

Исполнитель:

Некоммерческий фонд общественного
экологического развития
«Без рек как без рук»

Заказчик:

Общероссийская общественная организация
по охране и защите природных ресурсов
«Российское экологическое общество»

Основание подготовки отчета:

Договор № 147 от 24 марта 2021г. Этап №1

Отчет

Климатические исследования в бассейнах рек Архангельской области на фоне глобального изменения климата

Исполнитель:

*Г.В.Суркова,
Доктор географических наук,
Профессор кафедры метеорологии и климатологии
Географического Факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.*

Москва, июль, 2021

Оглавление

Современный климат.....	3
Прогноз климата и возможности его использования	17
Литература	22
ПРИЛОЖЕНИЕ	24
Прогноз изменения климатических показателей в 21 веке.....	24

Выполнена оценка многолетних колебаний режима температуры и осадков в последние десятилетия в бассейнах рек севера Архангельской области на фоне глобального изменения климата с учетом антропогенного влияния с привлечением данных наблюдений и моделирования.

Современный климат

Большая часть исследуемого региона располагается в умеренном климатическом поясе, его климат относится к атлантико-арктическому типу, на севере климат приобретает черты субарктического. За счет особенностей общей циркуляции атмосферы океаническое влияние преобладает здесь над материковым. Зимой это проявляется в направлении градиента температуры с северо-запада на юго-восток. Летом – в ходе относительной влажности, минимум которой на севере области падает на май-июнь в связи с влиянием холодных арктических морей, задерживающих весеннее нарастание тепла. Самый холодный месяц – январь. На побережье зима более мягкая, средняя температура за сезон $-8...-10^{\circ}\text{C}$. По мере продвижения в глубь территории ее суровость возрастает и средняя температура за зиму равна $-11...-14^{\circ}\text{C}$. В отдельные дни температура воздуха может понизиться до $-50...-55^{\circ}\text{C}$ на востоке и северо-востоке, до $-40...-42^{\circ}\text{C}$ на побережье.

Летом температура воздуха понижается по направлению с юга на север. Средняя температура за лето изменяется от $14-15^{\circ}\text{C}$ в южных и центральных районах до $10-12^{\circ}\text{C}$ на севере. Максимальная температура воздуха в отдельные дни достигает $33-36^{\circ}\text{C}$.

Средняя максимальная температура характеризует самую теплую часть суток (послеполуденные часы), средняя минимальная – температуру наиболее холодной части суток (ночные часы).

Годовой ход средней максимальной и минимальной температуры воздуха аналогичен годовому ходу средней месячной температуры (Рис. 1).

Годовой ход температуры воздуха в различных частях рассматриваемой территории однотипен, разница только в величине амплитуды. На побережье разность температур воздуха самого холодного и самого теплого месяцев составляет $20-24^{\circ}\text{C}$, в континентальных районах – $29-33^{\circ}\text{C}$.

Средняя годовая температура воздуха в Мезенском и Лешуконском районах Архангельской области отрицательная $-0,4...-1,2^{\circ}\text{C}$, в остальных районах – положительная $0,1-2,0^{\circ}\text{C}$.

Продолжительность холодного (средняя температура воздуха ниже 0°C) /теплого (средняя температура воздуха выше 0°C) периодов по территории изменяются от 197/168 до 165/200 дней. В Мезенском, Лешуконском и на севере Пинежского района Архангельской области холодный период длиннее теплого на 3-29 дней, на остальной территории обратная картина – теплый период длиннее холодного на 3-35 дней.

На юге теплый период наступает в начале апреля, на севере – в конце апреля-начале мая. Осенью переход средней суточной температуры воздуха через 0°C к отрицательной происходит во второй-третьей декадах октября.

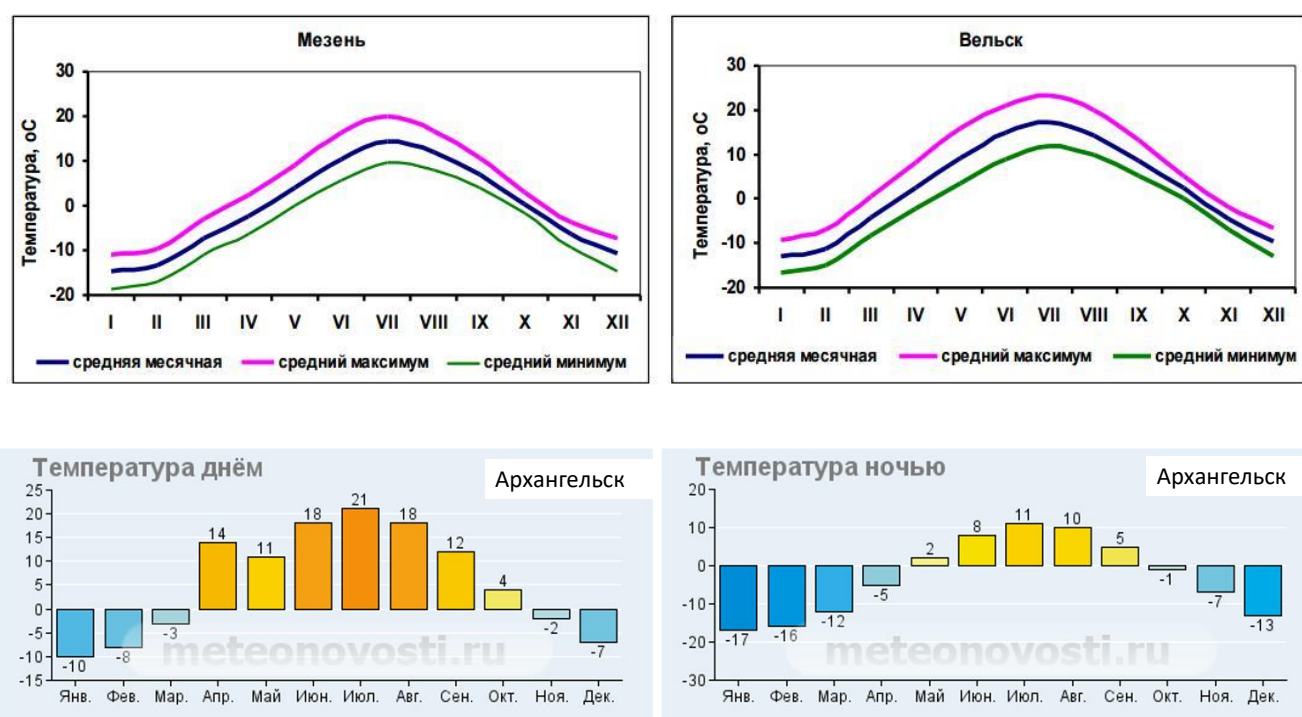


Рисунок 1. Годовой ход средней месячной температуры воздуха(по данным Росгидромета)

Географическое распределение различных направлений ветра (Рис.2) и его скоростей определяется сезонным состоянием поля атмосферного давления. В холодное время года ветровой режим рассматриваемой территории формируется преимущественно под влиянием исландского минимума. С сентября по март преобладают ветры южной четверти – юго-восточные, южные, юго-западные. В целом, за год на большей части области преобладают ветры южной четверти, однако местные особенности рельефа оказывают свое влияние на ветровой режим.

Летом интенсивность общей циркуляции атмосферы над всем Северным полушарием уменьшается. Западная часть Баренцева моря находится под воздействием области повышенного давления, север европейской части России находится в полосе пониженного давления, связанного с прогревом континента, и преобладают ветры северного и северо-западного направлений.

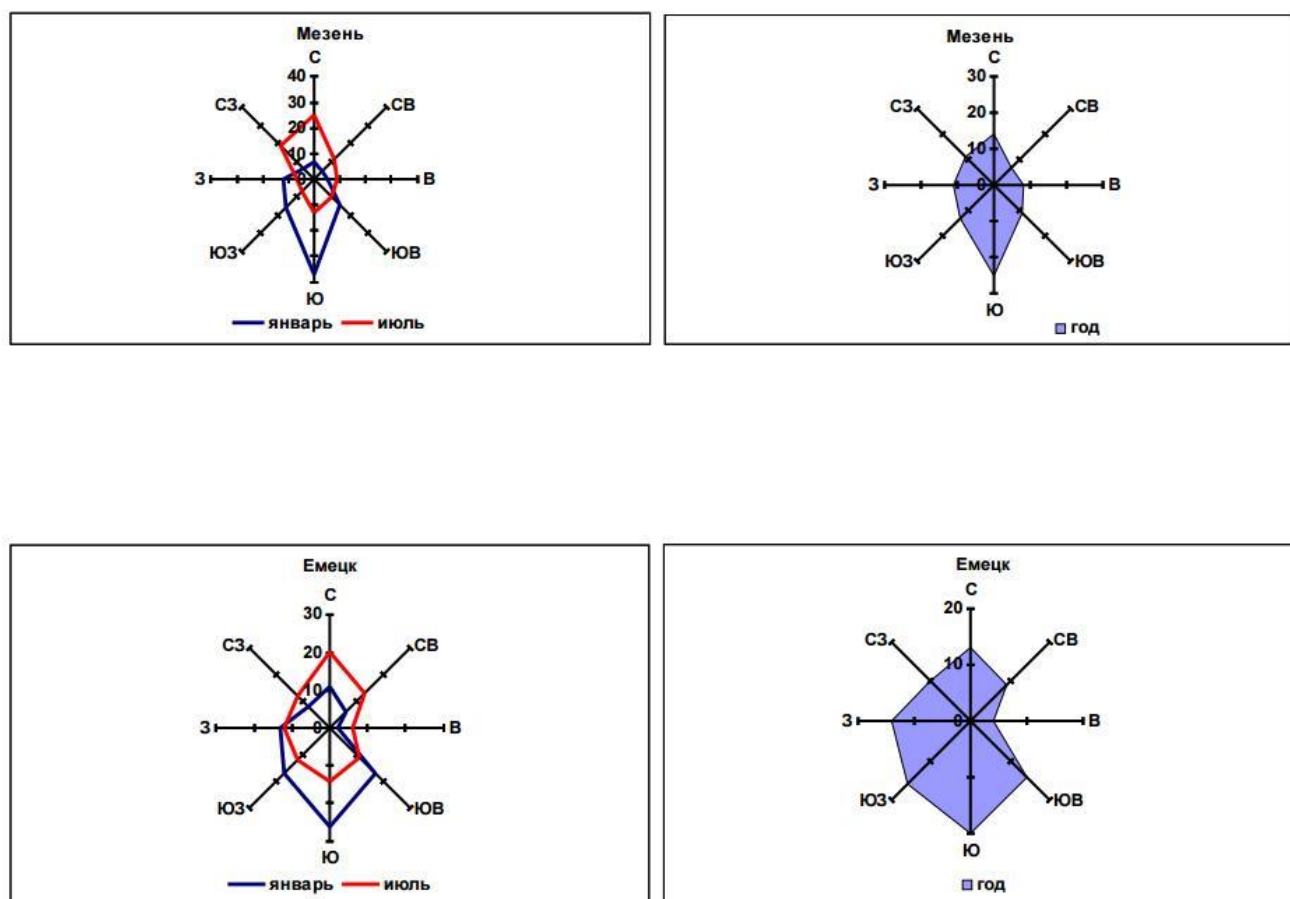


Рисунок 2. Повторяемость (%) направлений ветра (по данным Росгидромета)

В апреле практически повсеместно равновероятны ветры как южной, так и северной четверти.

Атмосферные осадки (Рис.3) определяются главным образом активной циклонической деятельностью. Особенно обильные осадки выпадают при южных циклонах. Циклоны с запада приносят осадки менее интенсивные, но более продолжительные. В годовом ходе осадков минимум приходится на зимние месяцы и начало весны. Максимум осадков, как правило, наблюдается в июле-августе.

Наибольшее количество осадков за год выпадает на Коношско-Няндомской возвышенности – более 700 мм. В удалении от моря годовое количество осадков колеблется в пределах 500-600 мм, на побережье – менее 500 мм.

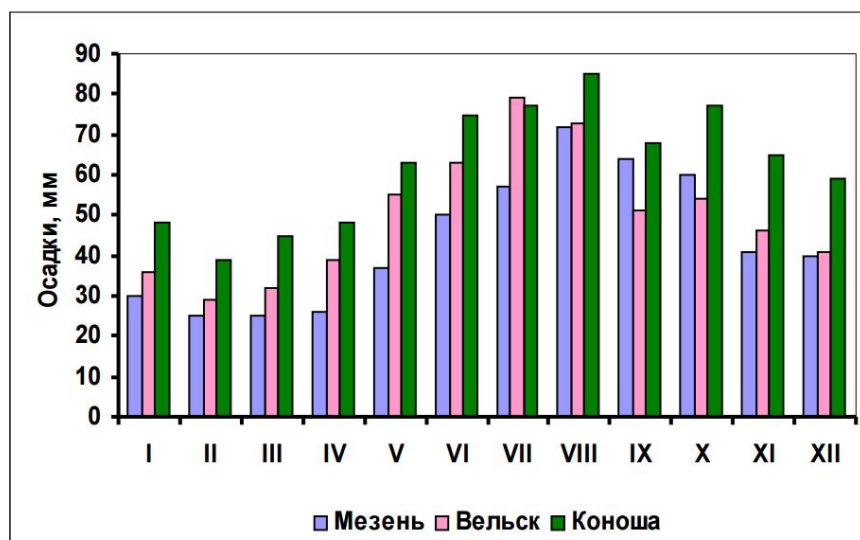


Рисунок 3. Годовой ход месячного количества осадков (по данным Росгидромета)

Амплитуда годового хода колеблется в пределах 40-50 мм. В теплый период (апрель - октябрь) выпадает 60-70 % годового количества осадков. Суточный максимум осадков представляет собой наибольшую сумму осадков, выпавших в течение метеорологических суток. Обычно его наибольшие значения наблюдаются в те же месяцы, на которые приходятся и наибольшие суммы осадков в году, т.е. на июль - август. Во время сильных ливневых дождей за сутки может выпасть количество осадков, равное месячной норме или превышающей ее. Так, в июле 1983 года в Вельске за сутки выпало более 90 мм осадков.

Годовое число дней с осадками $\geq 0,1$ мм по территории распределено следующим образом: на побережье 190-200 дней, при удалении от моря 200-220, на Коношско-Няндомской возвышенности 220-230 дней.

Распределение по месяцам (Рис.4) показывает, что чаще всего осадки отмечаются в осенне-зимний период.

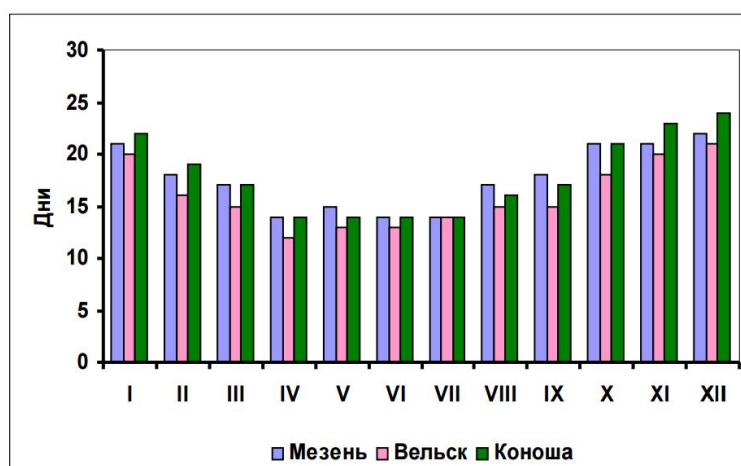


Рисунок 4. Годовой ход числа дней с осадками $\geq 0,1$ мм (по данным Росгидромета)

Относительная влажность воздуха представляет собой отношение парциального давления водяного пара, содержащегося в воздухе, к давлению насыщенного водяного пара при той же температуре, выраженное в процентах. Таким образом, она характеризует степень насыщения воздуха водяным паром и является важной характеристикой влажности.

Относительная влажность воздуха выше на побережье, чем в удалении от моря.

В годовом ходе относительной влажности воздуха максимум приходится на октябрь - ноябрь, а минимум – на весну или начало лета (Рис.5). Амплитуда годового хода возрастает с удалением от моря от 7% до 20-24%.

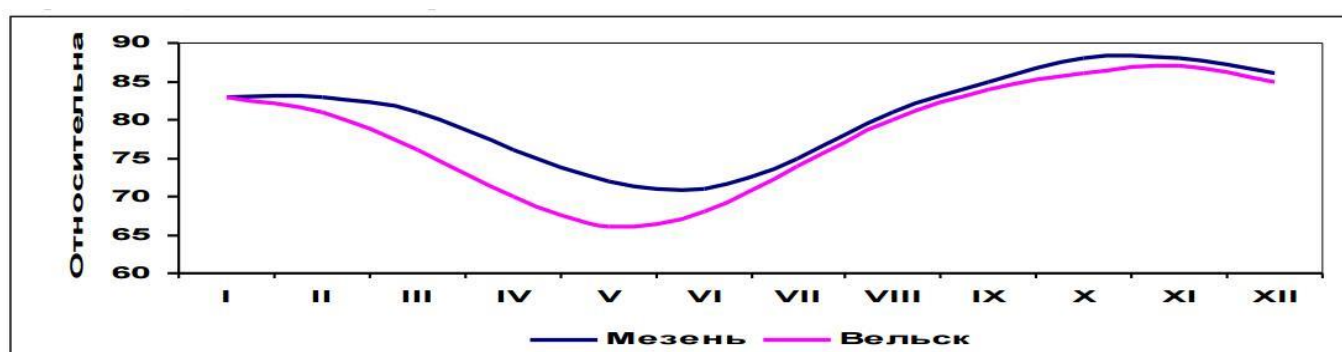


Рисунок 5. Годовой ход относительной влажности воздуха (по данным Росгидромета)

В северных континентальных районах устойчивый снежный покров образуется в конце октября, на остальной территории – в начале ноября. Раньше всего устойчивый снежный покров разрушается на юге – в середине апреля. На севере он задерживается до начала мая.

Туманы возможны в течение всего года, но чаще в теплый период.

Метели, как правило, наблюдаются с октября по май, но иногда бывают в июне и сентябре.

Грозы характерны для теплого времени года, но в редких случаях возможны зимой. В декабре 1977 года гроза наблюдалась в Архангельске и Северодвинске.

Град возможен повсеместно, но чаще он наблюдается в южных и центральных районах. Выпадение града обычно сопровождается ливневыми осадками, грозами и иногда шквалистым ветром. Градины в отдельных случаях могут достигать довольно крупных размеров. Например, в Вельске в августе 1968 года величина некоторых градин была около 40 мм. Такой же град наблюдался и в Архангельске в июле 1952 года.

В последние десятилетия наблюдаются особенно быстрые на фоне общих тенденций XX в. изменения климата, которые проявляют в перестройке режима температуры приземного воздуха, количестве атмосферных осадков и других показателях. На территории России, в том числе на севере Европейской территории России (ЕТР) тенденции этих изменений довольно устойчивы (Доклад об особенностях климата, 2021).

Оценки изменений климатических показателей выполнены по данным наблюдений на метеорологических станциях Росгидромета РФ (Булыгина и др., <http://meteo.ru>).

Для расчета аномалий (отклонений наблюденных значений от «нормы») в качестве «нормы» используются многолетние средние за период 1961-1990 гг. (по рекомендации ВМО) значения метеоэлементов.

Для построения карт пространственного распределения среднемесячных аномалий температуры воздуха использованы данные, поступающие в Росгидромет по каналам связи в виде телеграмм «КЛИМАТ».

Пространственное осреднение (для территории России в целом и для семи квазиоднородных регионов) за период с 1936 по 2019 гг. выполнено по данным 383 станций России

Детализация структуры месячных аномалий выполнена по данным 8-ми срочных наблюдений, поступающим по каналам связи в виде сообщений «СИНОП».

Исследование режима атмосферных осадков на территории России проводилось по данным инструментальных наблюдений месячного разрешения, с 1936 по 2019 гг., на тех же станциях государственной наблюдательной сети России, которые привлекались для анализа температурного режима.

Результаты показывают, что на территории России наблюдается рост температуры как в среднем за год, так и во все сезоны (Рис. 6). Наиболее заметно он выражен весной. При этом скорость изменения имеет существенные пространственные различия.

