

НАБЛЮДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ИХ ПРИЧИНЫ. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В XXI ВЕКЕ.

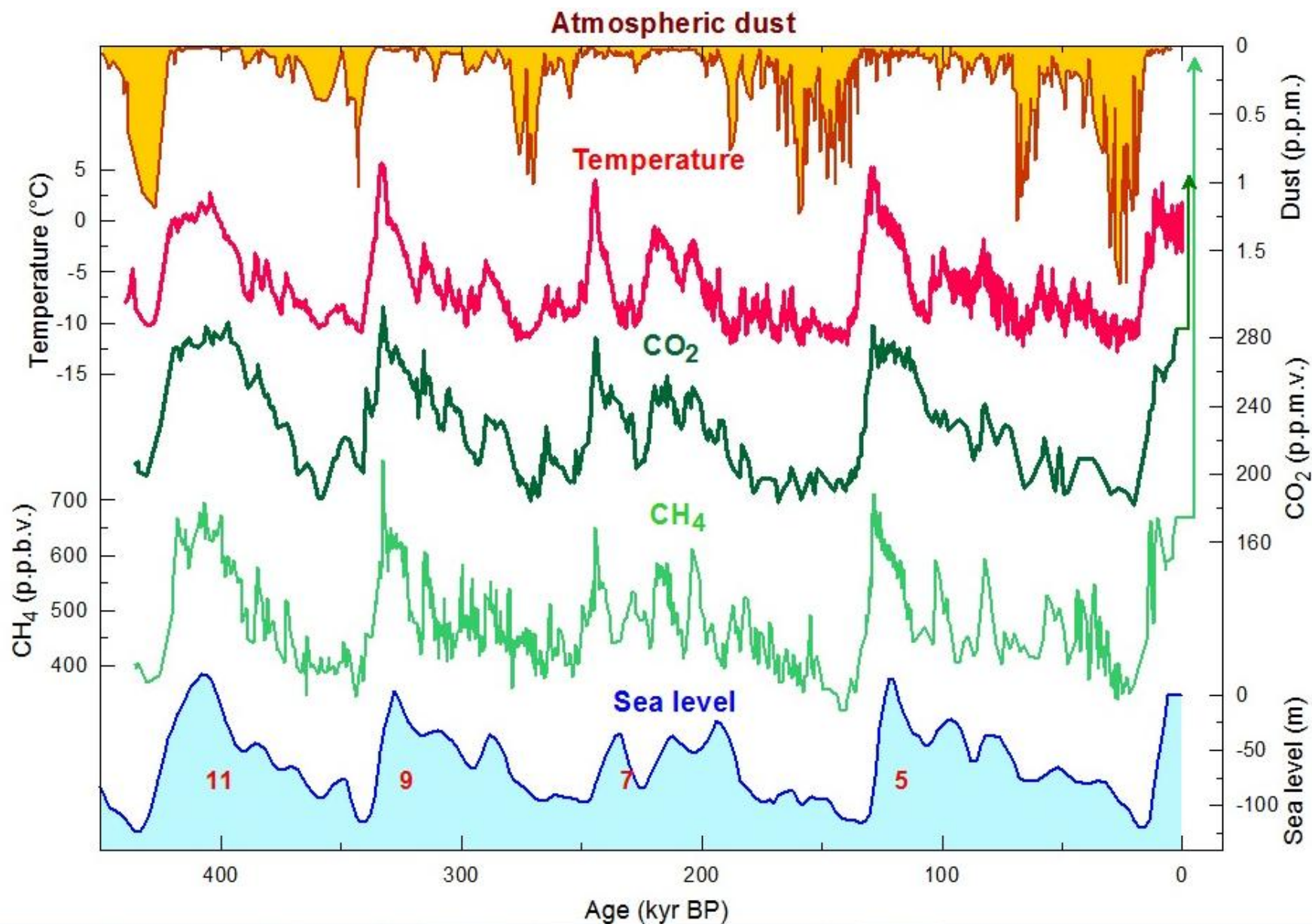
С.н.с., к.г.н. Корнева И.А.

*По материалам Второго Оценочного доклада Росгидромета об изменениях
климата на территории Российской Федерации*

Оценочный доклад об изменениях климата на территории Российской Федерации, 2008, 2014

