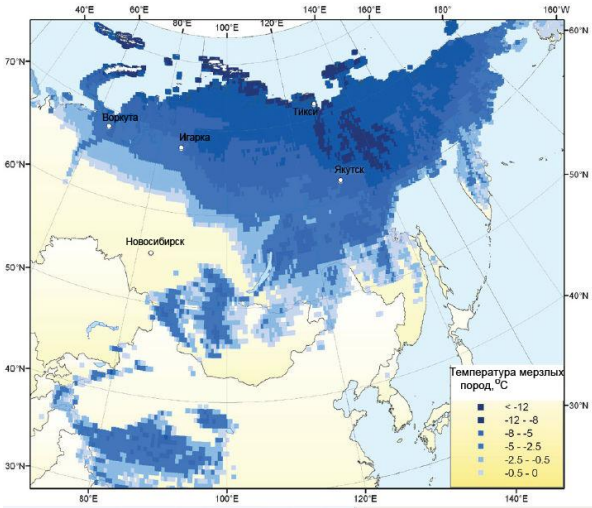
На основе суммарной оценки изменения важнейших климатических параметров в первое десятилетие XXI века относительно климатической нормы и тепловой инерционности ММП разработана карта метеогеокриологического риска. Показано, что половина площади криолитозоны России находится в области высокого и очень высокого метеогеокриологического риска и половина площади - в области умеренного и низкого метеогеокриологического риска.

Развернутый отчет

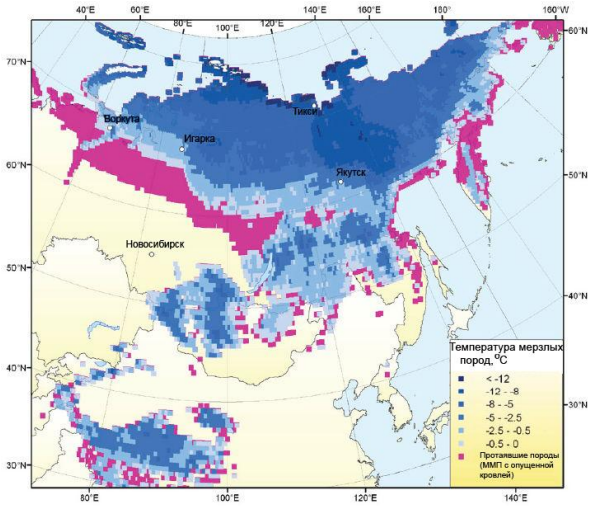
На современном этапе при интенсивном развитии компьютерных технологий наибольшее развитие получает модельных подход. Большое количество исследований и публикаций, посвященных моделированию изменения различных параметров криолитозоны, осуществляется в ГГО им. Воейкова (Катцов и др., 2011; Надежина и др., 2008, 2010; Павлова и др., 2007; Малевский-Малевич и др., 2000, 2001, 2005, 2007; Школьник и др., 2012). В модельных расчетах используются как сценарии изменения климата, рекомендованные МГЭИК, так и независимые методы. При этом в качестве входных параметров используются рассчитанные в МОЦАО значения температуры поверхности и толщины снежного покрова, а также заданные характеристики тех или иных типов грунтов и видов растительности (Павлова и др., 2007). Применяется также ансамблевый подход к оценке изменений термического состояния многолетнемерзлых грунтов (Школьник и др., 2012).

Наиболее удачной, по нашему мнению, из разработанных для криолитозоны и уже опубликованных моделей является расчетная динамическая модель прогноза изменения теплового состояния ММП в XXI веке GIPL2 (Geophysical Institute Permafrost Laboratory, разработана в Геофизическом институте Университета Аляски США). Входными данными для модели являются температура воздуха, осадки, наземная растительность, термические свойства многослойных горных пород (теплопроводность и теплоёмкость в талом и мерзлом состоянии), начальное содержание влаги в почве и тепловой поток на нижней границе расчетной области. Климатический сценарий был взят из пять осредненных IPCC моделей глобальной циркуляции атмосферы: ECHAM5, GFDL21, CCSM, HADcm3 и CCCMA для сценария A1B. Результаты проведенных расчетов и моделирования приведены на рис.1.

1. Конец XX в.



2. Середина XXI в.



3. Конец XXI в.