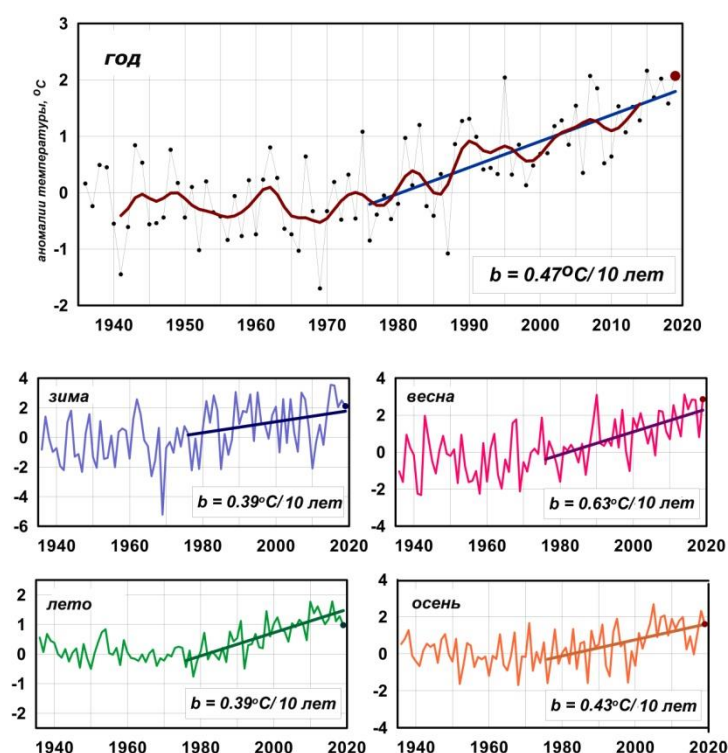


Рис. 6. Аномалии среднегодовой и среднесезонной температуры воздуха, осредненной по территории России, за период 1939-2020гг. (от нормы за период 1961-1990 гг.) (Доклад об особенностях климата, 2021)

На Рис.7-10 представлены карты скорости изменений по квазиоднородным климатическим регионам за период 1939-2020гг. Бассейны рек севера Архангельской области относятся в основном к первому региону. В таблице 1 приведены значения скорости изменения в этом регионе средней температуры по сезонам. Из этих результатов следует, что наименьший рост температуры происходит летом и осенью.

Таблица 1. Скорость изменения температуры воздуха на севере ЕТР по сезонам, °C/10 лет

Зима	Весна	Лето	Осень
0.21	0.37	0.14	0.13

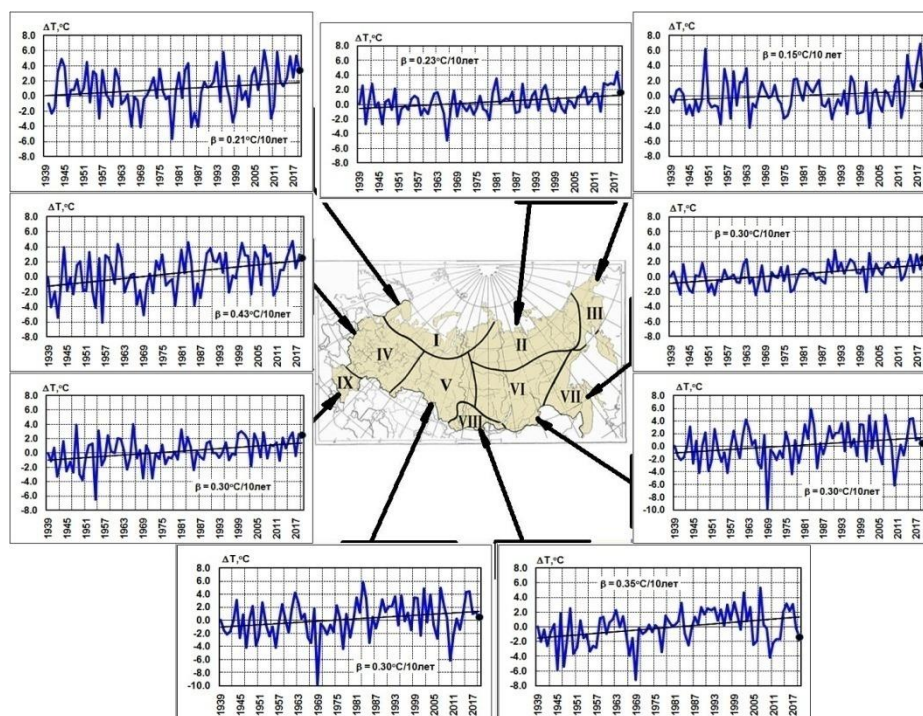


Рис. 7. Аномалии (отклонения от средних за период 1961-1990 гг.) осредненной по территории квазиоднородных климатических районов средней за зиму (декабрь - февраль) температуры воздуха за период 1939-2020 гг. (Доклад об особенностях климата, 2021)

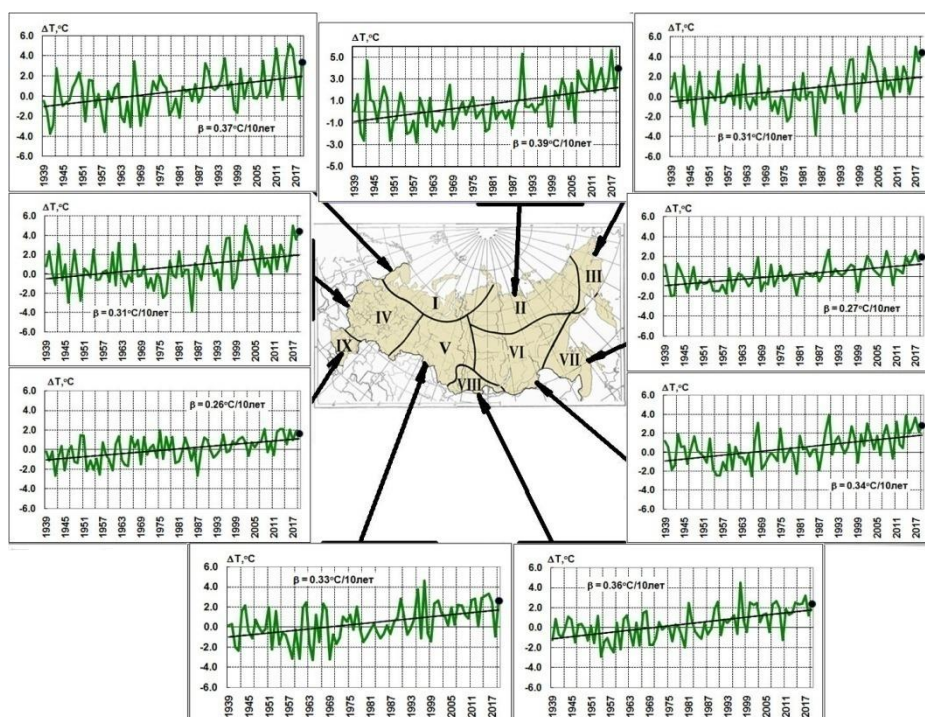


Рис. 8. Аномалии (отклонения от средних за период 1961-1990 гг.) осредненной по территории квазиоднородных климатических районов средней за весну (март - май) температуры воздуха за период 1939-2020 гг. (Доклад об особенностях климата, 2021)

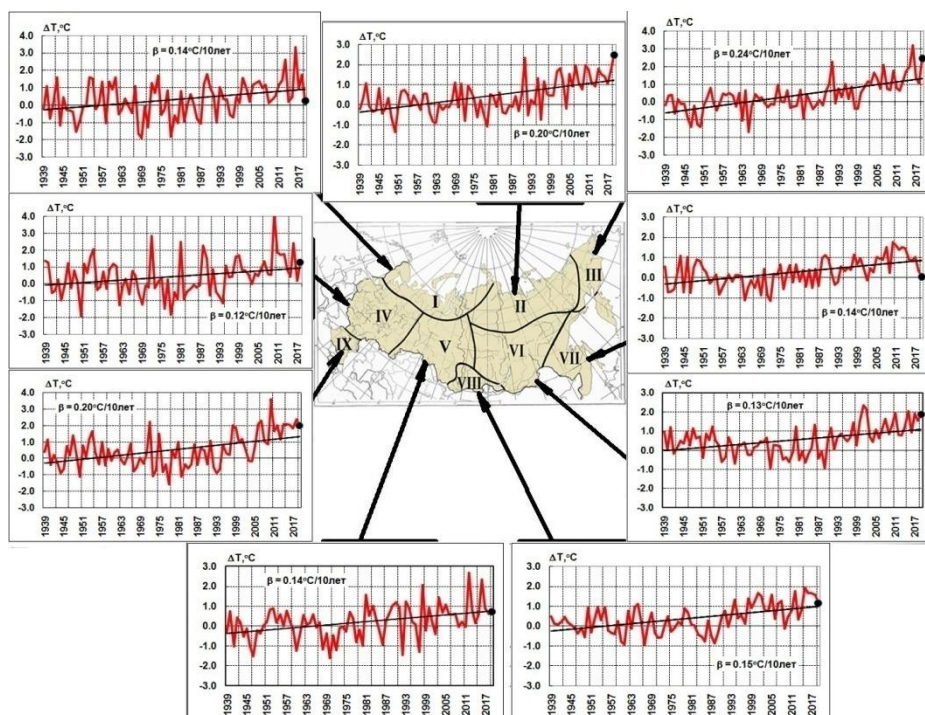


Рис. 9. Аномалии (отклонения от средних за период 1961-1990 гг.) осредненной по территории квазиоднородных климатических районов средней за лето (июнь-август) температуры воздуха за период 1939-2020 гг. (Доклад об особенностях климата, 2021)

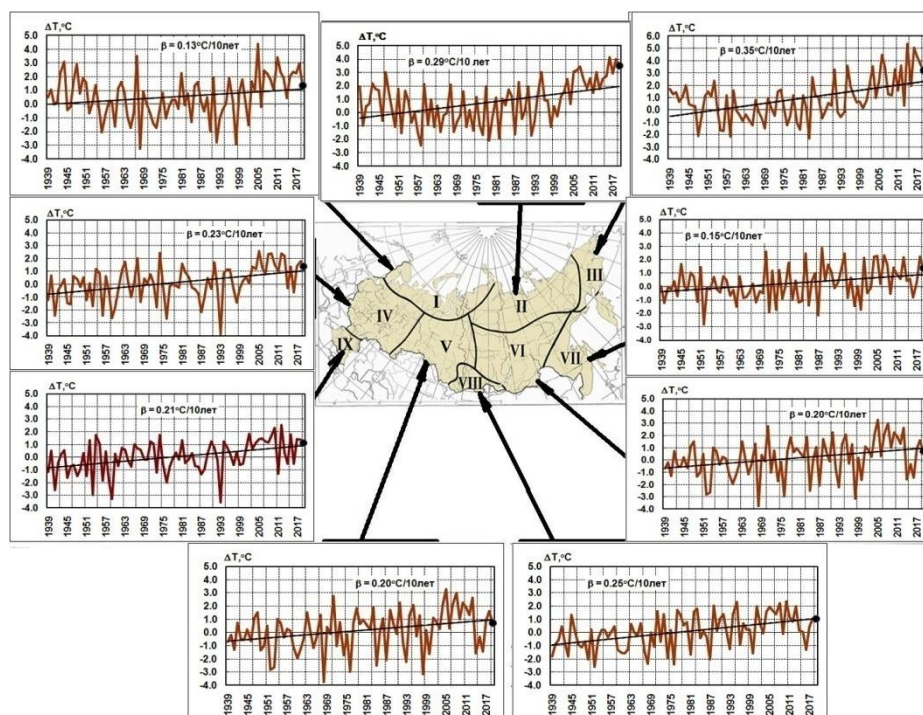


Рис. 10. Аномалии (отклонения от средних за период 1961-1990 гг.) осредненной по территории квазиоднородных климатических районов средней за осень (сентябрь-ноябрь) температуры воздуха за период 1939-2020 гг. (Доклад об особенностях климата, 2021)

Из карт, представленных на Рис.11 следует, что даже в пределах климатических регионов интенсивность потепления различна. Средняя годовая скорость потепления убывает с севера на юг. В зимний период скорость потепления уменьшается с запада на восток. Весной отмечается возрастание показателя с юго-запада на северо-восток, летом – с запада на восток, осенью в пределах региона показатели близки.

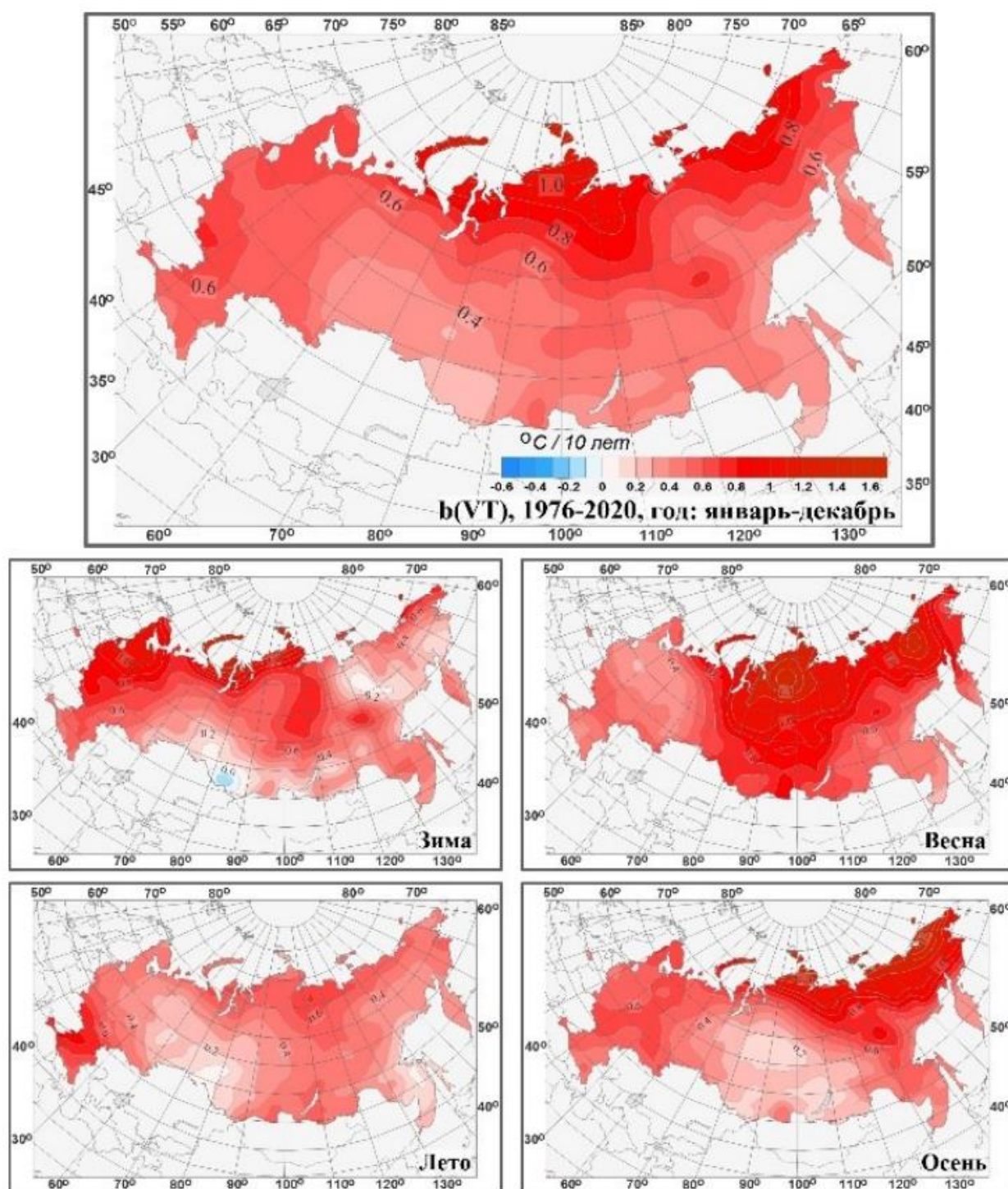


Рисунок 11. Коэффициент линейного тренда среднегодовой и средних сезонных значений температуры приземного воздуха на территории России за период 1976-2020 гг. ($^{\circ}\text{C}/10$ лет), (Доклад об особенностях климата, 2021).

С ростом температуры увеличивается продолжительность теплого периода (Рис.12)

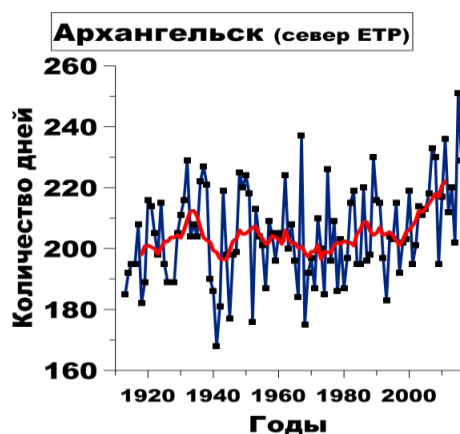


Рис.12. Изменение продолжительности периода с температурой выше 0°C

Тенденции изменения осадков в Архангельской области слабо положительны в целом за год и по сезонам (Рис.12).

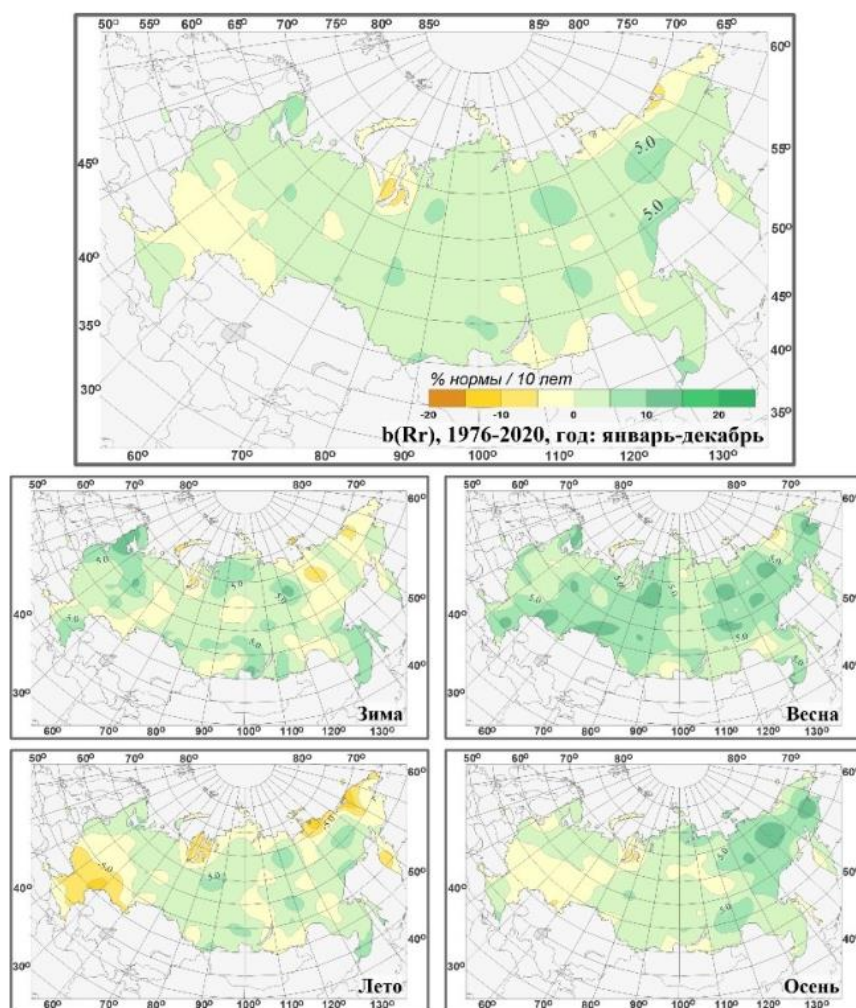


Рисунок 12. Пространственные распределения локальных коэффициентов линейного тренда годовых и сезонных сумм атмосферных осадков за 1976-2020 гг. на территории России (% / 10 лет). (Доклад об особенностях климата, 2021)

Рост температуры воздуха, продолжительности холодного периода, изменение количества осадков в исследуемом регионе приводят к перестройке гидрологического режима. Анализ временной изменчивости основных характеристик ледового режима арктических рек показал, что некоторые тенденции в изменении этих характеристик становятся заметны лишь после 1990 г. В результате смещения сроков ледовых явлений изменение продолжительности ледостава и периода с ледовыми явлениями при сравнении двух периодов (1961–1990 и 1991 – 2014 гг.) составляет 10–14 сут. для европейской территории и лишь 3–4 для северо-востока. Сокращение продолжительности периода ледостава на реках европейского сектора происходит преимущественно за счет более частых случаев экстремально позднего установления ледостава и экстремально раннего его окончания. Некоторое смягчение зимних условий не приводит к значительным снижениям средних значений толщины льда к концу зимнего сезона (Agafonova et al., 2017).