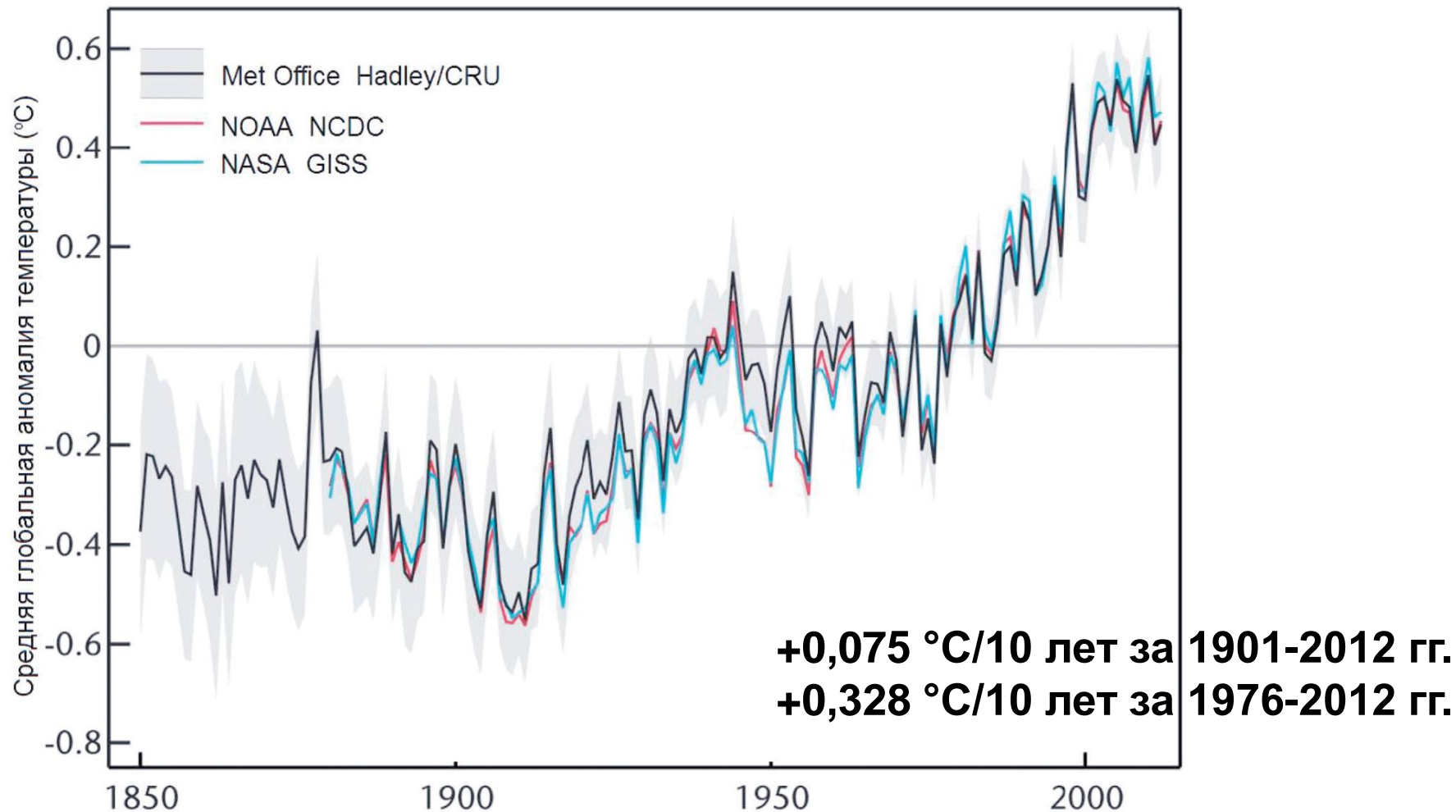


Изменения климата за последние 500 тыс. лет

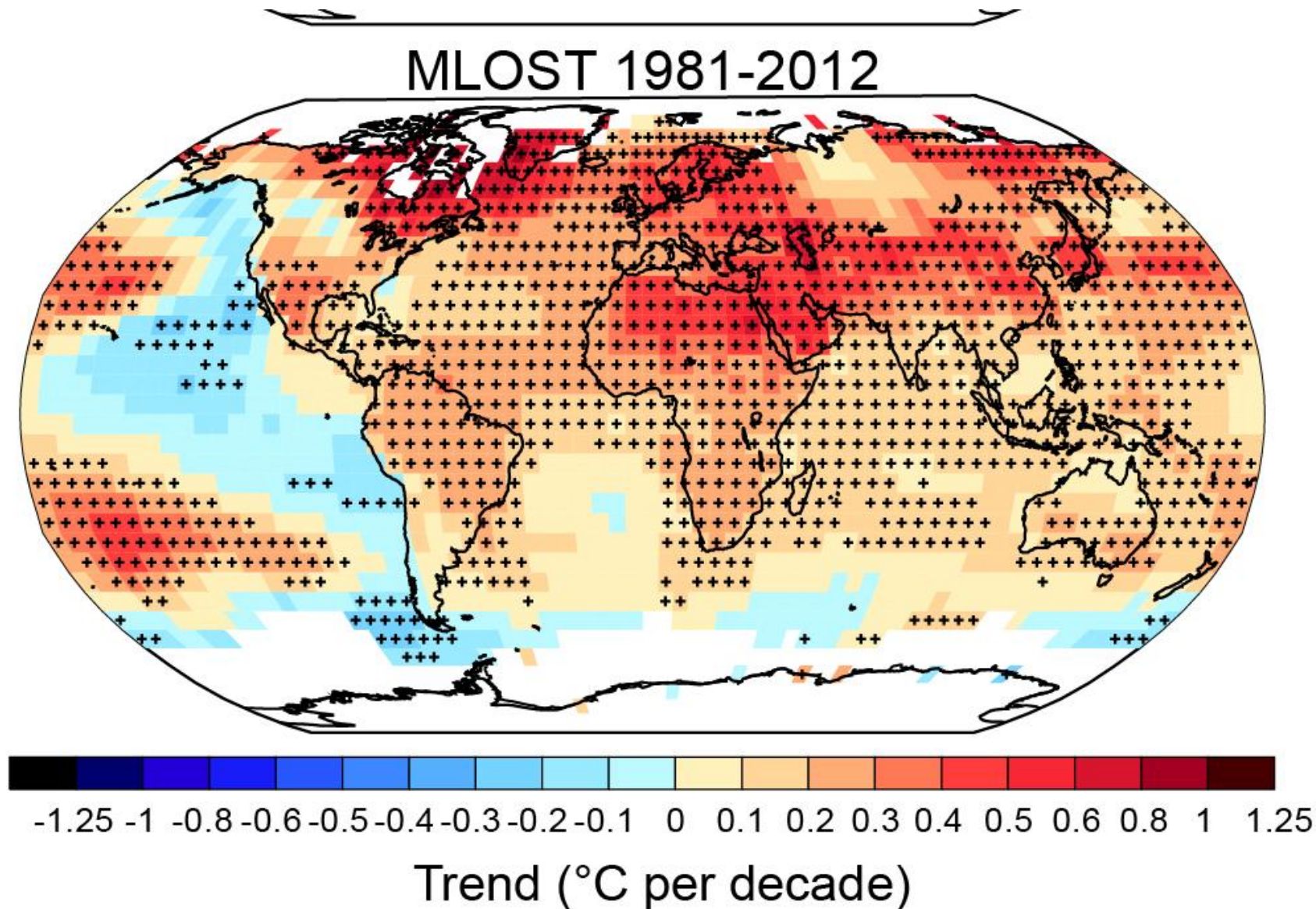