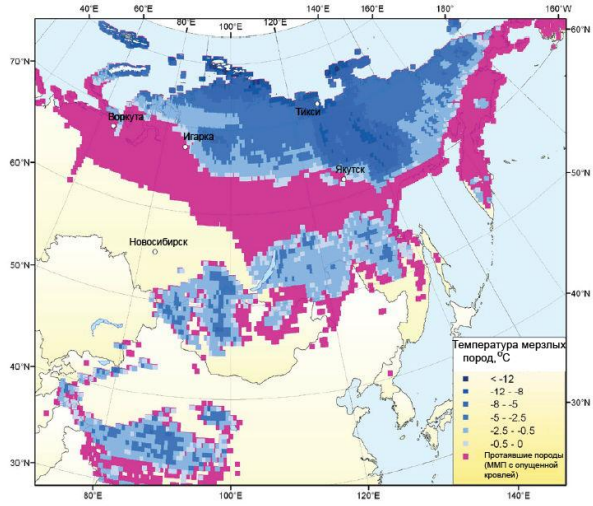


Рис. 1. Среднегодовая температура пород на подошве деятельного слоя в северной Евразии для трех временных интервалов: 1) современное состояние 1990-2000 гг., 2) середина XXI века, 2040-2050 гг. , 3) конец XXI века, 2090-2100 гг. Области распространения протаявшей с поверхности мерзлоты показаны розовым цветом.

С помощью данной модели удалось осуществить моделирование возможных изменений криолитозоны в XXI веке в условиях прогнозируемого потепления климата на 2°С к середине XXI века и на 4°С к концу XXI века (Romanovsky et al., 2008, 2010; Marchenko, Romanovsky et al., 2013). В каждой элементарной ячейке сетки 0,5°x0,5° отображается расчетный температурный профиль (температура пород по глубине всей расчетной области) на любые моменты времени в зависимости от временного шага. При оценке современного теплового состояния ММП проводилась калибровка расчетных данных, при этом

учитывалась обширная база фактических данных, собранных за последние 30 лет при изучении термического состояния вечной мерзлоты при мониторинге криолитозоны и в рамках Международных проектов GTN-P и TSP. Согласно данной модели развития криолитозоны России при выбранном сценарии развития климата прогнозируется, что площади ММП с температурой -2,5оС к середине XXI века сократятся на 30%, а к концу XXI века – более чем вдвое.

Некоторую качественную прогнозную оценку развития криолитозоны при современных изменениях климата можно получить, используя разработанную в ИКЗ СО РАН технологию картографического моделирования. В предыдущем отчете по 2 этапу настоящего проекта было показано, что низкотемпературные ММП быстро теплеют, тренды повышения температуры пород у них 0,05оС…0,03оС в год. Чем ближе температура ММП к 0оС, тем медленнее происходит их растепление, т.к. больше тепла идет на фазовые переходы в грунте. Когда температура пород приближается к 0оС, происходит «зависание», наблюдается так называемая нулевая завеса. Ее длительность зависит от льдистости пород. При дальнейшем потеплении климата малольдистые пески начинают быстро оттаивать, суглинки занимают промежуточное положение, а в мерзлом всегда льдистом торфе это состояние может длиться несколько десятилетий.

В геокриологии существует классификация ММП по тепловой инерции. Выделяют 4 группы пород, которые в зависимости от их температуры и льдистости способны оттаивать или не оттаивать. Эту информацию можно получить с существующих геокриологических карт. В общем виде для всей территории криолитозоны мы разработали карту районирования по тепловой инерционности ММП. 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 (рис.2) .

Рис. 2 Карта тепловой инерционности ММП криолитозоны России

Затем данную карту можно наложить на уже имеющуюся карту метеорологического риска (приведена в отчете по 2 этапу) - и получить в результате - карту районирования криолитозоны по степени метеогеокриологического риска. 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 (рис. 3).

Некоторую верификацию полученной карты мы осуществили, сравнив данную карту риска и карту трендов температуры ММП, построенную нами ранее. Наблюдается четкое совпадение областей слабого метеогеокриологического риска и областей минимальных трендов среднегодовой температуры ММП. Наибольшие тренды среднегодовой температуры пород совпадают с областями высокого метео-геокриологического риска.