Таблица 2. Изменение характеристик ледового режима (при сравнении 2 периодов: 1961–1990 и 1991–2014 гг.) (Agafonova et al., 2017)

Районы	Изменение		
	продолжительности		наибольшей толщины льда
	ледостава, сут	периода с ледовыми явлениями, сут	
Кольский	12–13	10–11	5–10
Карелия	13–14	11–12	10–15
Европейский Север	11–12	9–10	5–10

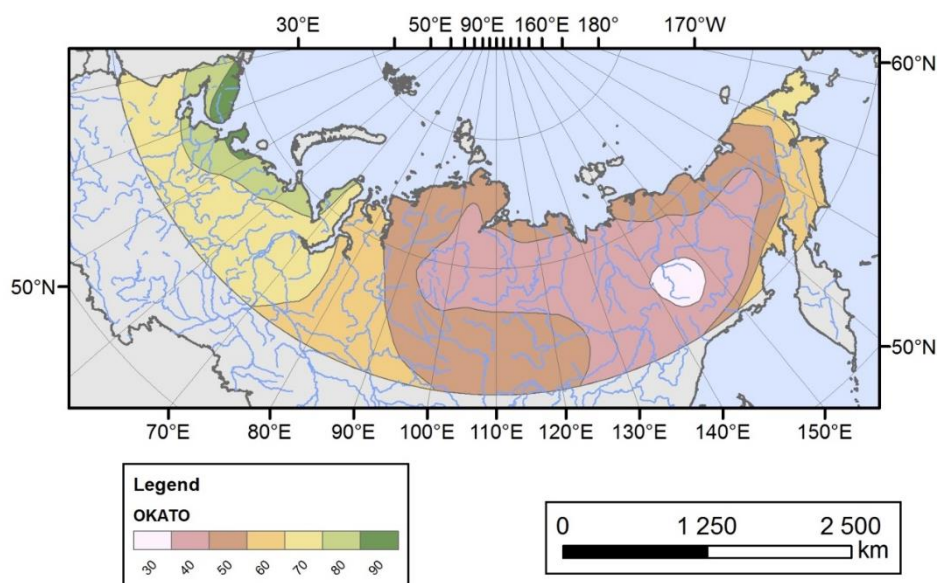


Рис. 4. Оценка изменения продолжительности периода ледостава (при сравнении 2 периодов: 1961–1990 и 1991–2014 гг.)(Agafonovaetal., 2017)

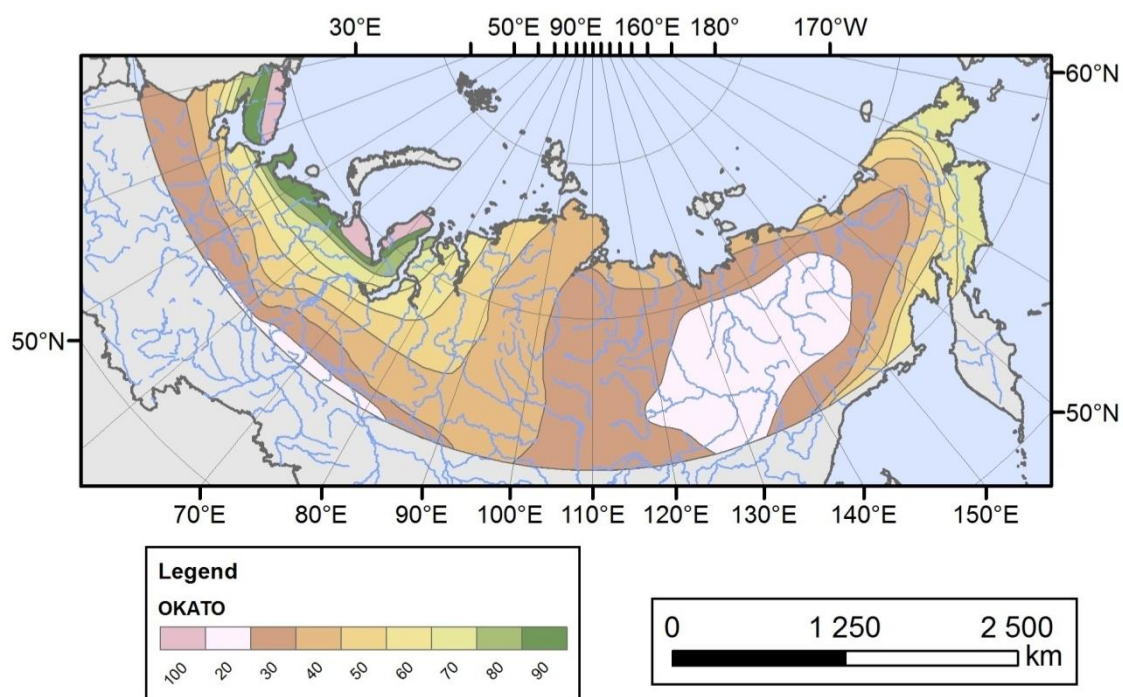


Рис. 5. Оценка изменения продолжительности ледовых явлений (Agafonovaetal., 2017)

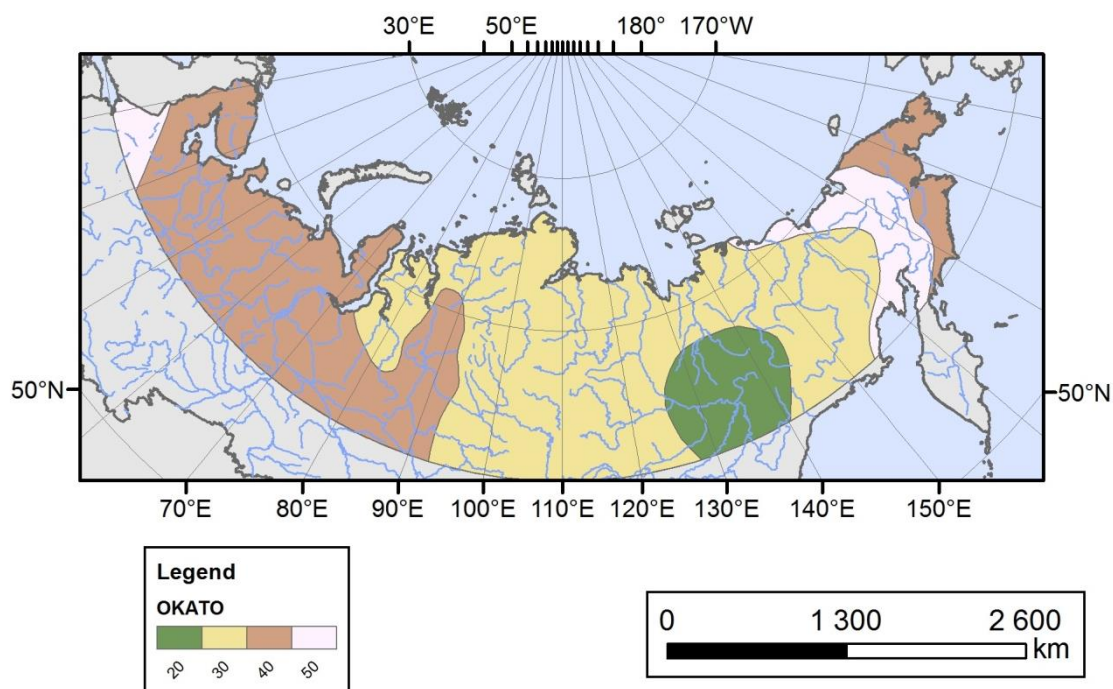


Рис. 6. Оценка изменения наибольшей толщины льда (%) (Agafonova et al., 2017)

Прогноз климата и возможности его использования

Расчет прогнозируемых изменений климатических показателей в 21 веке выполнен Г.В.Сурковой по результатам вычислительных экспериментов крупнейшего международного проекта CMIP5 (Taylor et al., 2012). Согласно полученным в рамках CMIP5 прогнозам основных климатических характеристик, именно в Арктике предполагаются наиболее заметные флуктуации не только с точки зрения климата, но и всей климатической системы, включая гидросферу, биосферу, криосферу, педосферу. Это не может не повлиять на различные направления хозяйственной и иной деятельности стран, участвующих в освоении природных ресурсов исследуемого региона.

Среди основных вычислительных экспериментов CMIP5, важных с точки зрения оценки дальнейшего отклика севера ЕТР на изменения климата, были использованы следующие:

- эксперимент *historical*, в котором изменение внешних воздействий задано в соответствии с наблюдениями и соответствует 1850–2006 гг.;

– эксперимент по сценарию RCP8.5 (Representative Concentration Pathway, число 8.5 означает радиационный форсинг в Вт/м² от всех внешних воздействий в 2100 г.) для 2006–2100 гг. Этот сценарий является экстремально теплым и служит для получения большого и статистически значимого отклика на увеличение концентрации парниковых газов;

В Приложении приводятся результаты по климатическим показателям для сценария RCP8.5 – наиболее «жесткого» сценария CMIP5 в плане возможного воздействия внешних, в том числе антропогенных, факторов на климатическую систему с учетом политики регулирования выбросов парниковых газов. Радиационный форсинг численных экспериментов RCP8.5 выражен в задании увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере до такой степени, что к концу 21 века их роль в радиационном балансе возрастает на 8.5 Вт/м². Оценки СВП выполнены по результатам численных экспериментов модели Института вычислительной математики РАН (Володин и др., 2013) в рамках проекта CMIP5.

Оценки изменений СВП представлены в виде отклонений соответствующих показателей для двух периода будущего 2046–2065, 2081–2100 гг. от «контрольного» периода 1961–1990 гг. СВП включают 3 раздела: 1) термические показатели, 2) осадки, 3) ветер и ветроэнергетические показатели. Полный список представлен в таблице 3.

Таблица 3. Социально-важные показатели

	Термические характеристики
	Средняя многолетняя годовая средняя суточная температура воздуха
	Средняя многолетняя месячная средняя суточная температура воздуха
	Минимальная средняя суточная температура воздуха, С
	Максимальная средняя суточная температура воздуха, С
	Годовая амплитуда средней суточной температуры воздуха, С
	Годовая сумма положительных температур воздуха, С, градусо-дни
	Годовая сумма отрицательных температур воздуха, С, градусо-дни
	Годовая сумма температур за вегетационный период (Т>10С), градусо-дни
	Число дней в году со средней суточной температурой воздуха t<0С
	Число дней в году со средней суточной температурой воздуха t>0С
	Число дней в году со средней суточной температурой воздуха t>5С
	Число дней в году со средней суточной температурой воздуха

	$t > 10^{\circ}\text{C}$
	Число дней в году со средней суточной температурой воздуха - $-5 < t < 5$
	Индекс потребления топлива. для $t < 18^{\circ}\text{C}$, градусо-дни
	Характеристики увлажнения
	Средняя многолетняя годовая сумма осадков
	Средние многолетние месячные суммы осадков
	Среднее годовое количество осадков при температуре $t > 0$
	Среднее годовое количество осадков при температуре $t < 0$
	Среднее годовое количество осадков при температуре $t > 5$
	Среднее годовое количество осадков при температуре $t > 10$
	Смешанные осадки: среднее годовое количество осадков при температуре $-5 < t < 5$

Термические показатели

Оценка температурного режима для целей различных отраслей науки и производства начинается с анализа данных о средних значениях температуры воздуха. На основе этих сведений формируется общее представление о тепловых ресурсах за год или отдельные периоды. Базовыми показателями такого рода являются средние годовые и средние месячные температуры. Существенным дополнением к средним показателям являются данные о максимальной и минимальной температуре и ее суточной и годовой амплитуде. Широкое применение в разных отраслях получили суммы температур воздуха и продолжительность периодов с определенной средней суточной температурой – один из основных показателей термических ресурсов территории. Эти показатели также активно используют в качестве предиктора при расчетах, зависящих от них биологических, экономических и других характеристик.

Согласно климатическому прогнозу средние значения температуры воздуха к концу века постепенно увеличиваются во все месяцы года практически по всей Арктике (рис. П1.1–П1.3). Аномалии средней январской температуры и средней годовой возрастают в направлении полюса до $14\text{--}16^{\circ}\text{C}$ и более (2081–2100 гг.). Причина такой согласованности в том, что лето короткое и средние годовые значения определяются больше холодным сезоном. Структура поля летних аномалий иная – они больше всего выражены в Баренцевом и Карском морях ($3\text{--}5^{\circ}\text{C}$), на большей части морской акватории они составляют $1\text{--}2^{\circ}\text{C}$ и повсеместно убывают к северу. На побережье величина аномалии убывает с запада на восток. Это связано с тем, что наиболее заметные изменения над морями связаны с уменьшением площади морского льда и сдвигом его границы к полюсу. Максимальные аномалии приходятся как раз на те районы, которые по

прогнозу освободятся ото льда. Более выраженные аномалии над сушей летом связаны с уменьшением площади снежного покрова.

Годовая амплитуда температуры повсеместно уменьшается за счет большего роста минимальных значений по сравнению с максимальными (рис. П1.4–П1.6). Особенно заметны изменения на севере Баренцева моря (на $-14\dots-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 2081–2100 гг.). Кроме того, общее уменьшение амплитуды усиливается в направлении полюса.

Наибольший рост годовой суммы положительных температур отмечается над Баренцевым и Норвежским морями (рис. П1.7). В то же время в этом районе наименее выражены аномалии годовой суммы отрицательных температур (рис. П1.8).

Суммы температур вегетационного периода ($t > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) заметнее всего возрастают над сушей, с удалением от которой к северу они быстро убывают (рис. П1.9).

Число дней со средней суточной температурой ниже нуля уменьшается повсеместно (рис. П1.10), но наибольшие аномалии отмечаются на севере Баренцева и над Гренландским морем в поясе $75\text{--}80\text{ }^{\circ}\text{C.ш.}$ Для этой же территории характерно наиболее заметное увеличение к концу 21 века числа дней с температурой больше $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. П1.11–П1.13).

Особое значение имеет диапазон температуры $-5 < t < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, так как при этом могут выпадать смешанные осадки, возникать гололедные явления. Поле аномалий числа дней с такими температурами включает территории с разными знаками отклонений (рис. П1.14). Над Норвежским и Баренцевым морями рост температуры таков, что к середине и к концу 21 века она гораздо чаще, чем в современном климате выходит за рамки $-5 < t < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, поэтому число дней с такой температурой к концу века здесь уменьшается. Над большей частью остальной части Арктики, напротив, рост температуры приводит к увеличению повторяемости таких дней.

Информативным показателем для энергетики является индекс потребления топлива (градусо-дни), в некоторых странах называемый индексом нагревания, представляющий модуль суммы температур, превышающих $18\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$ИПТ = \sum |t - 18| ,$$

где t – средняя суточная температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$. Суммирование производят по дням, когда $t < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура воздуха $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ служит порогом комфортности отапливаемых помещений. Величина отклонения реальной температуры воздуха в сторону уменьшения от этой величины пропорциональна затратам энергии на отопление. В связи с этим индекс потребления топлива служит для относительной оценки количества необходимого топлива и затрат топливно-энергетического комплекса на эту сферу.

Прогнозируемый рост температуры влечет повсеместное уменьшение *ИПТ* (рис. П1.15), что к середине 21 века более всего заметно на севере Баренцева моря, а к концу века поле изаномал имеет практически широтную структуру с возрастанием значений в направлении полюса.

Осадки

Прогностические аномалии сумм осадков – средних величин и сумм для различных температурных диапазонов – усиливаются к концу 21 века, при этом поле аномалий имеет более сложную структуру по сравнению с аномалиями температуры, значения аномалий сумм осадков как положительные, так и отрицательны.

Наиболее увеличение годовой и январской суммы осадков (рис. П2.1, П2.2) приходится на северную часть Баренцева моря. В то же время аномалии минимальны и близки к нулю у северных берегов Скандинавии. Такая близость отклонений разных знаков может косвенно свидетельствовать о возможности смещения траекторий движения циклонов, с которыми связаны практически все осадки, выпадающие в этом регионе. Изменение сумм июльских осадков (рис. П2.3) невелико как в середине века, так и в конце.

Полезными дополнительными характеристиками режима увлажнения помимо общих сумм осадков является их количество в различных температурных диапазонах.

Рост температуры воздуха приводит к увеличению в Арктике числа дней с положительной температурой и увеличению количества осадков, выпадающих в этих условиях (рис. П2.4), т.е. возрастает вероятность выпадения их в жидком или смешанном виде. В то же время количество осадков, выпадающих при отрицательной температуре (т.е. преимущественно твердых или смешанных) уменьшается (рис. 2.5). Эти аномалии сильнее всего выражены над Норвежским и Баренцевым морями. Количество жидких осадков к концу века должно возрасти (рис. П2.6, П2.7), поскольку возрастает число дней с температурой больше 5 °С и 10 °С. Наиболее заметно это на севере ЕТР.

Еще один отдельный важный показатель – осадки, выпадающие при температуре около 0 °С. Это может быть и ледяной дождь, и смешанные осадки, которые могут приводить к опасным гололедно-изморозевым явлениям. Согласно прогнозу на фоне роста температуры воздуха в Арктике возрастает число дней с температурой $-5 < t < 5$ °С (рис. П1.14), возрастает и годовое количество осадков за год, выпадающих в таких неблагоприятных условиях, что повышает риски, связанные с обледенением (рис. П2.8). Наибольший рост количества осадков

такого типа предполагается к концу века в высоких широтах к северу от 80 °с.ш., над Норвежским и Баренцевым морями, напротив, аномалии отрицательны, поскольку здесь на фоне потепления повторяемость дней с температурой больше 5° С возрастает. На побережье аномалии выражены слабо, поскольку число дней в этом диапазоне температур меняется незначительно.

Литература

Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. «ОПИСАНИЕ МАССИВА ДАННЫХ СУТОЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ НА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ РОССИИ И БЫВШЕГО СССР (TTTR)» Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942.<http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных>

Володин Е.М., Дианский Н.А., Гусев А.В. Воспроизведение и прогноз климатических изменений в XIX-XXI веках с помощью модели земной климатической системы ИВМ РАН // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2013. Т.49. № 4. С.379-400.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. – Москва, 2021. – 104 стр.

Agafonova S.A., Frolova N.A., Surkova G.V., Koltermann K.P. Modern characteristics of the ice regime of russian arctic rivers and their possible changes in the 21st century // GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY) 2017, том 10, № 4, с. 4-15 DOI

IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Edited by T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley. — Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, USA. 2013. 1535 p.

Moss R. H., Babiker M., Brinkman S., Calvo E., Carter T., Edmonds J., Elgizouli I., Emori S., Erda L., Hibbard K., Jones R., Kainuma M., Kelleher J., Lamarque J.F., Manning M., Matthews B., Meehl J., Meyer L., Mitchell J., Nakicenovic N., O'Neill B., Pichs R., Riahi K., Rose S., Runci P., Stouffer R., van Vuuren D., Weyant J., Wilbanks T., van Ypersele J.P., Zurek M. Towards New Scenarios for

Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva. 2008. 132 pp.

Moss R.H., Edmonds J.A., Hibbard K.A., Manning M.R., Rose S.K., van Vuuren D.P., Carter T.R., Emori S., Kainuma M., Kram T., Meehl G.A., Mitchell J.F.B., Nakicenovic N., Riahi K., Smith S.J., Stouffer R.J., Thomson A.M., Weyant J.P., Wilbanks T.J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*. 2010. Vol. 463. P. 747-756. doi:10.1038/nature08823

Taylor K., Stouffer R. J., and Meehl G. A.. An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. —*Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2012, vol. 93, pp. 485–498.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Прогноз изменения климатических показателей в 21 веке

1. ТЕРМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

2. ОСАДКИ

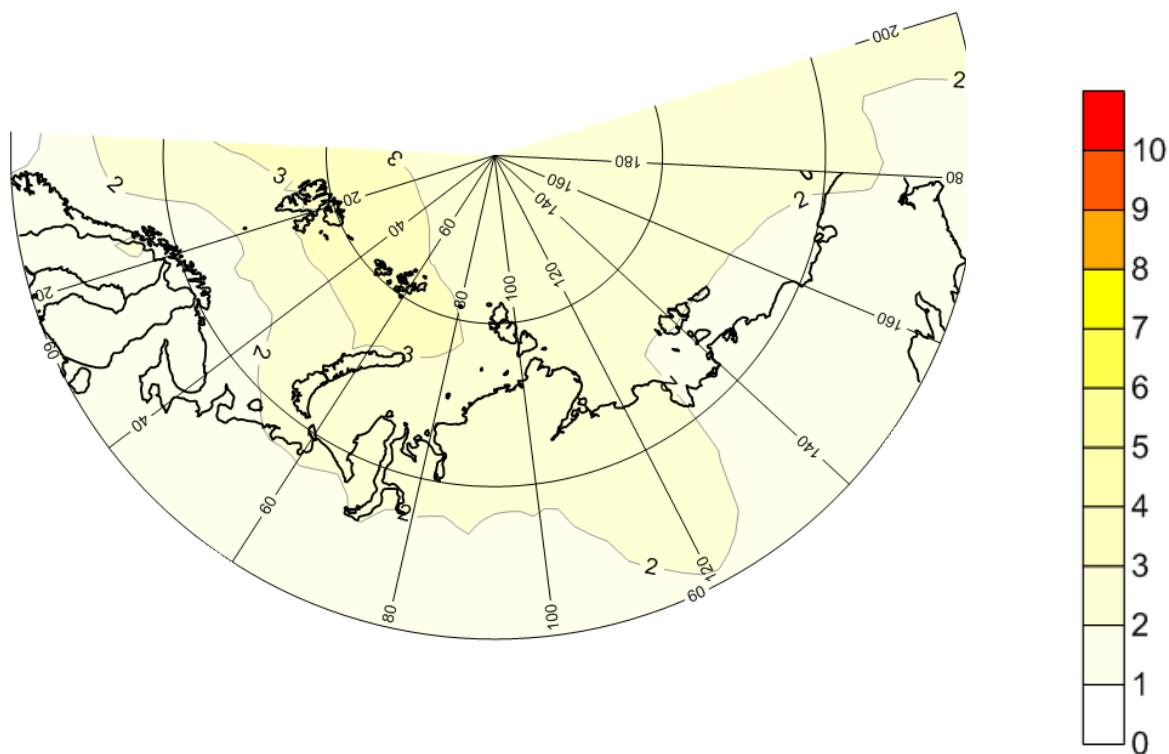
Отклонения (изменения) показателей даются относительно периода 1961-1989 гг. по результатам модели ИВМ РАН (Володин и др., 2013) для сценария RCP8.5 (Mossetal., 2008; Mossetal., 2010; Tayloretall., 2012)

для двух временных периодов 2046–2065, 2081–2100 гг.