Температура приземного воздуха

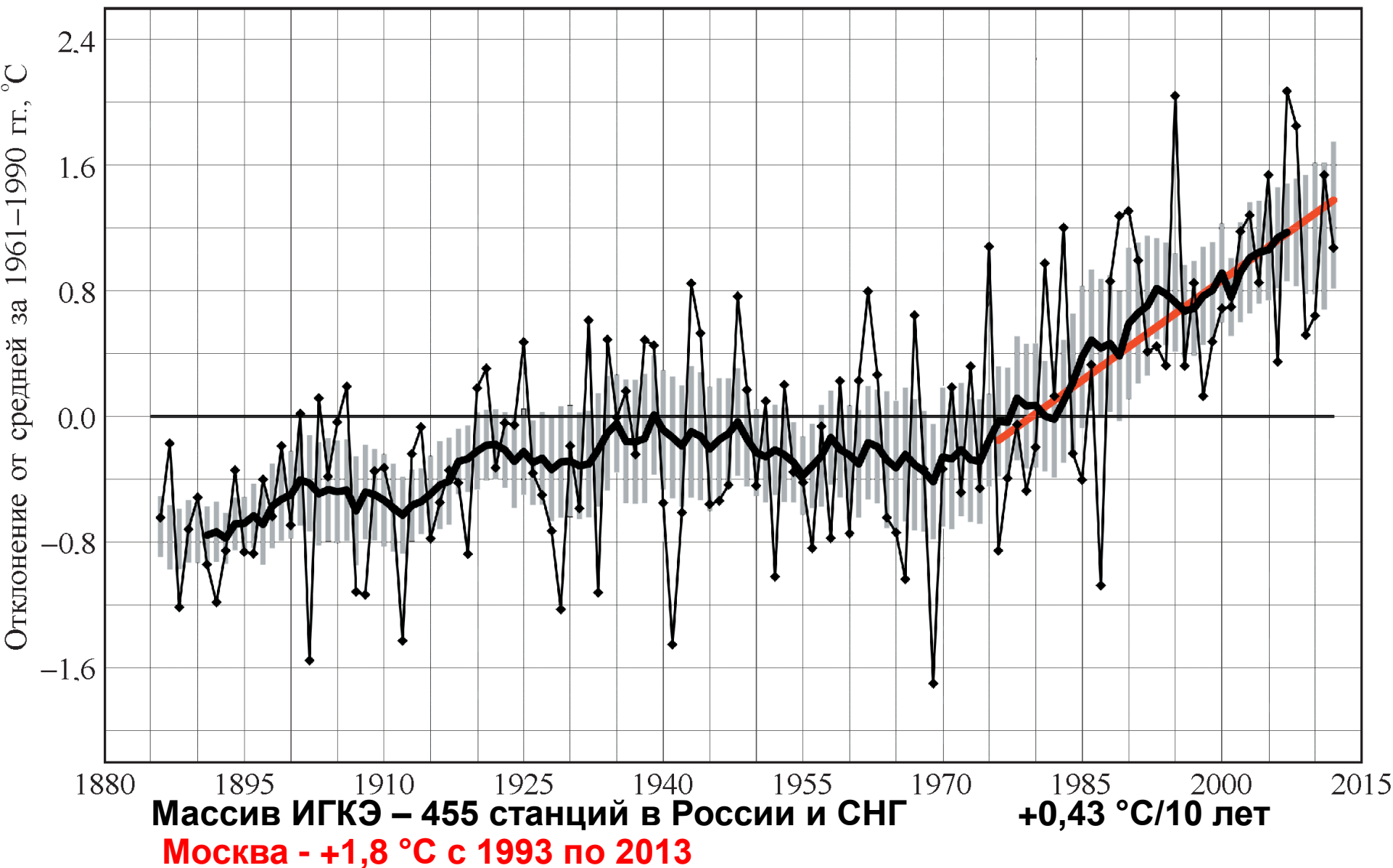
Аномалии глобальной температуры за 1850-2012
по сравнению с 1961-1990 гг.:

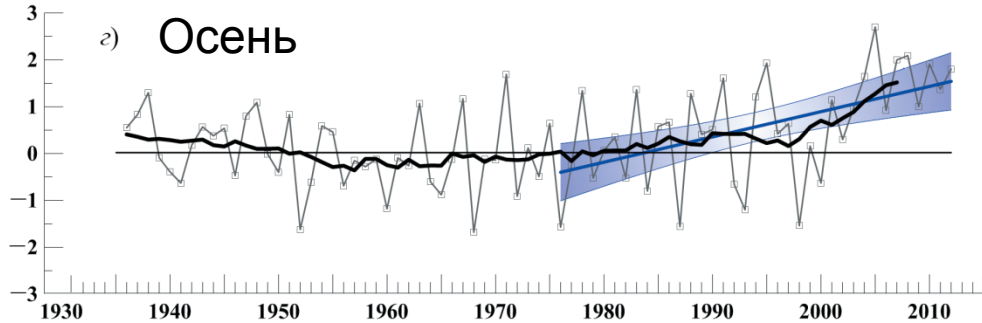
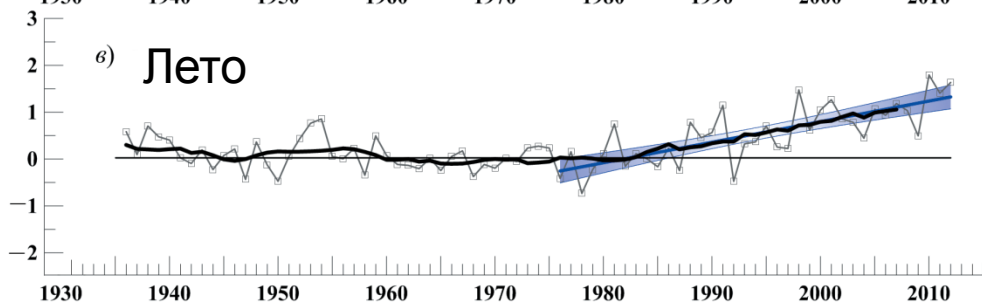
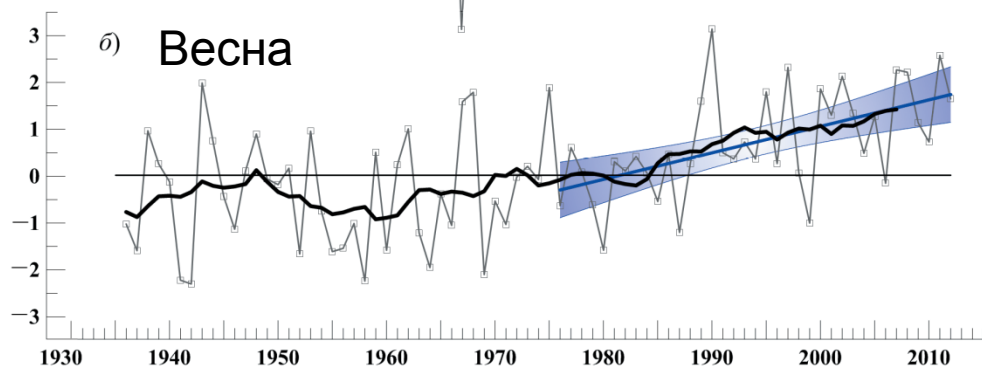
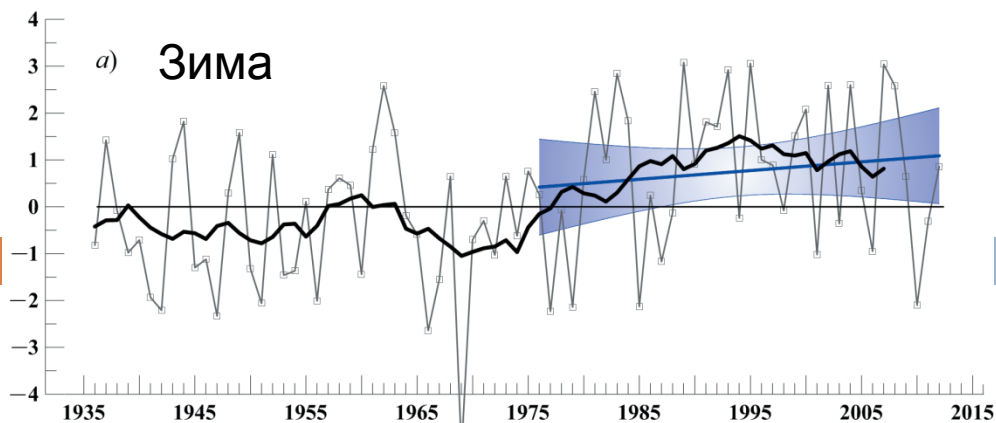