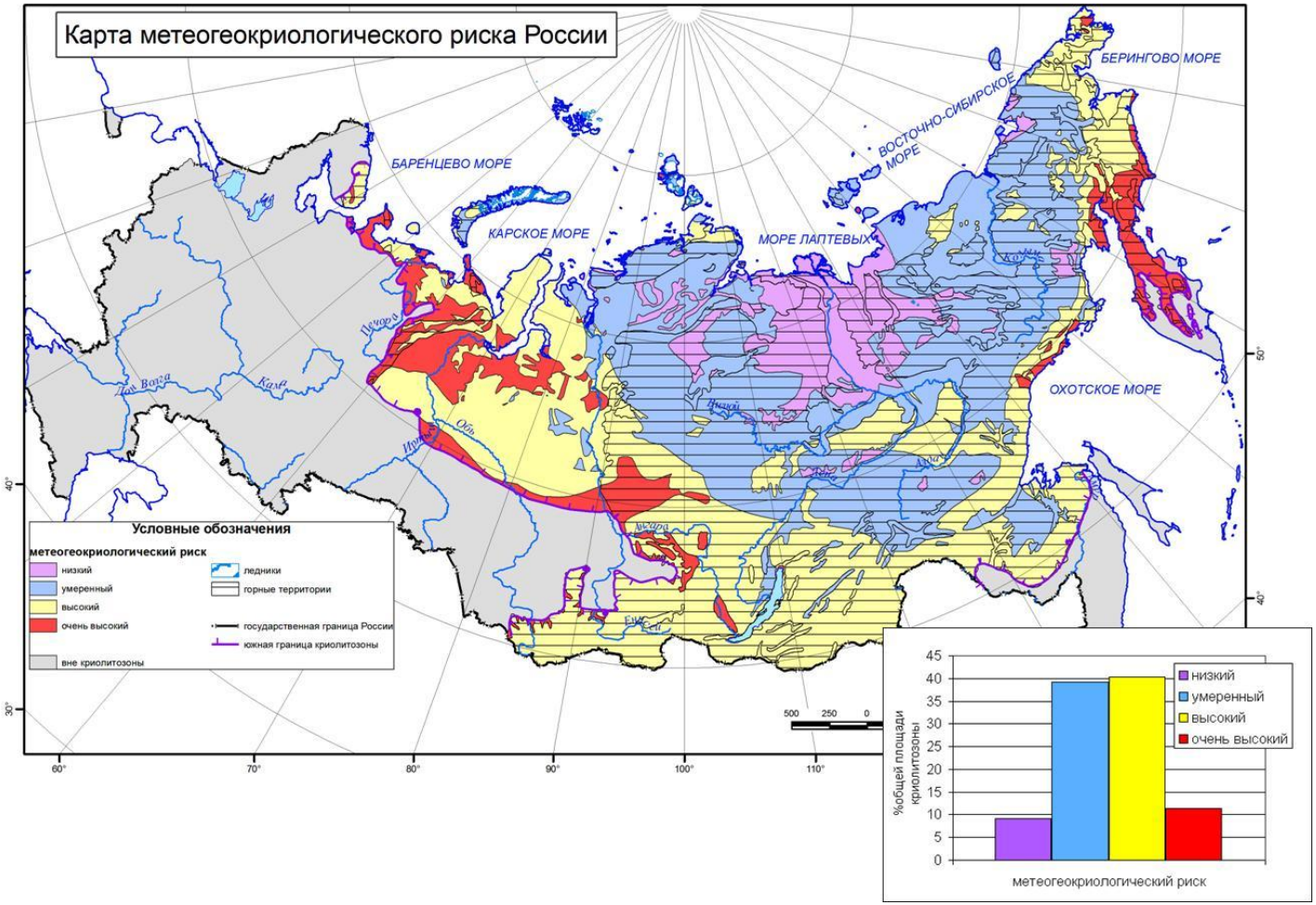


Рис.3. Карта метеогеокриологического риска криолитозоны России

Заключение

- **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 отепляющее воздействие на криолитозону.**
- Изучение теплового взаимодействия криолитозоны с атмосферой позволило качественно оценить современное состояние мерзлых пород. Разработана картографическая модель термической устойчивости криолитозоны.
- **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 высокогого метео геокриологического риска.
- **В зоны наибольшего риска попадают важные промышленно-хозяйственные регионы. К территориям со слабой устойчивостью относятся район Воркуты, северный и центральный Урал, приполярные области Западной Сибири и Красноярского края, протяженные отрезки трасс ВСТО и БАМа с тяготеющими к ним зонами освоения.**