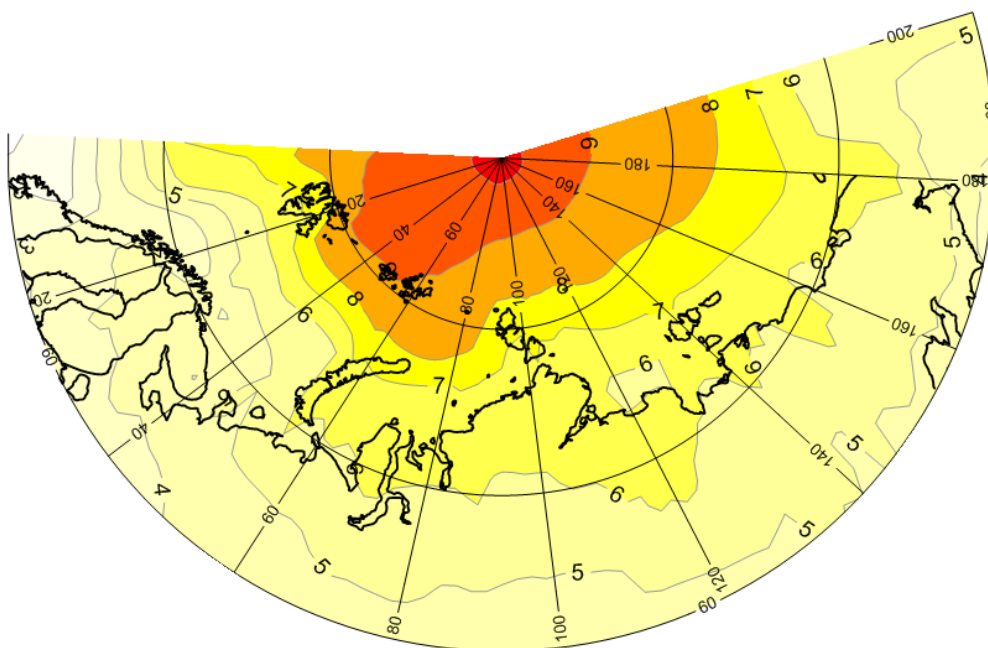
1. ТЕРМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

П1.1. Прогноз аномалий средней годовой температуры воздуха, С

2046–2065

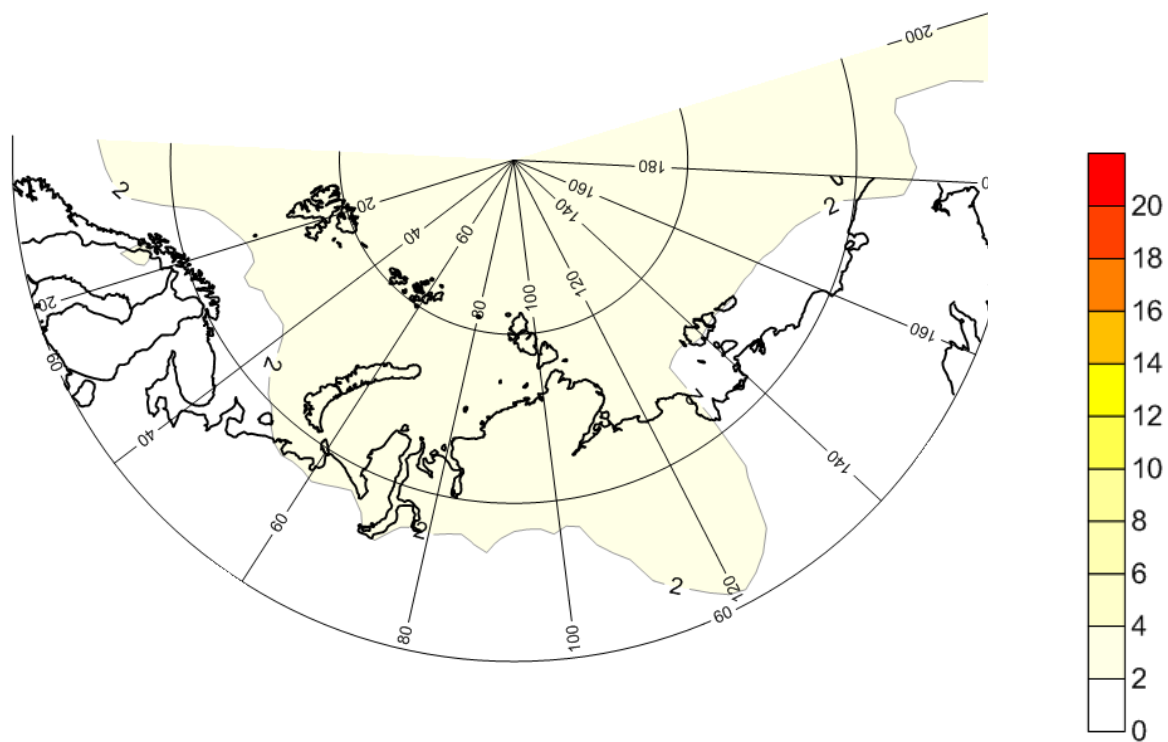


2081-2100

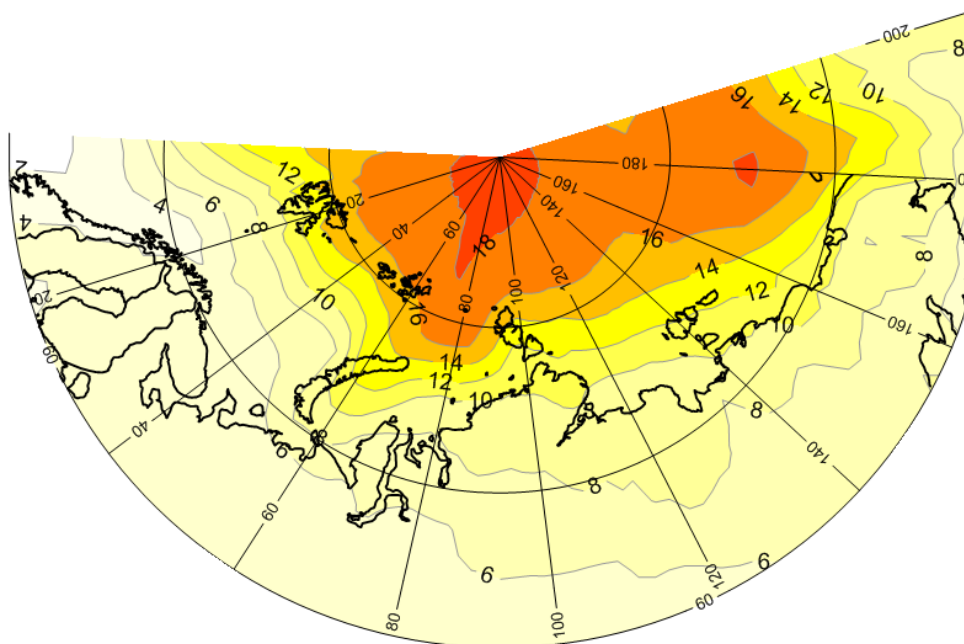


П1.2. Прогноз аномалий средней месячной температуры воздуха, январь, С

2046–2065

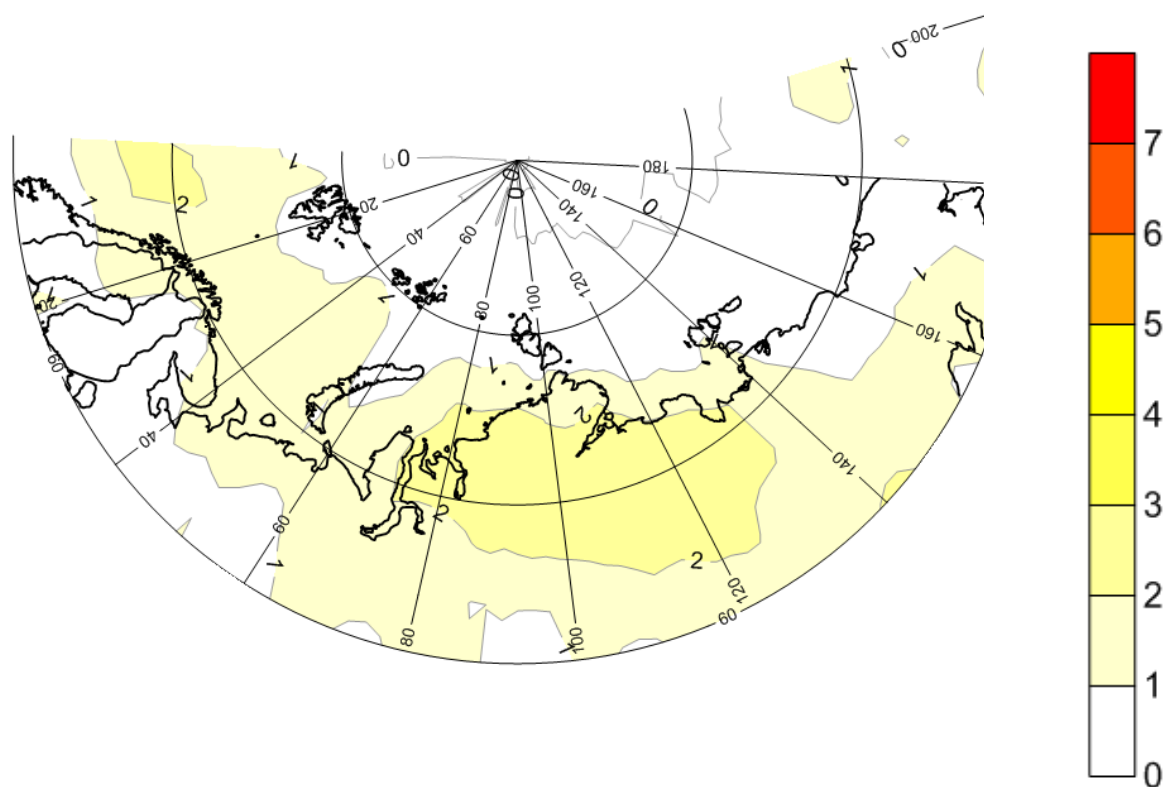


2081-2100

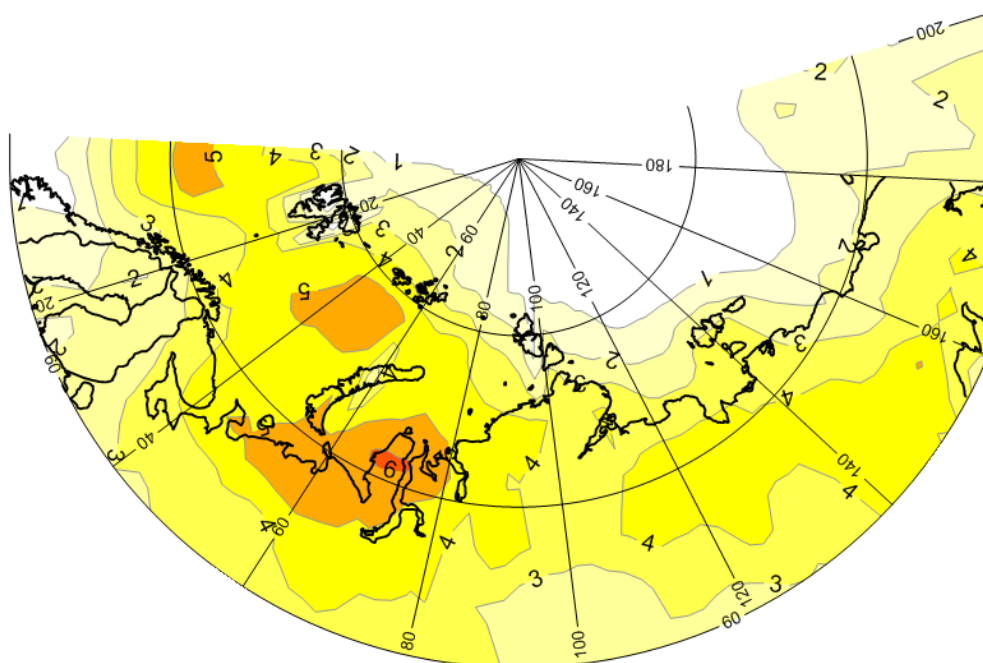


П1.3. Прогноз аномалий средней месячной температуры воздуха, июль, С

2046–2065

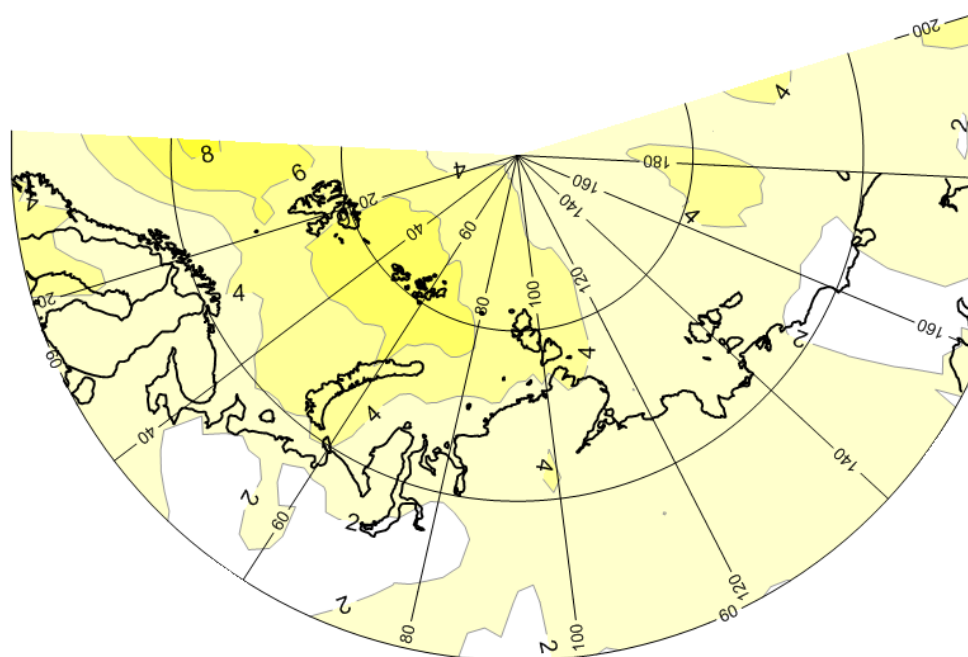


2081-2100

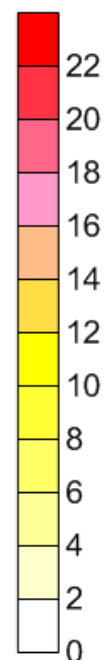
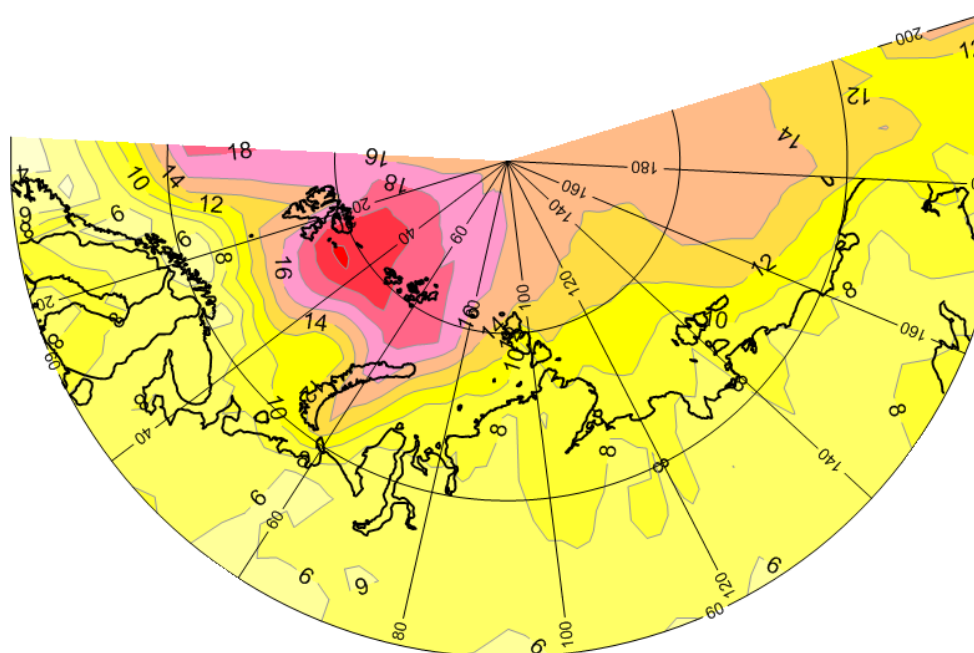