Изменение температуры воздуха по Земному шару, °C/10 лет

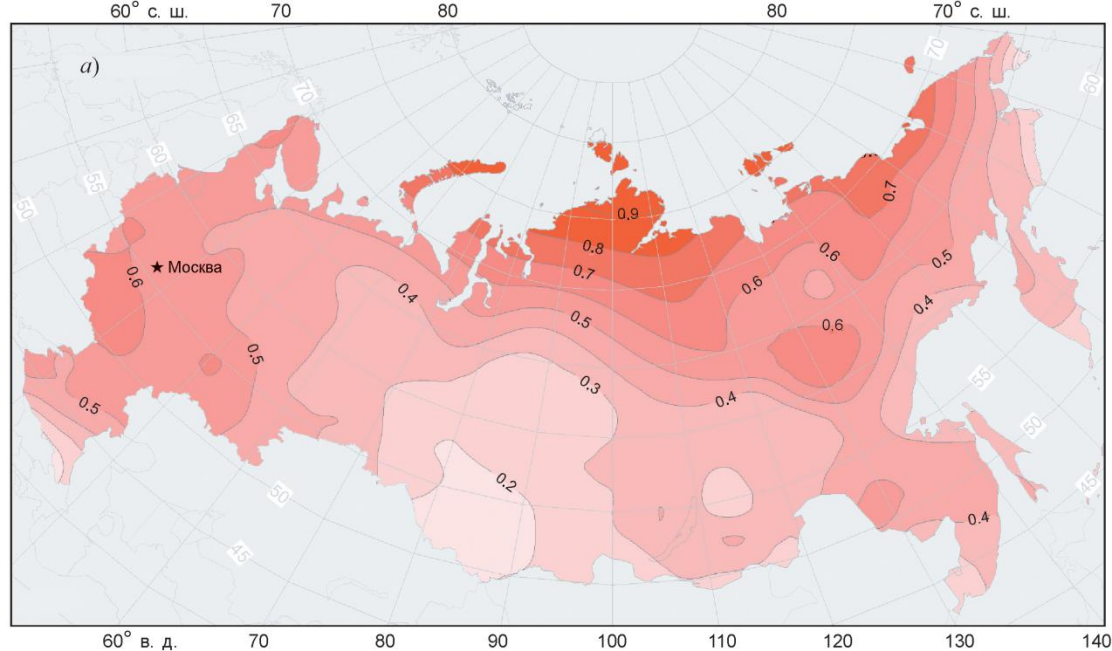


Аномалии температуры воздуха в среднем по России по сравнению с 1961-1990 гг.