П1.4. Прогноз аномалий минимальной средней суточной температуры воздуха, С

2046–2065

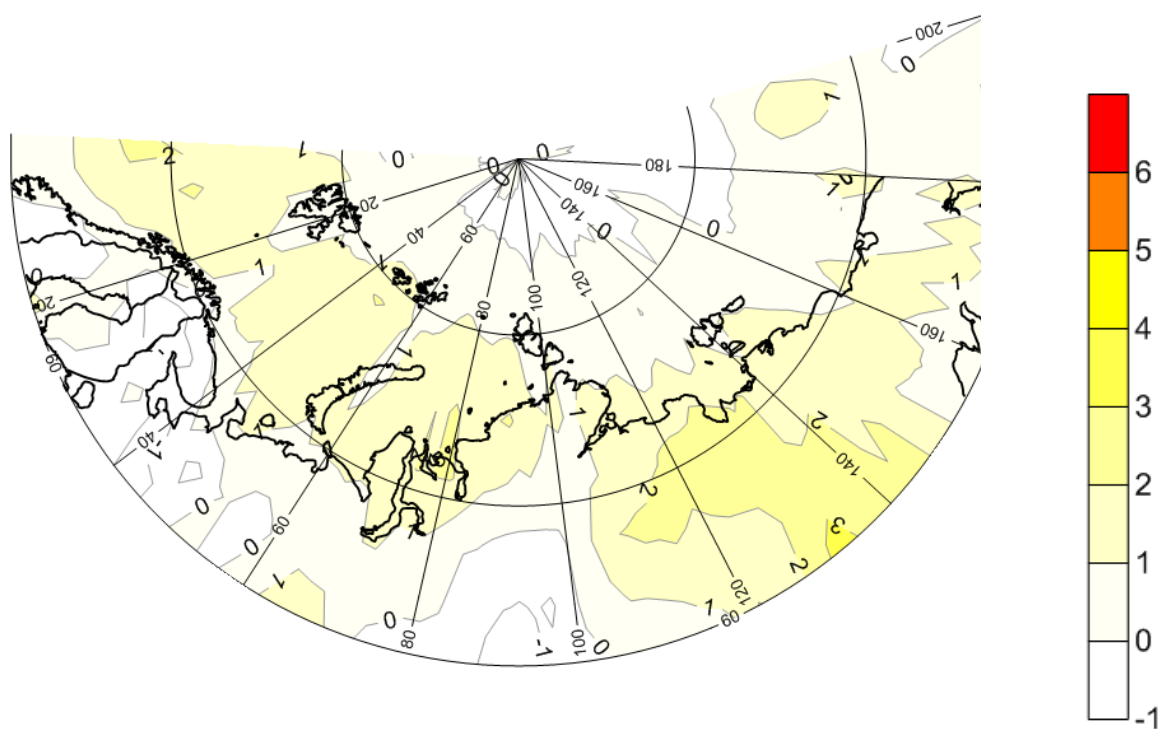


2081-2100

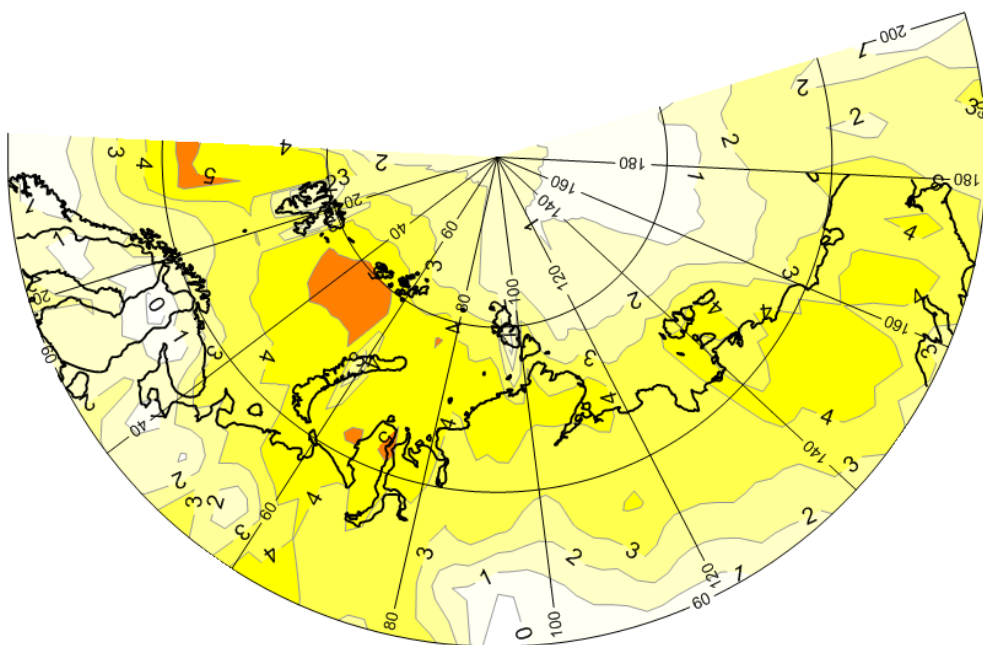


П1.5. Прогноз аномалий максимальной средней суточной температуры воздуха, С

2046–2065



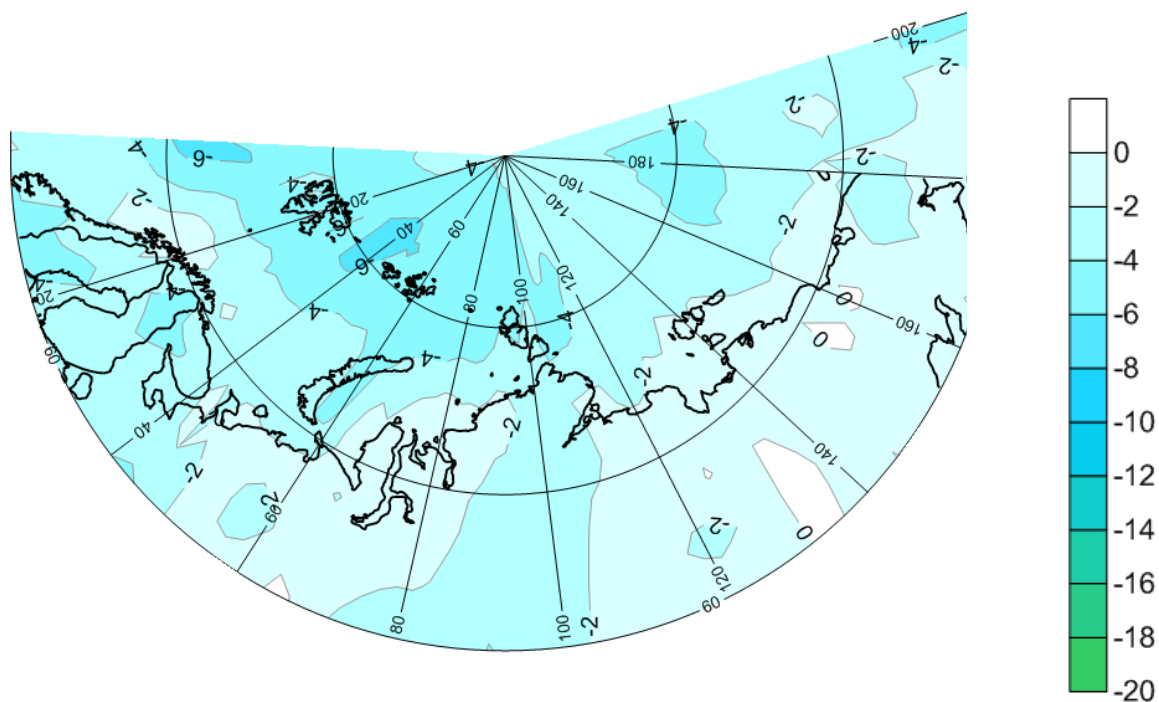
2081-2100



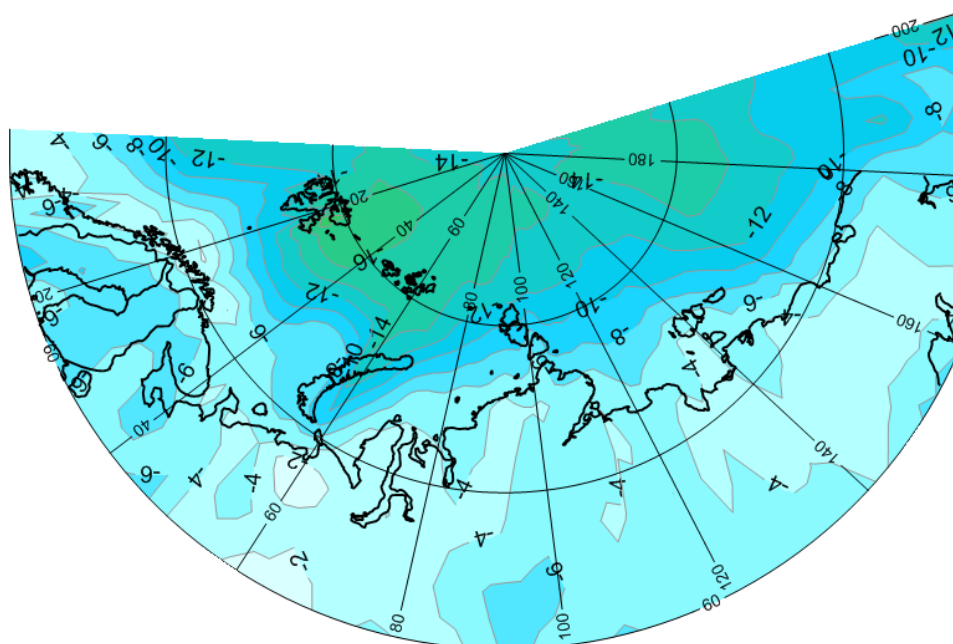
П1.6. Прогноз аномалий годовой амплитуды средней суточной температуры воздуха,

С

2046–2065

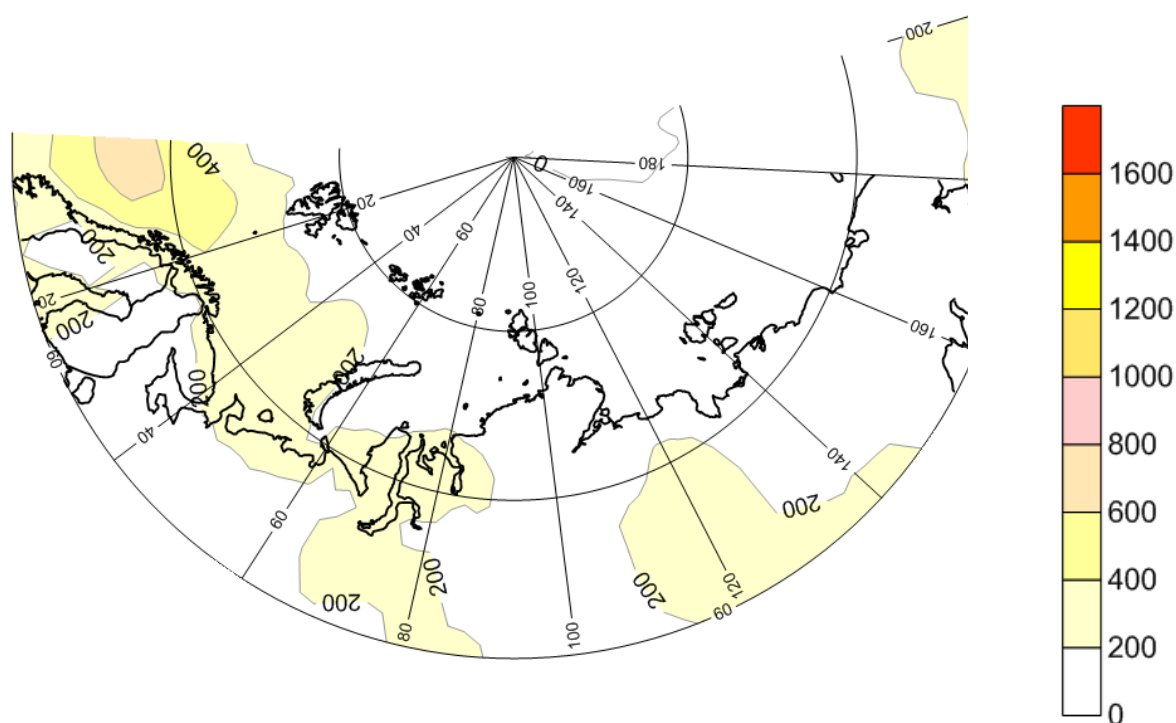


2081–2100

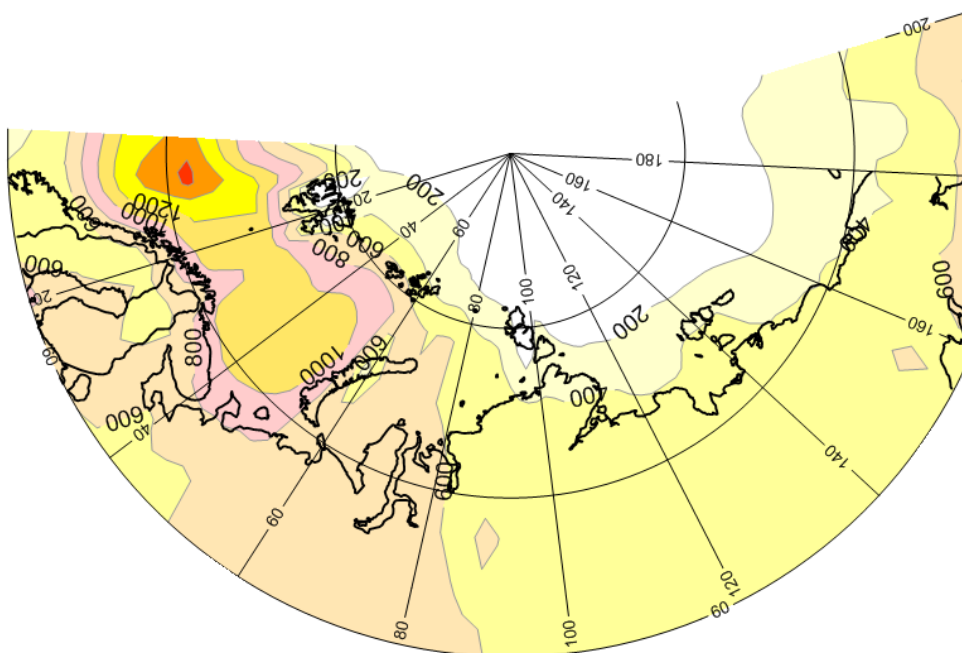


П1.7. Прогноз аномалий годовой суммы положительных температур воздуха, градусо-дни

2046–2065

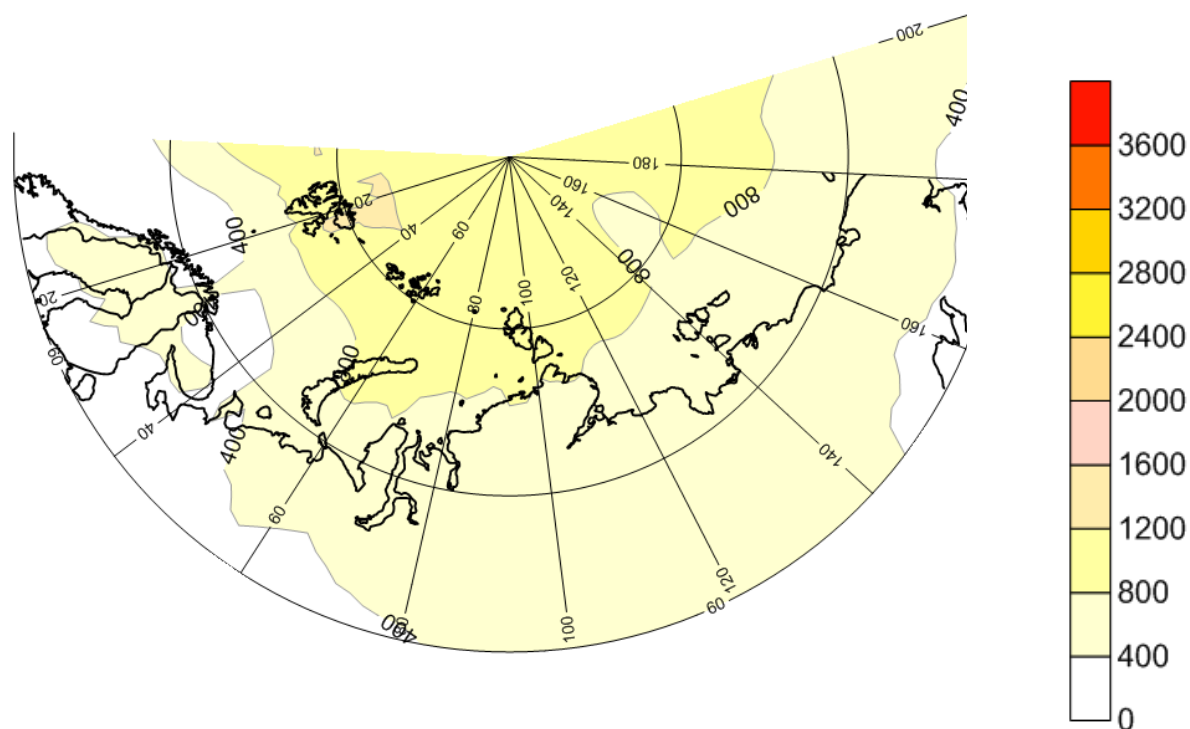


2081-2100

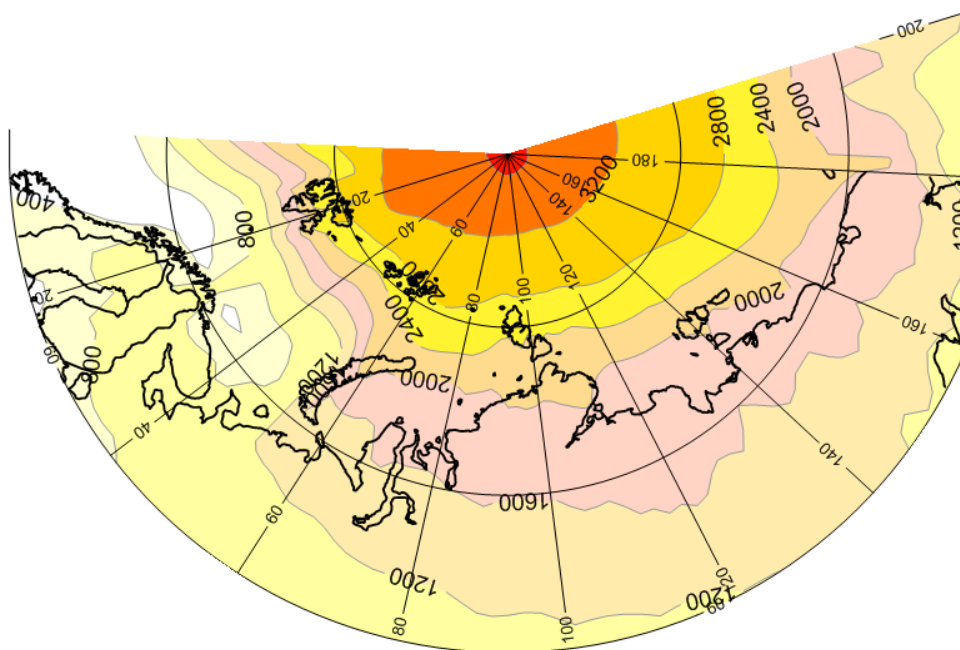


П1.8. Прогноз аномалий годовой суммы отрицательных температур воздуха, градусо-дни

2046–2065

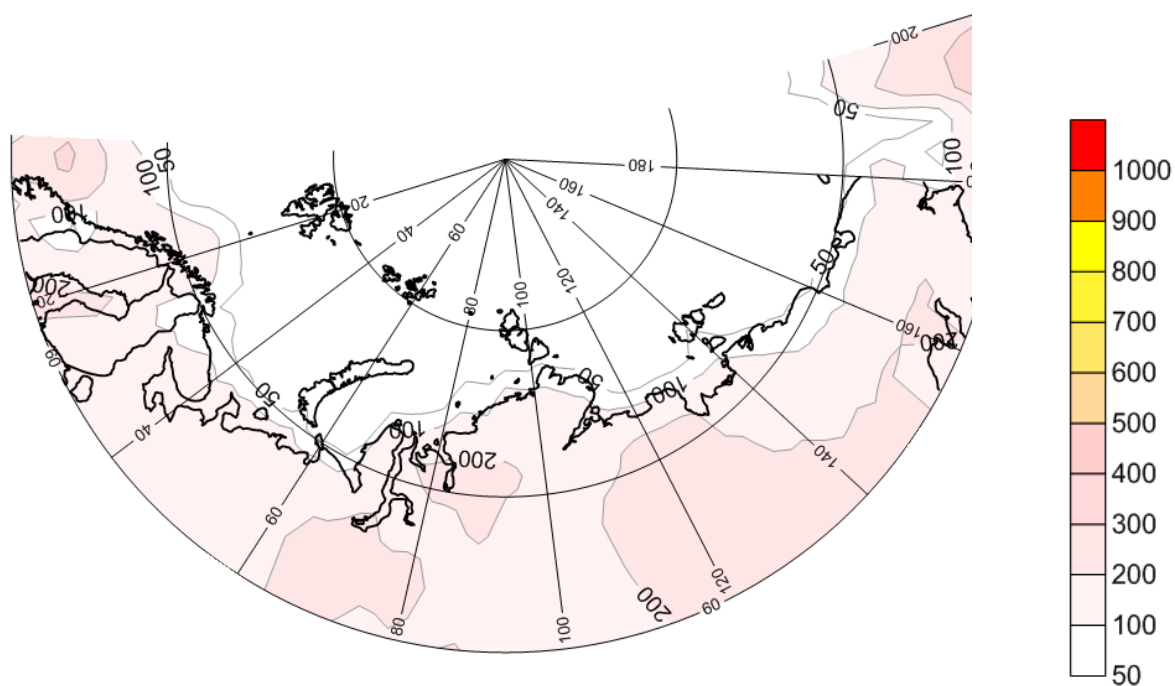


2081-2100

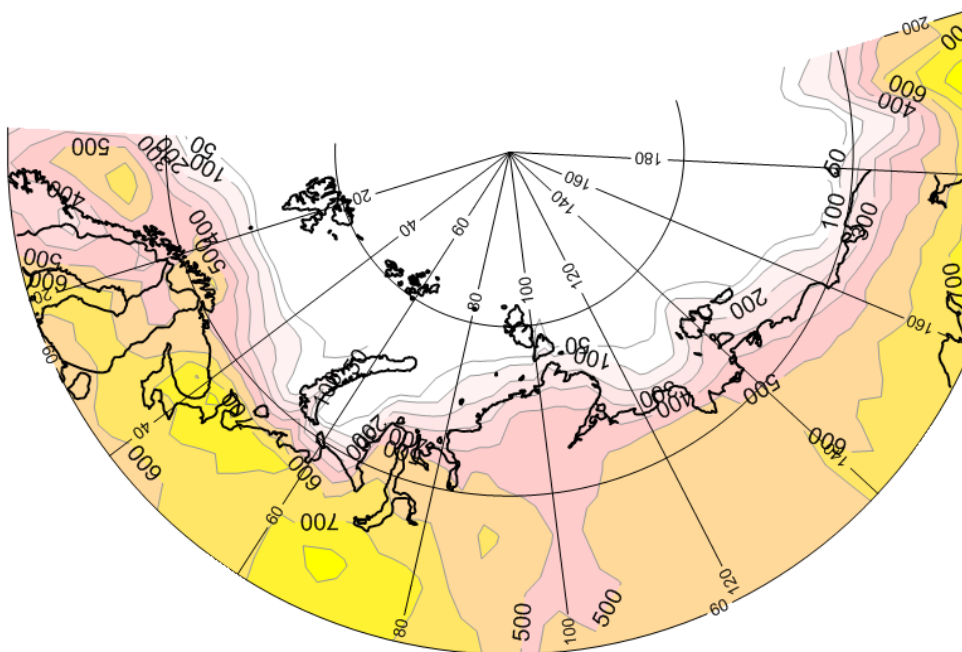


П1.9. Прогноз аномалий годовой суммы температуры вегетационного периода ($t > 10^\circ\text{C}$), градусо-дни