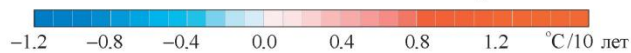
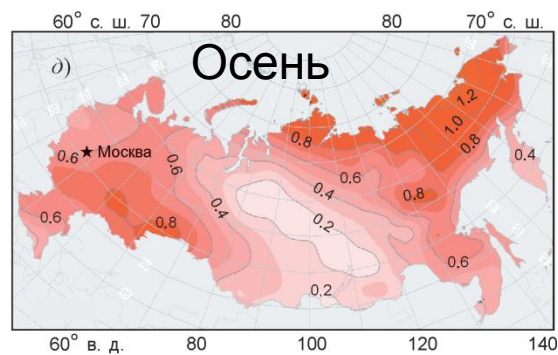
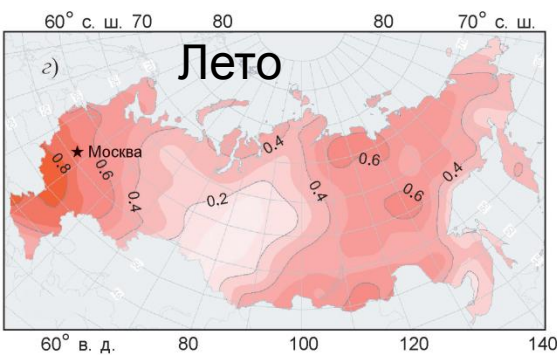
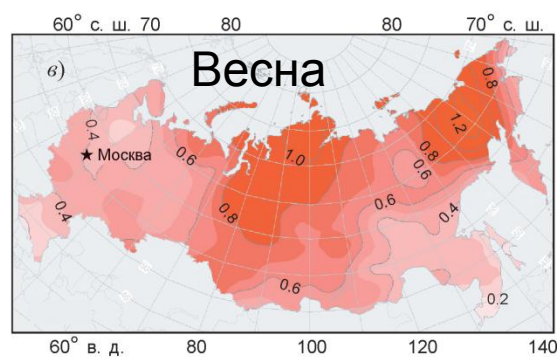
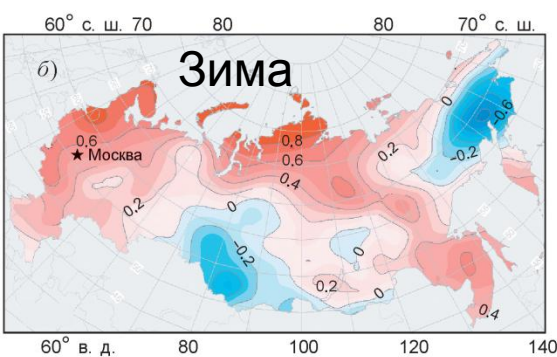




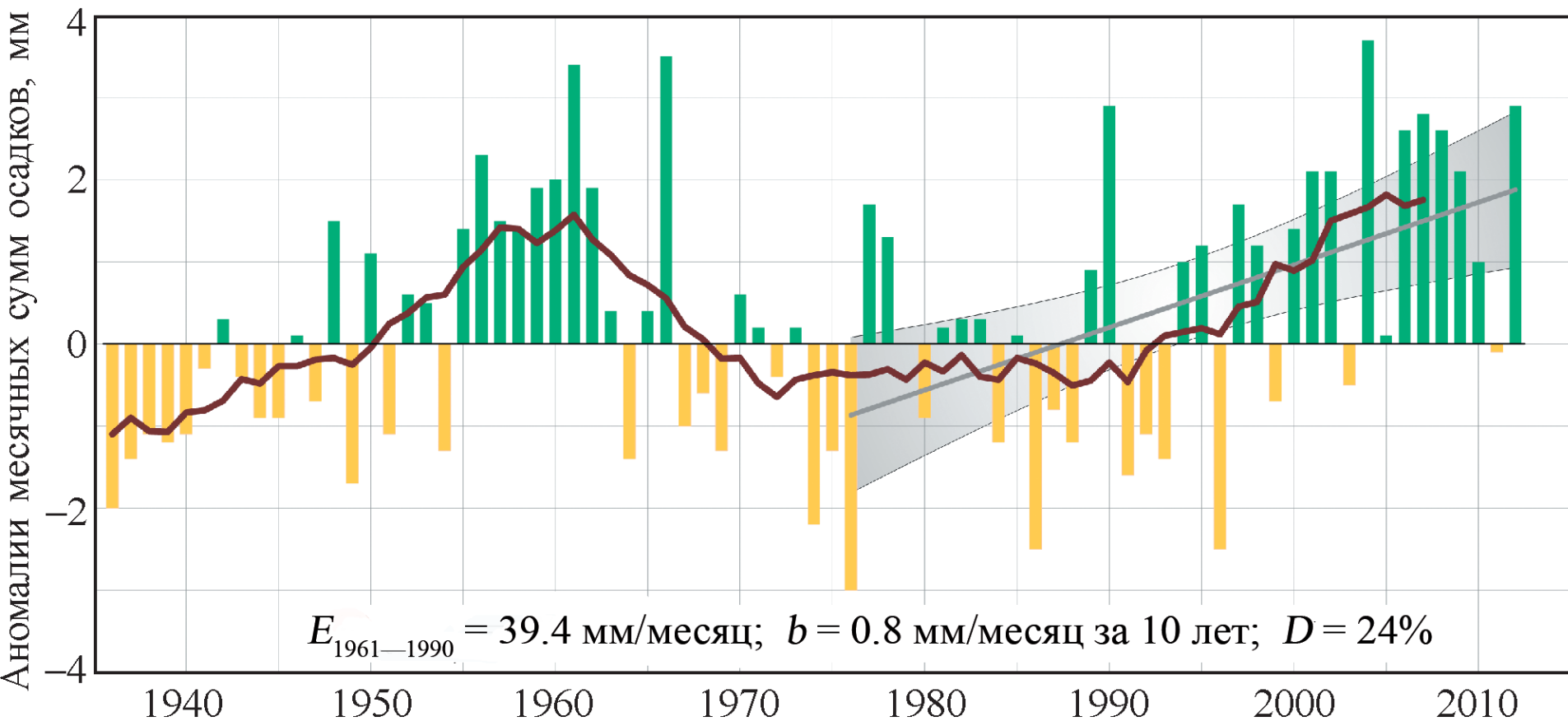
**Сезонные аномалии
температуры воздуха
в среднем по России
по сравнению с 1961-
1990 гг.**



**Географическое
распределение
коэффициентов
линейного тренда
температуры воздуха за
период 1976-2010 гг.**

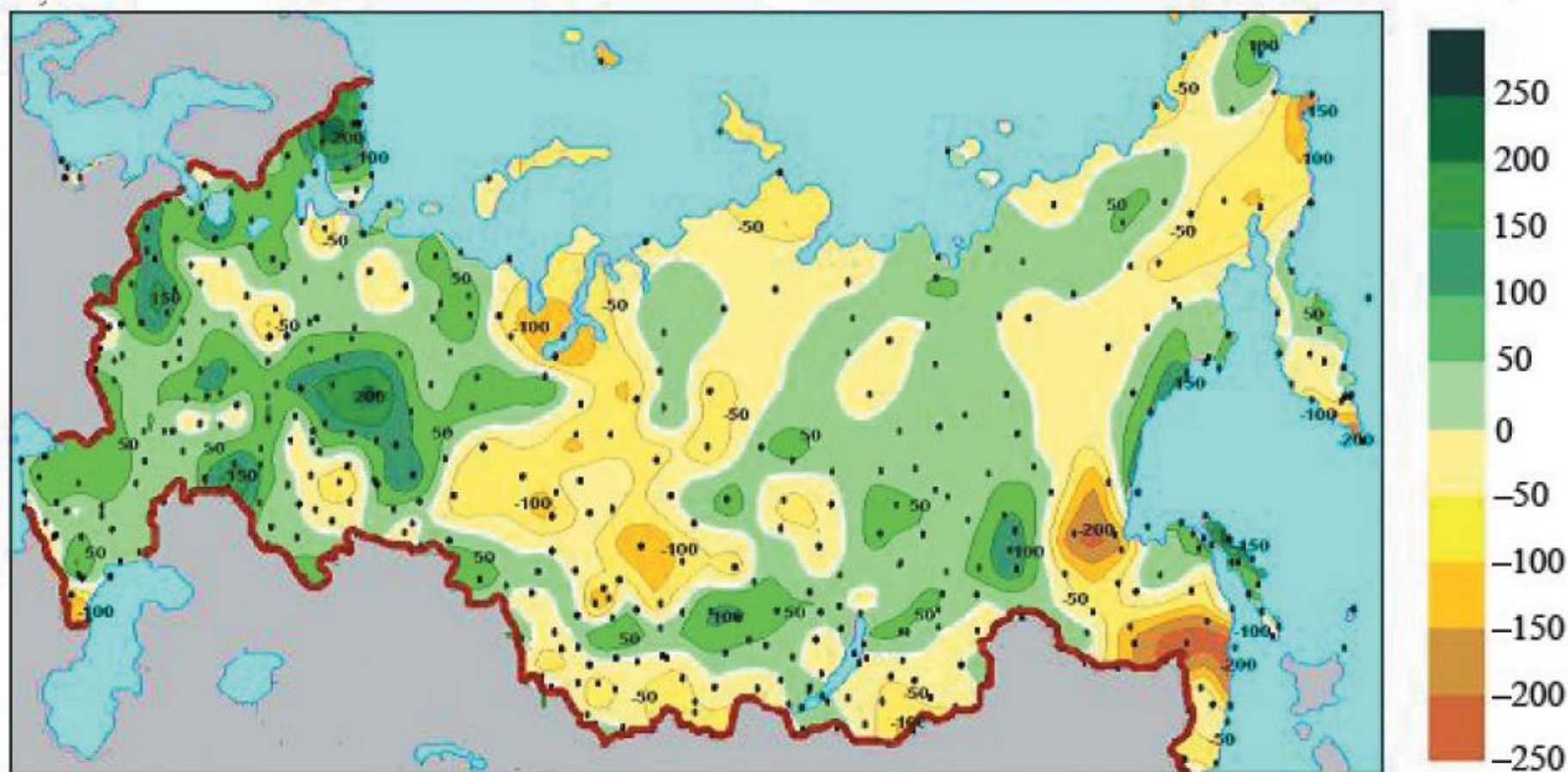


Аномалии среднемесячных осадков в среднем по территории России