2046–2065

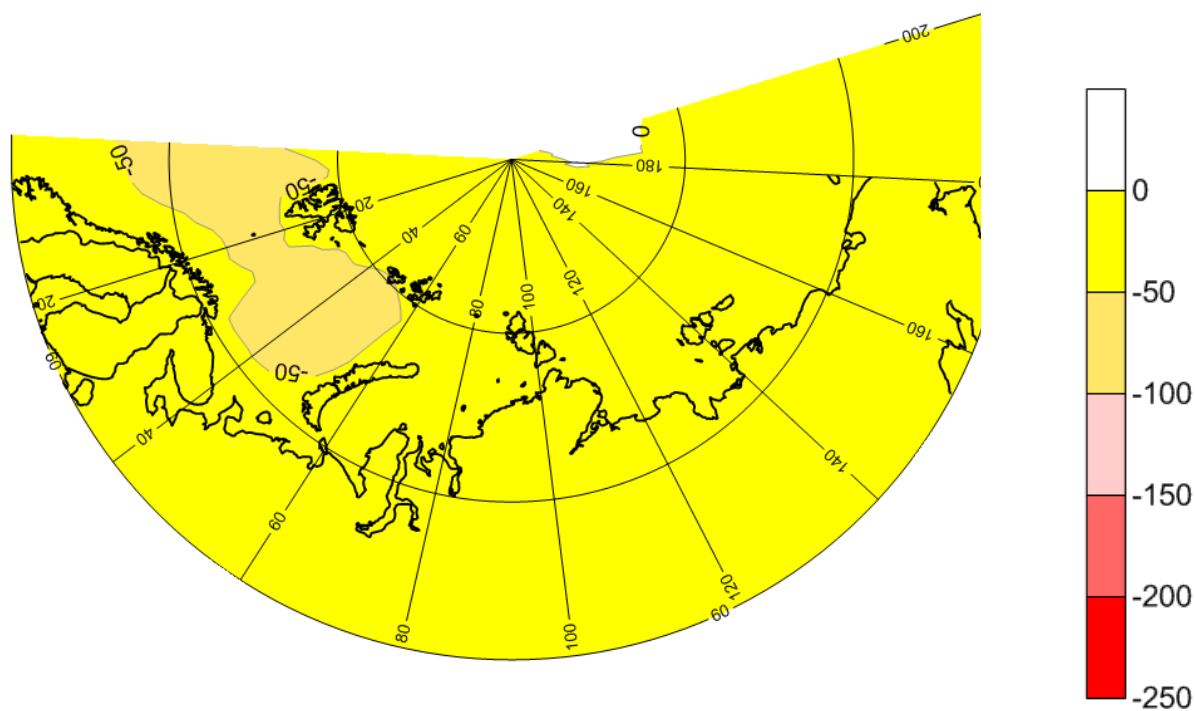


2081-2100

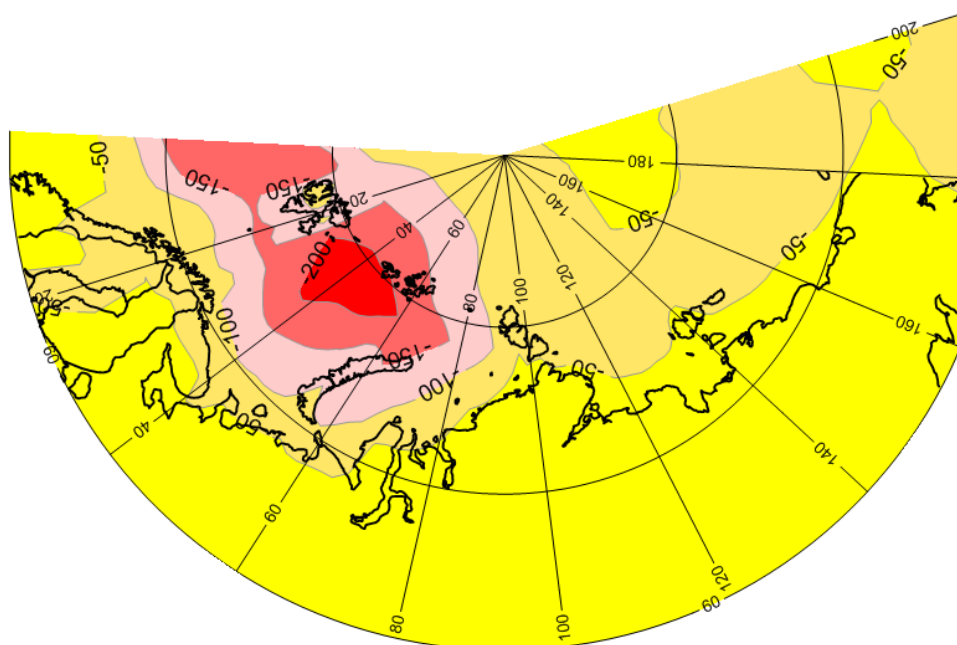


П1.10. Прогноз аномалий числа дней в году со средней суточной температурой воздуха $t < 0$ С

2046–2065

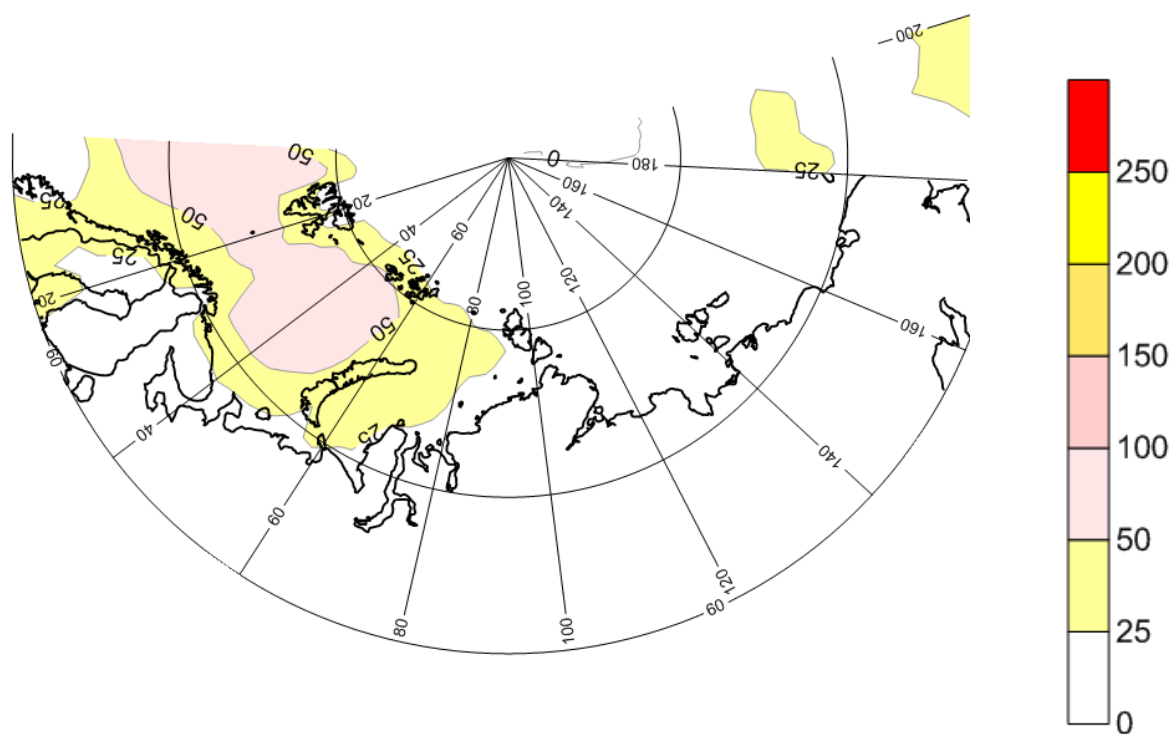


2081-2100

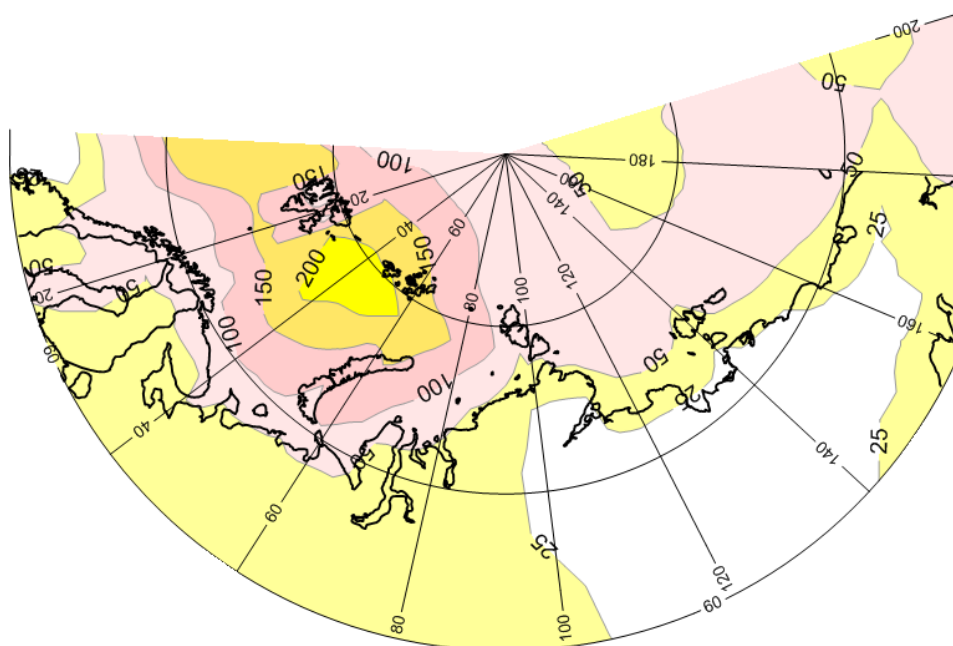


П1.11. Прогноз аномалий числа дней в году со средней суточной температурой воздуха $t > 0$ С

2046–2065

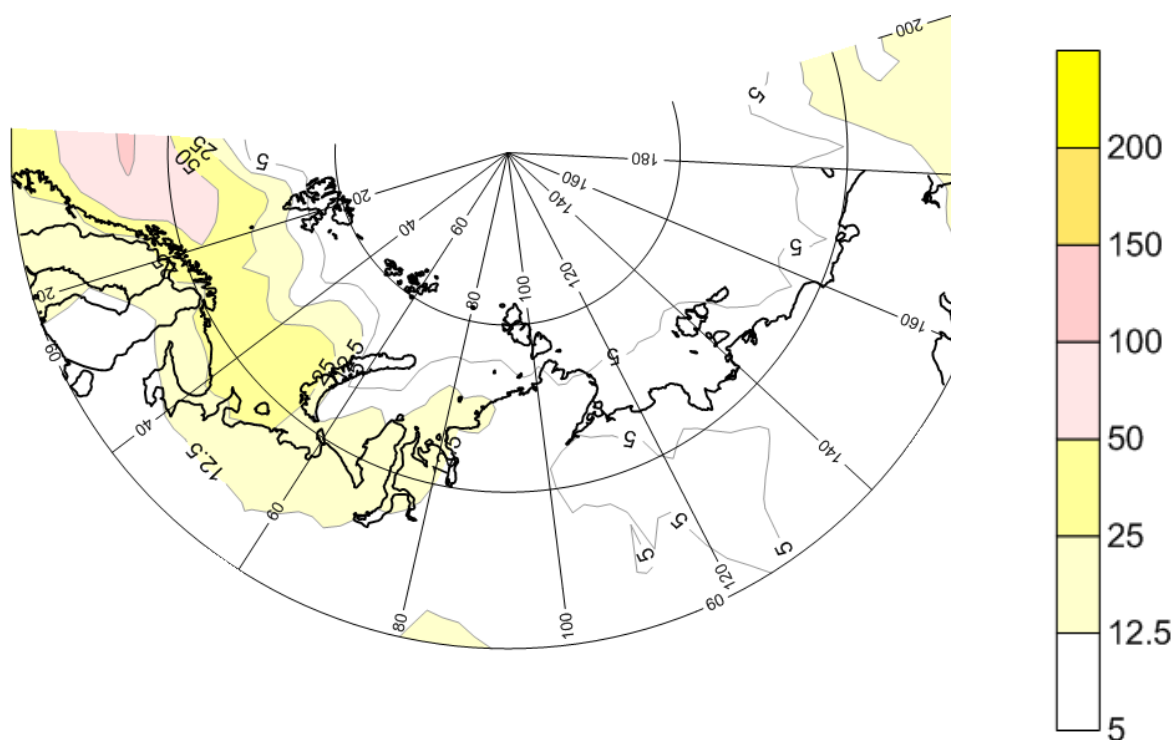


2081-2100

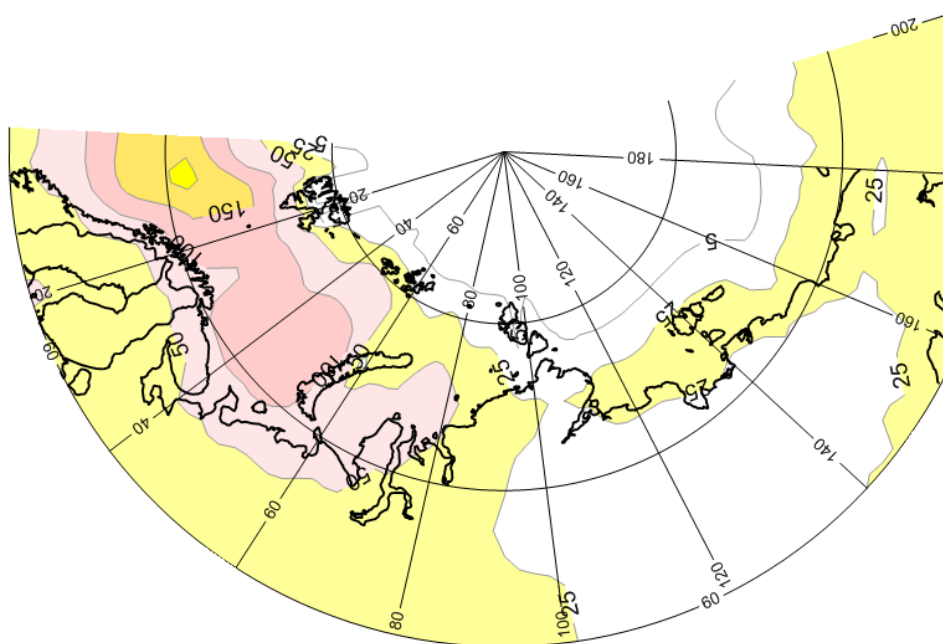


П1.12. Прогноз аномалий числа дней в году со средней суточной температурой воздуха $t > 5^{\circ}\text{C}$

2046–2065

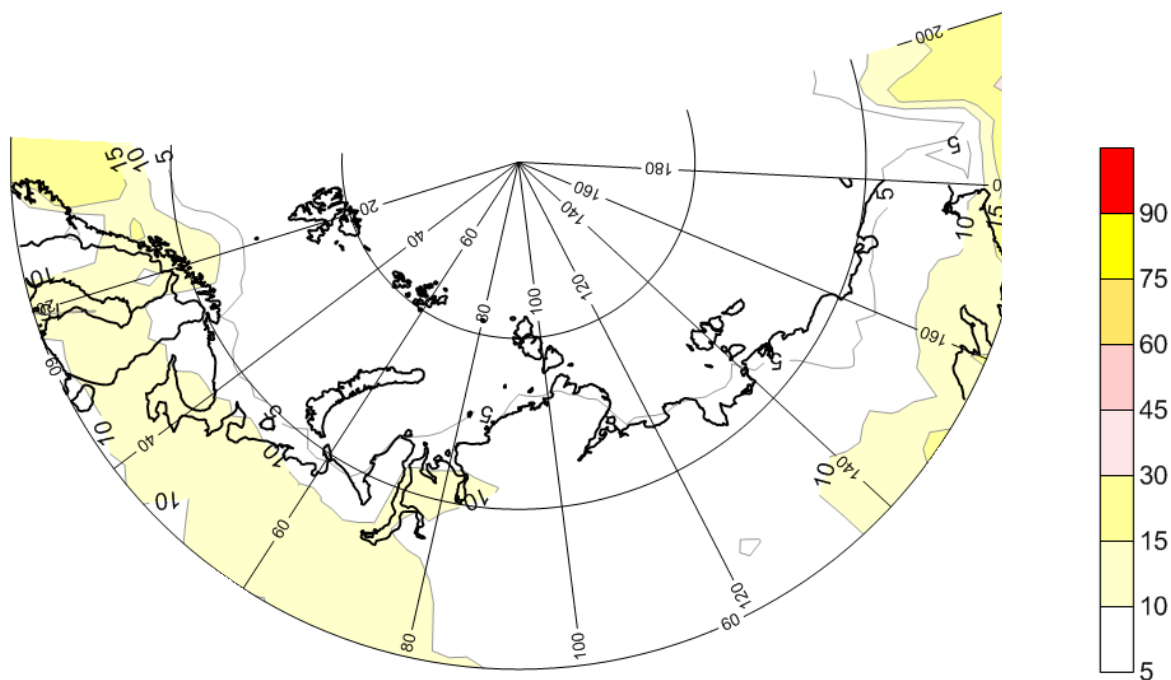


2081-2100

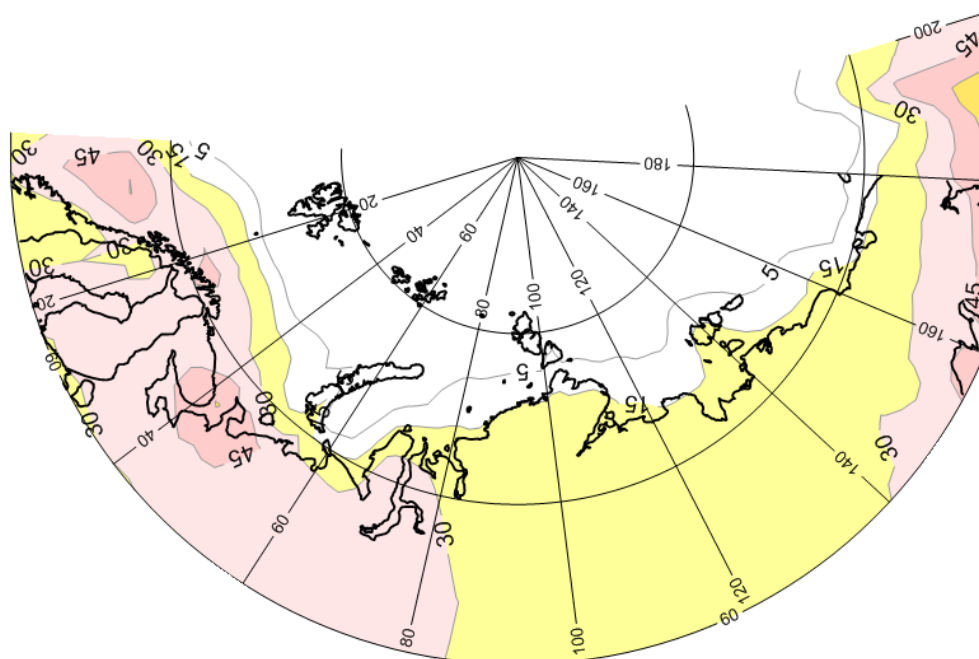


П1.13. Прогноз аномалий числа дней в году со средней суточной температурой воздуха $t > 10^{\circ}\text{C}$

2046–2065

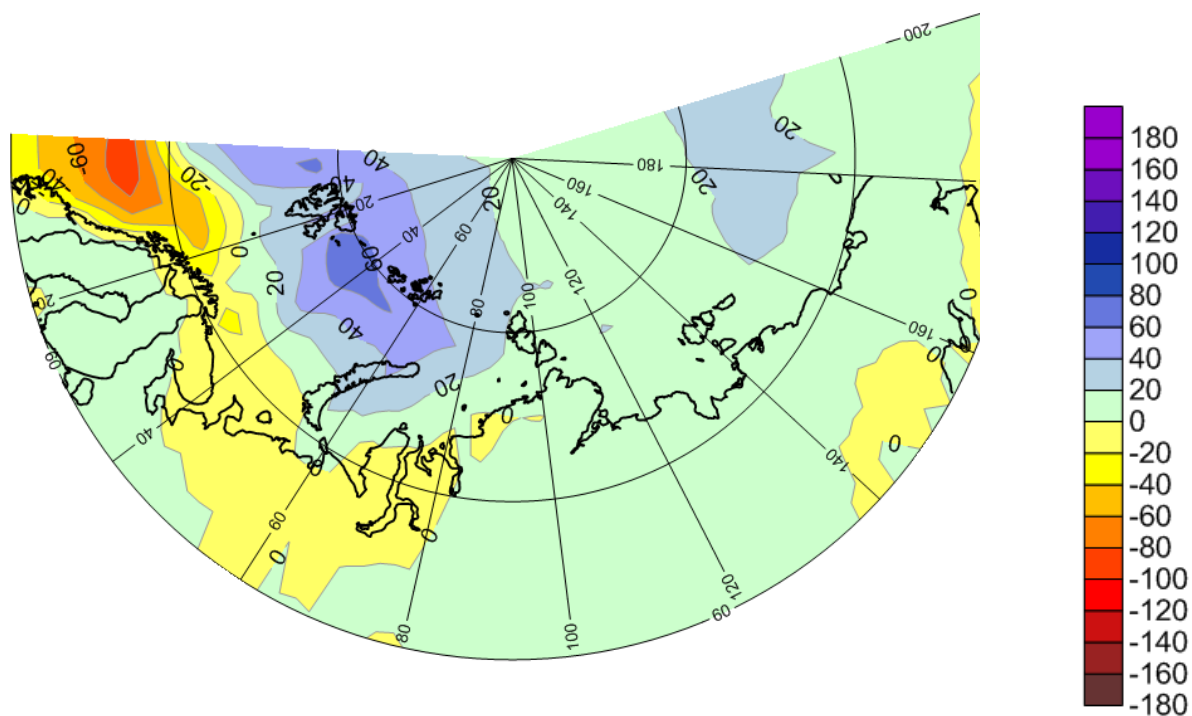


2081-2100



П1.14. Прогноз аномалий числа дней в году со средней суточной температурой воздуха $-5 < t < 5$ С

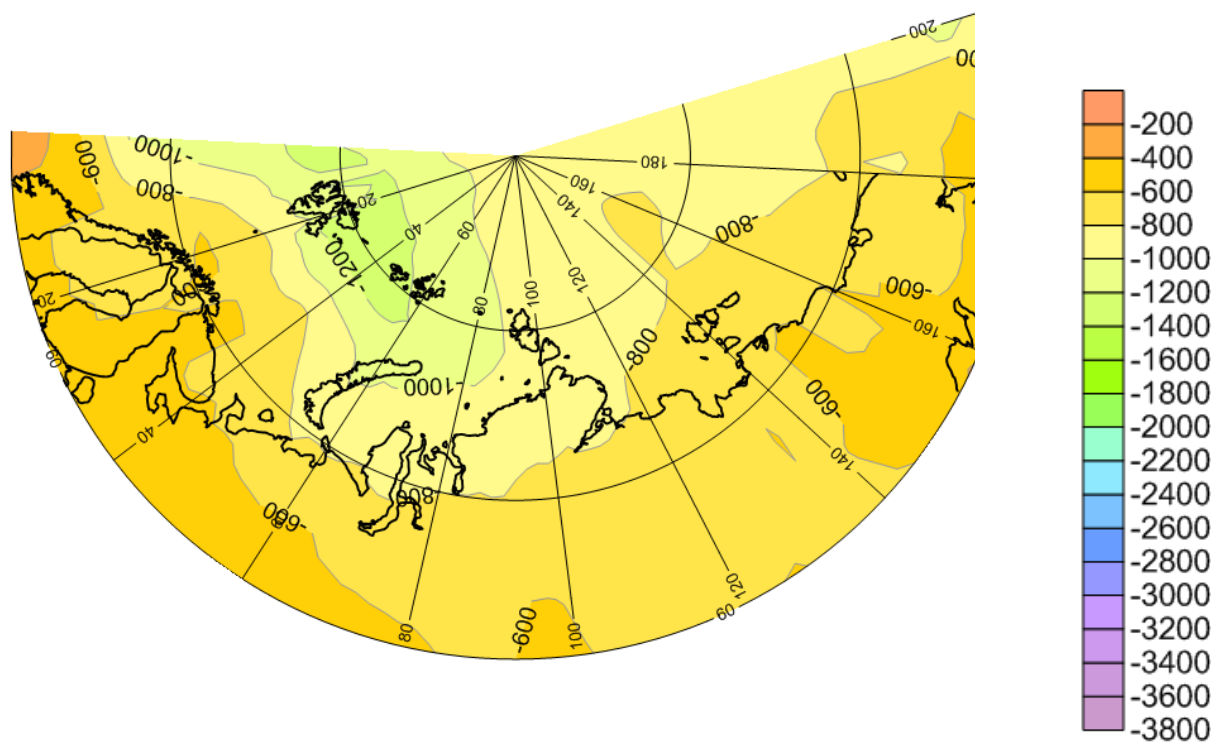
2046–2065



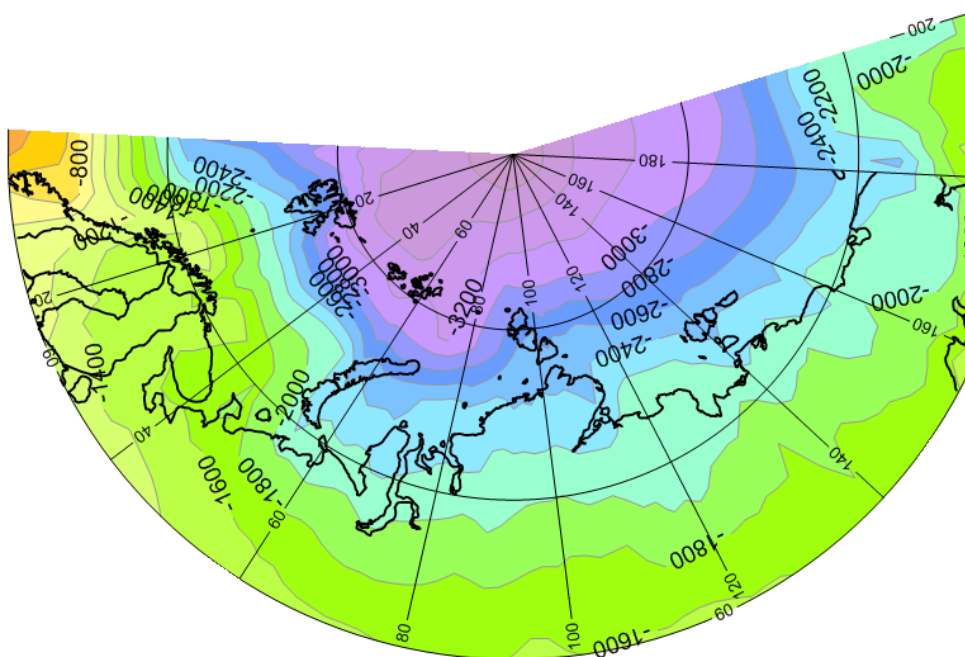
2081-2100

П1.15. Прогноз аномалий индекса потребления топлива (для дней с $t < 18^\circ\text{C}$), градусо-дни

2046–2065



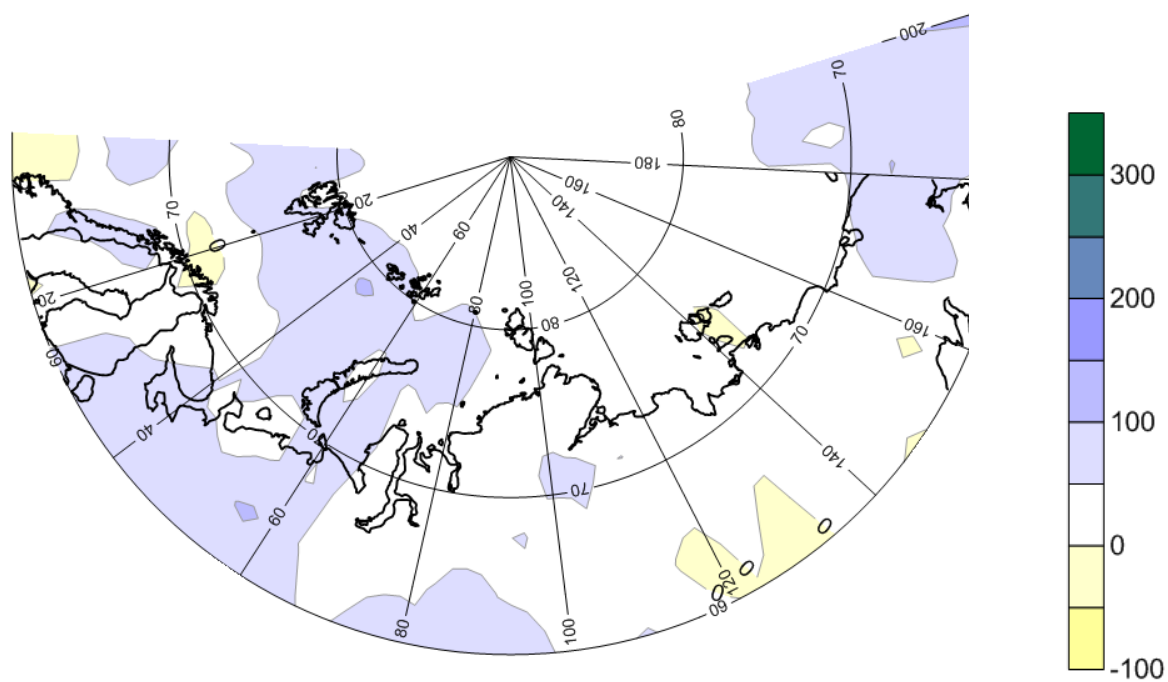
2081-2100



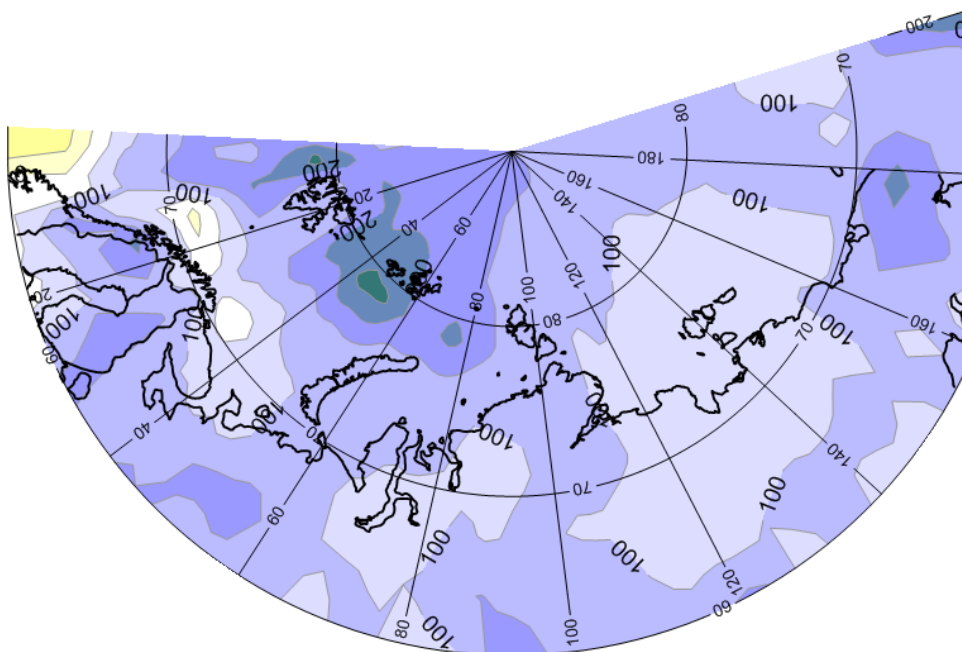
2. ОСАДКИ

П2.1. Прогноз аномалий средней годовой суммы осадков, мм/год

2046–2065

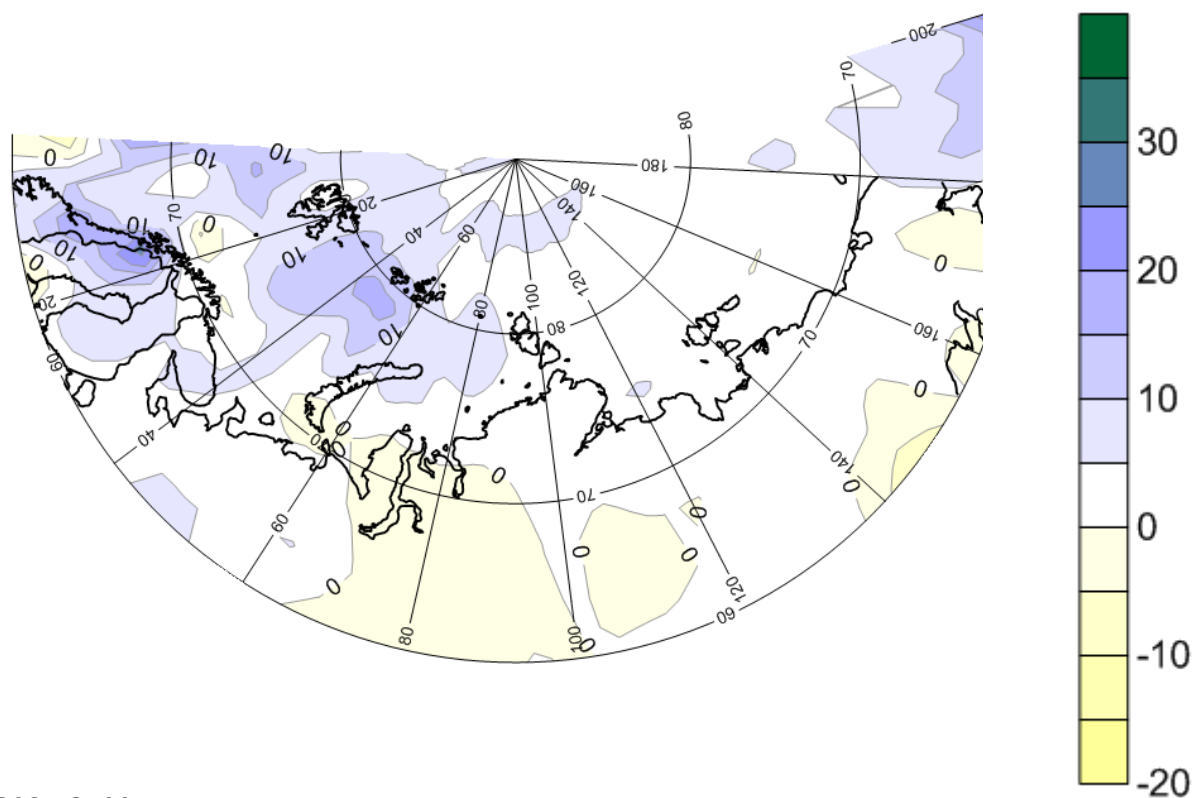


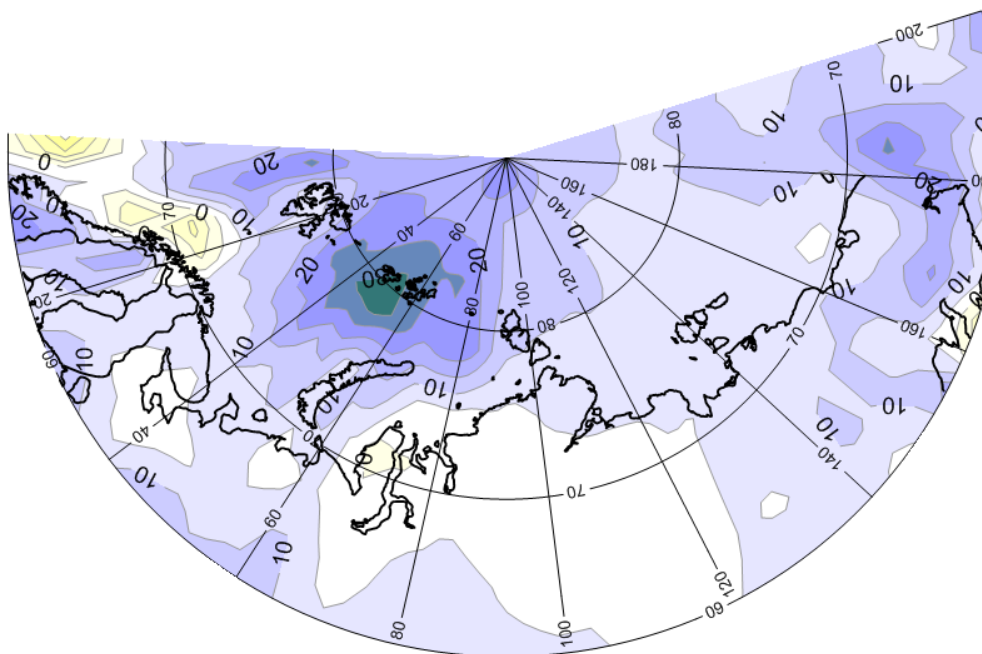
2081-2100



П2.2. Прогноз аномалий средней месячной суммы осадков, январь, мм

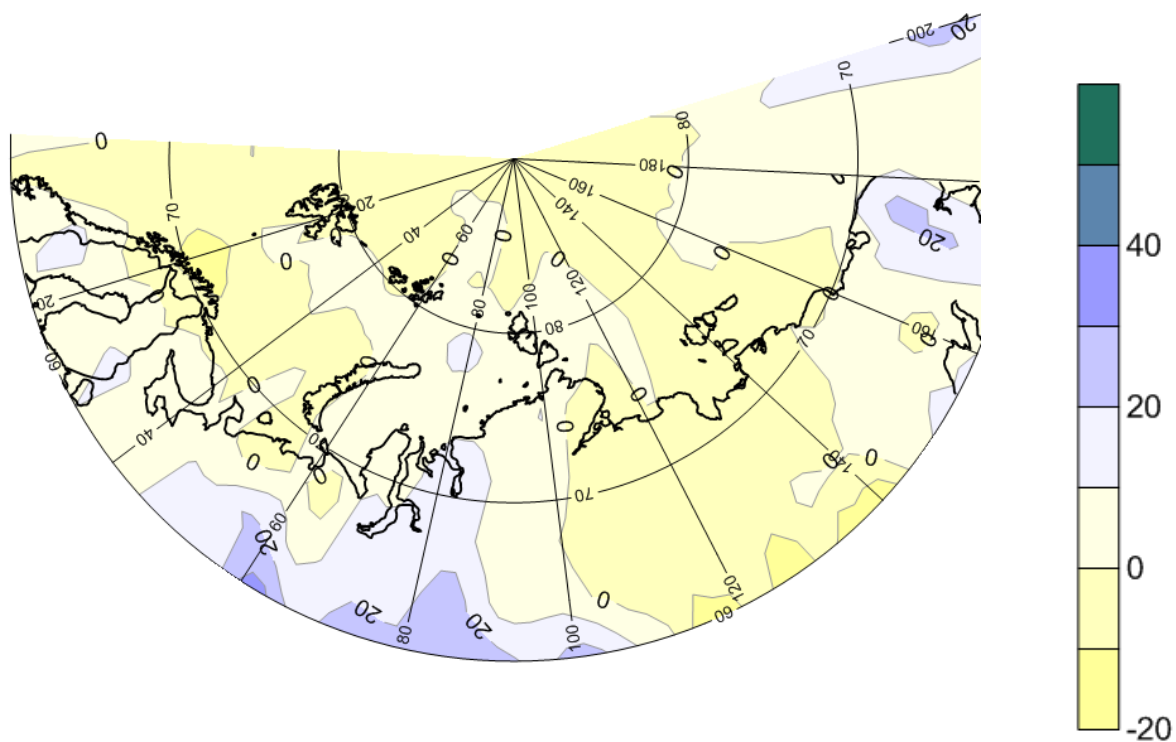
2046–2065



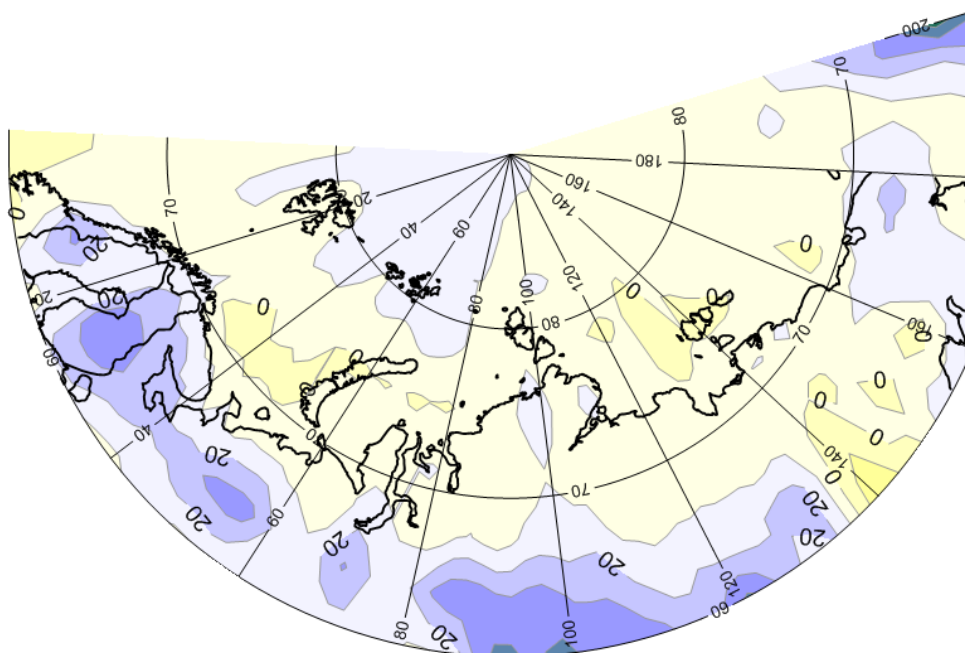


П2.3. Прогноз аномалий средней месячной суммы осадков, июль, мм

2046–2065

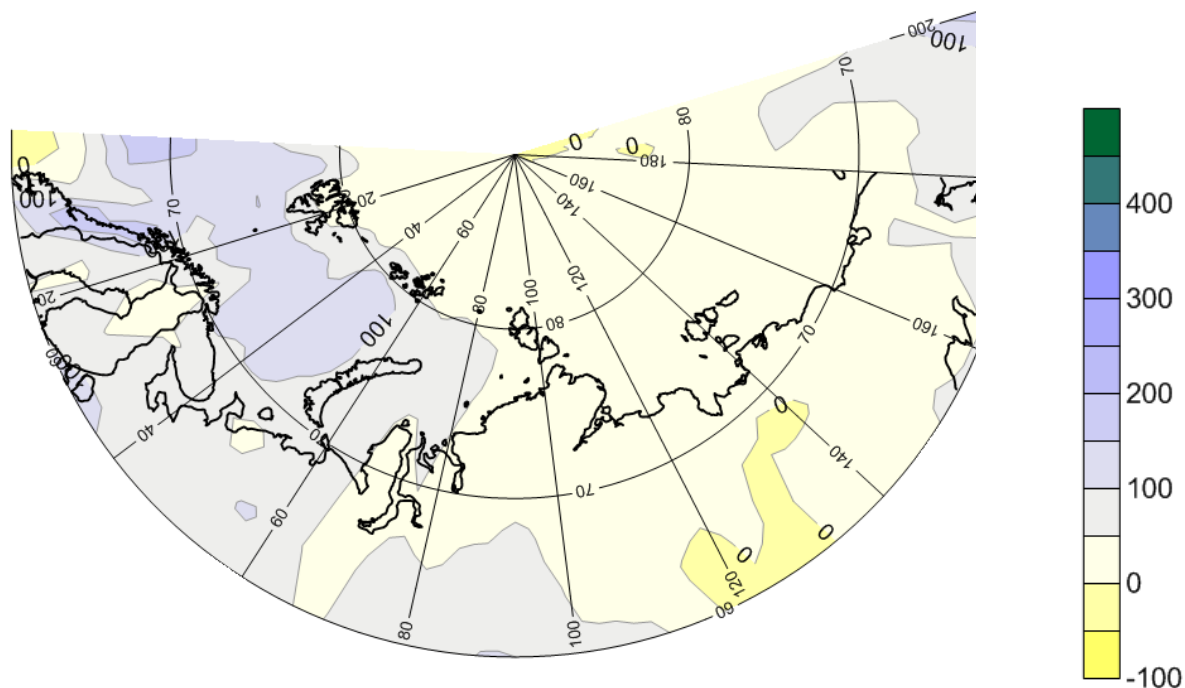


2081-2100

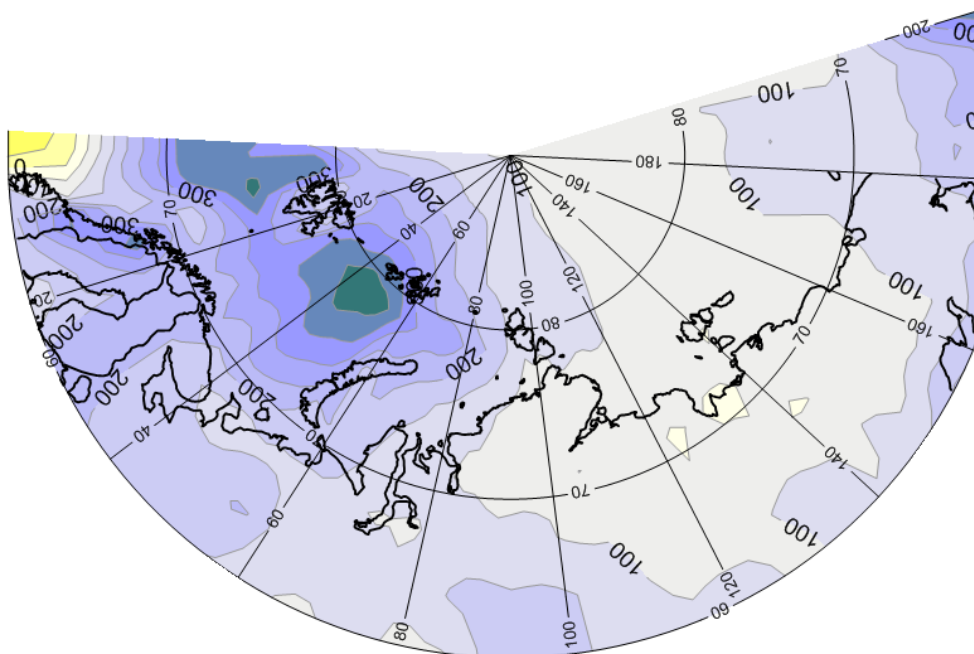


П2.4. Прогноз аномалий средней годовой суммы осадков при температуре $t > 0$ С, мм

2046–2065



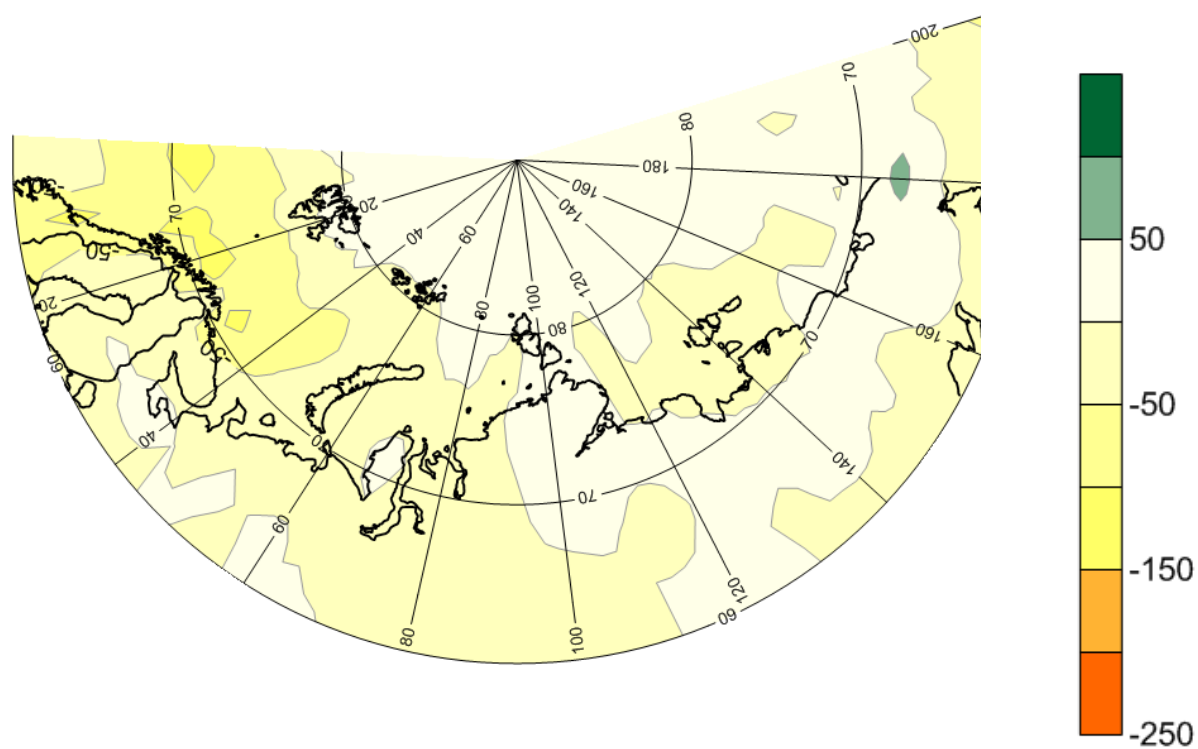
2081-2100



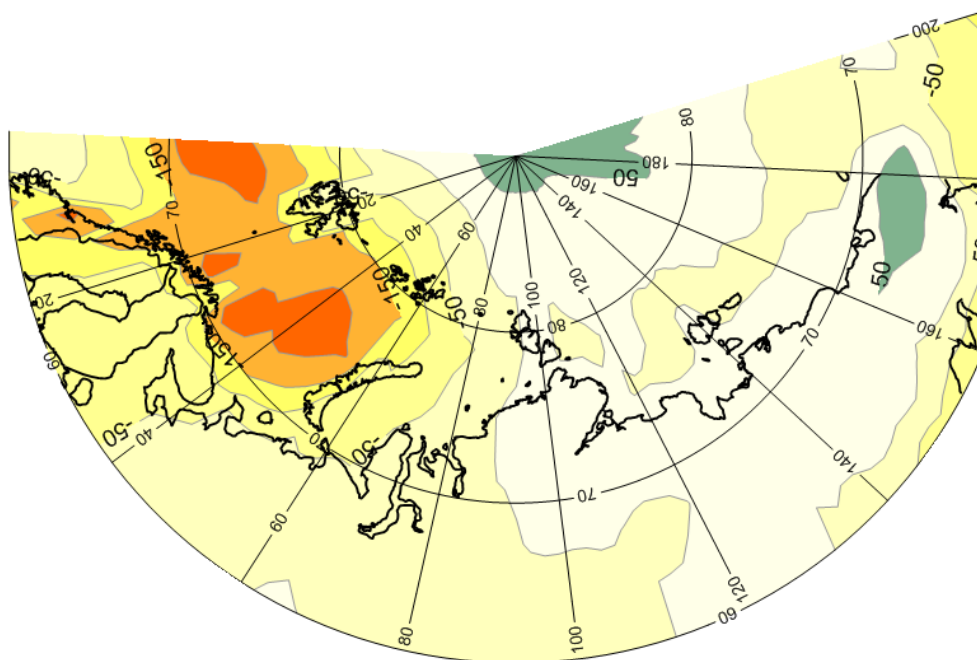
П2.5. Прогноз аномалий средней годовой суммы осадков при температуре

$t < 0$ С, мм

2046–2065



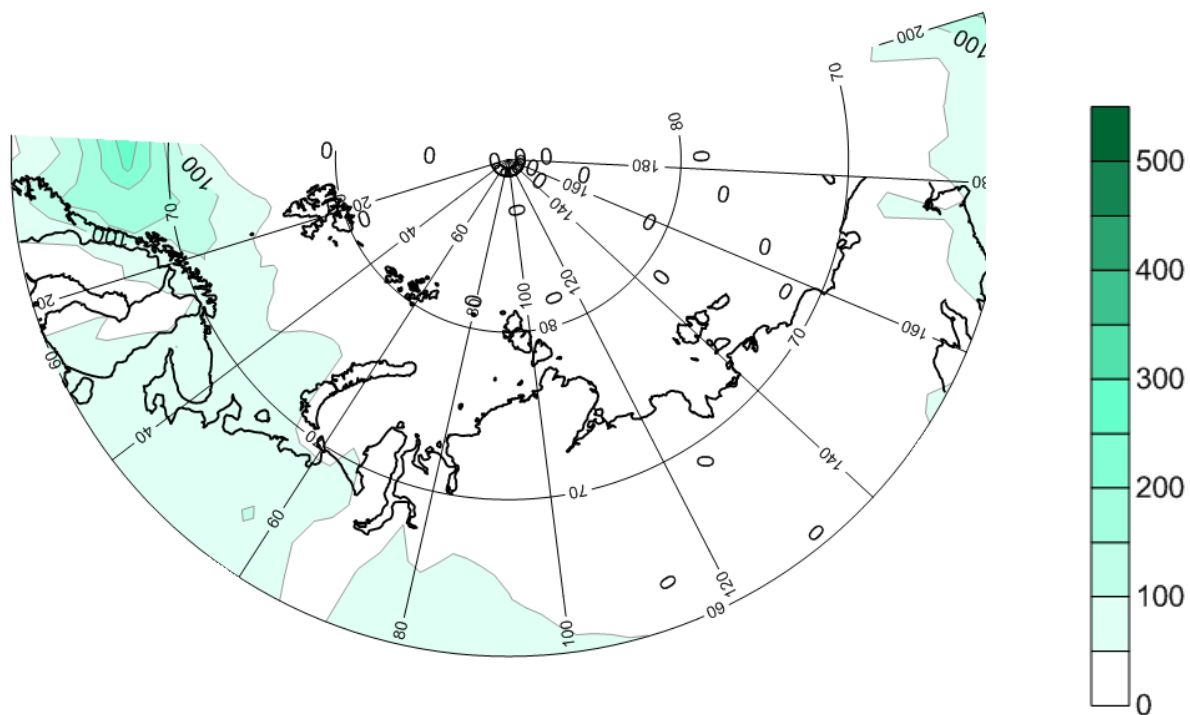
2081-2100



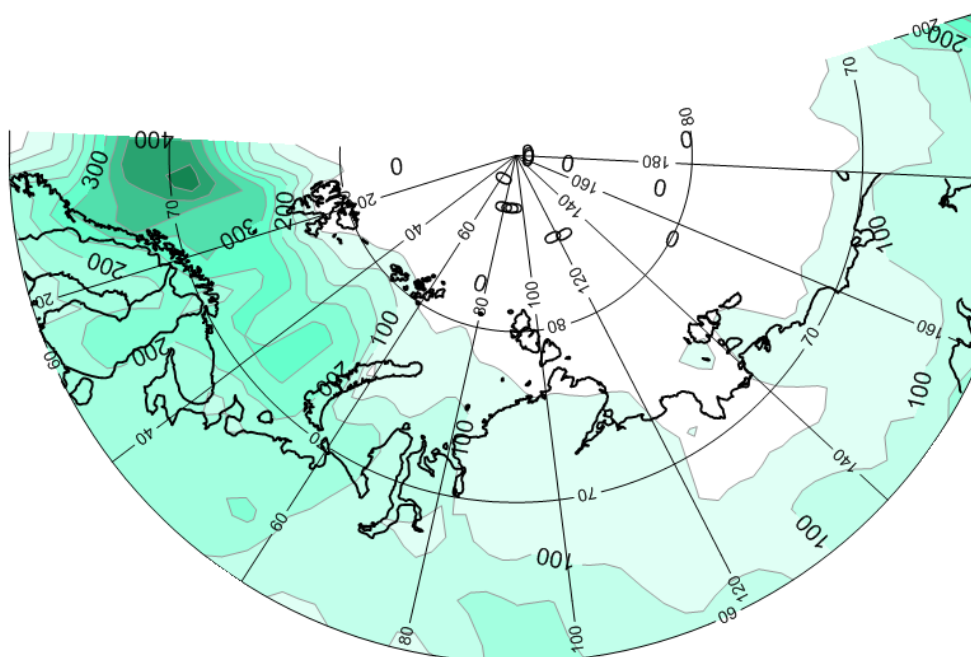
П2.6. Прогноз аномалий средней годовой суммы осадков при температуре

$t > 5^\circ\text{C}$, мм

2046–2065

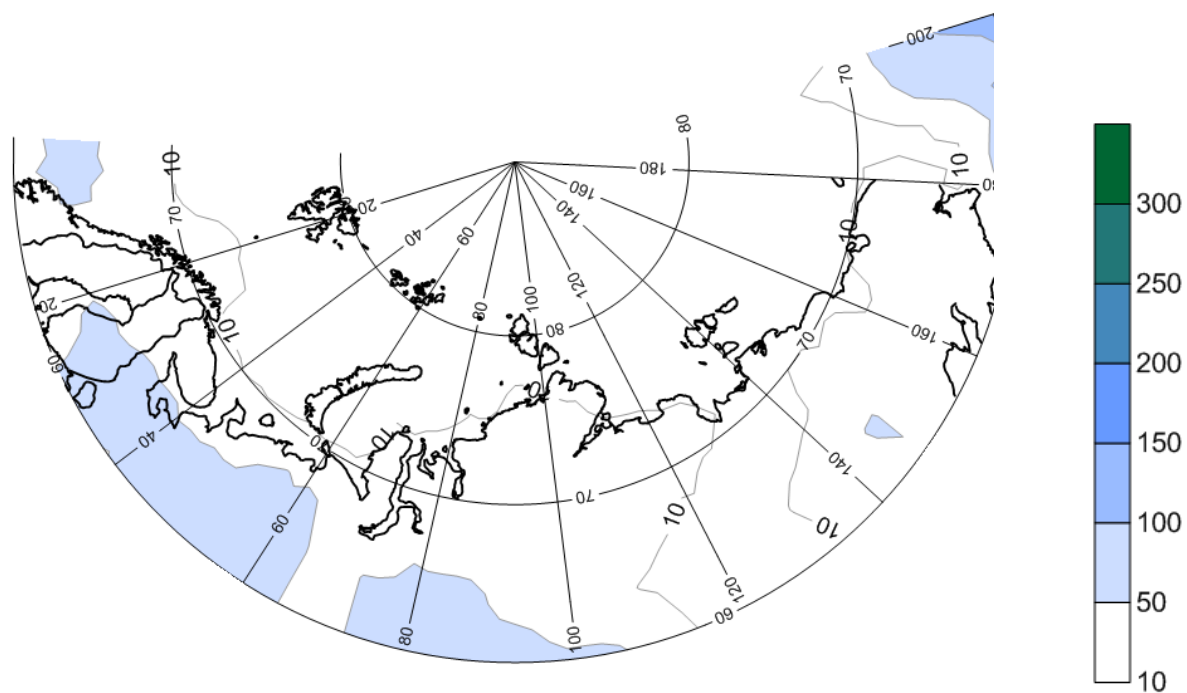


2081-2100

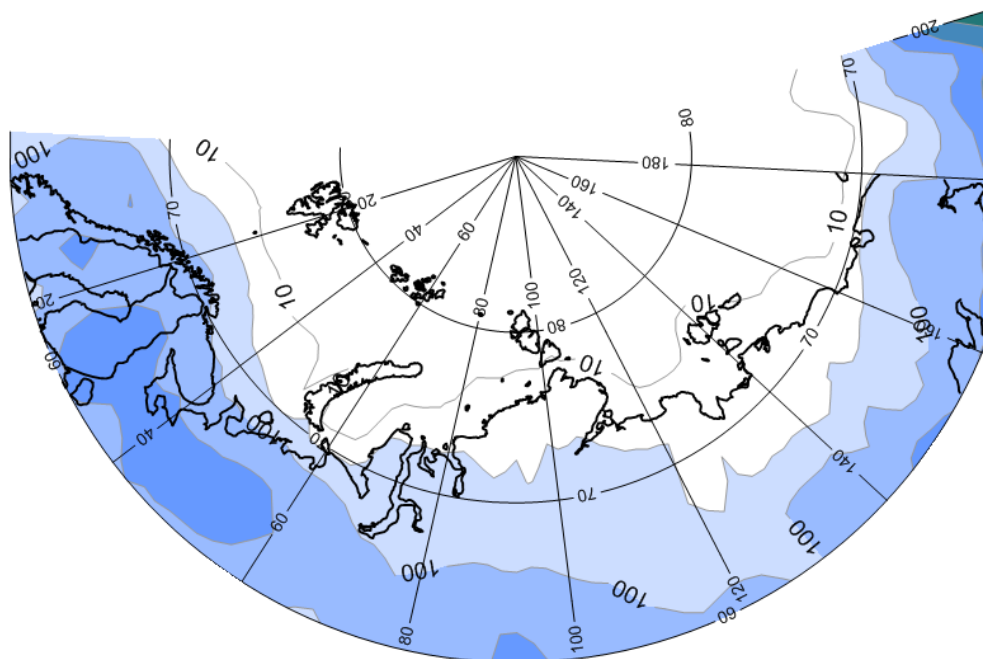


П2.7. Прогноз аномалий средней годовой суммы осадков при температуре $t > 10^{\circ}\text{C}$, мм

2046–2065



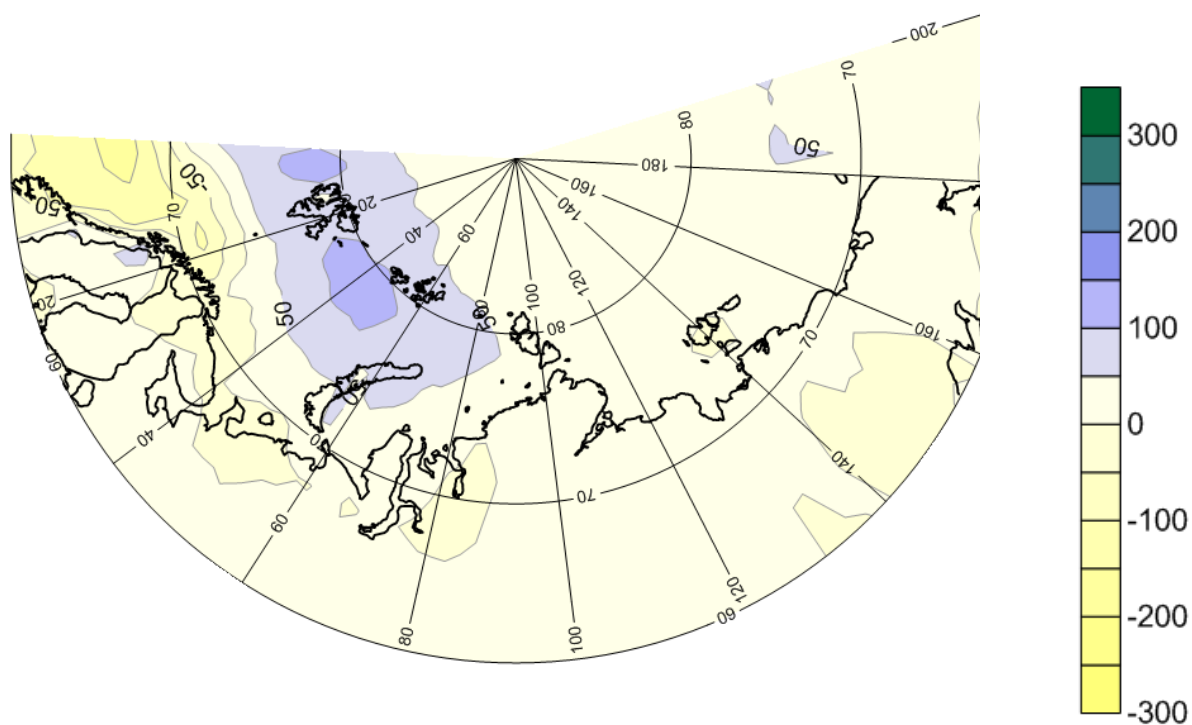
2081-2100



П2.8. Прогноз аномалий средней годовой суммы осадков при температуре $-5 < t < 5$ С,

мм

2046–2065



2081-2100