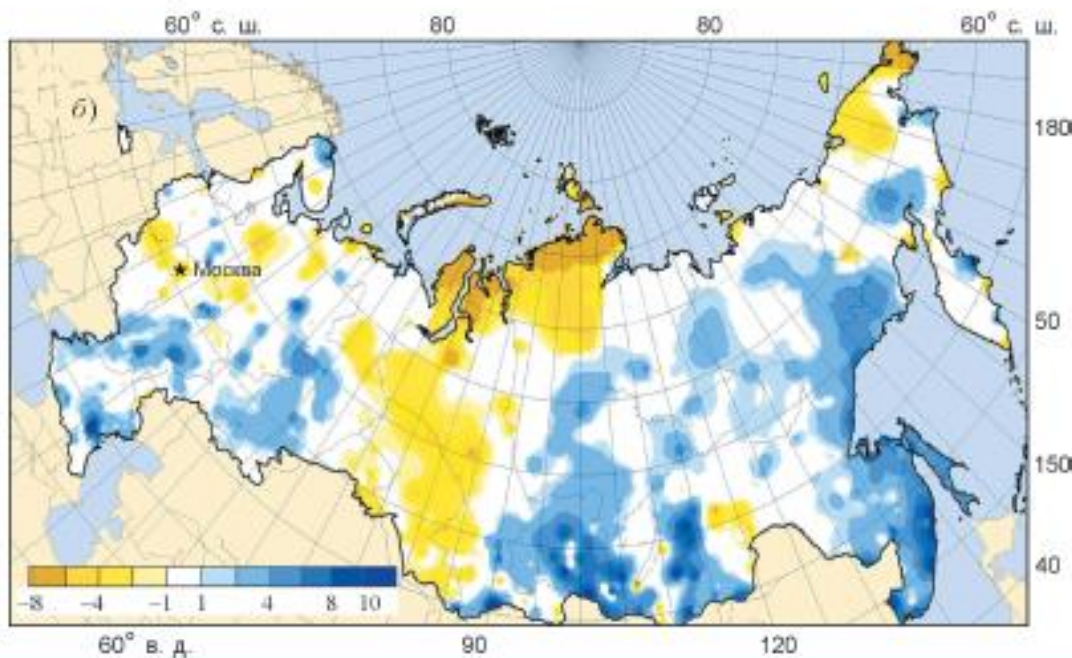
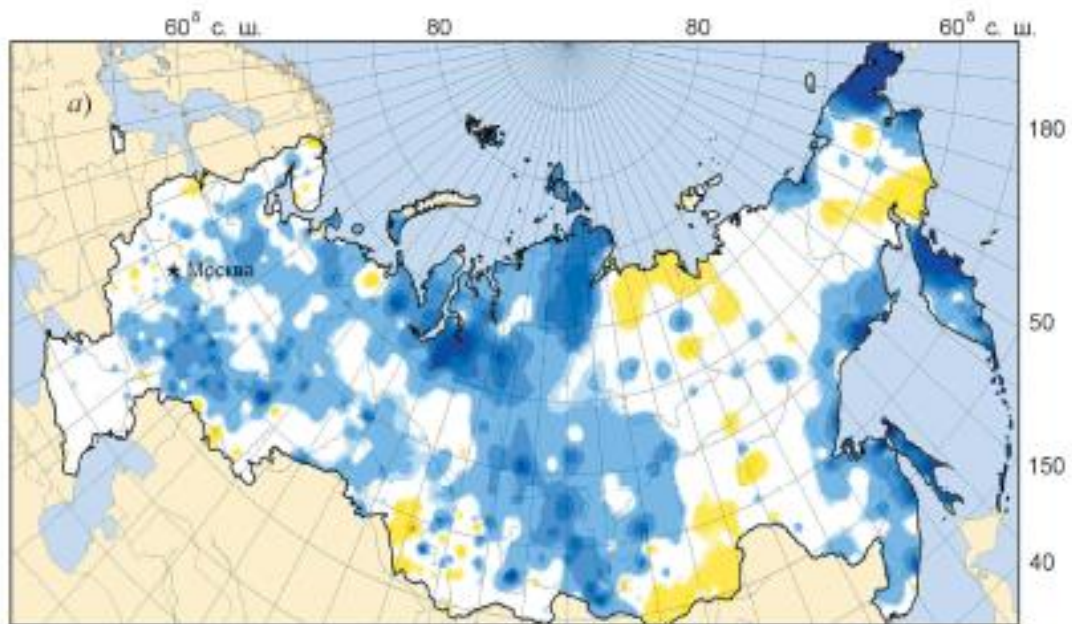


Осадки в среднем по России увеличиваются во все сезоны, наиболее сильно – весной.

Изменение годового количества осадков за период 1936-2010 гг.

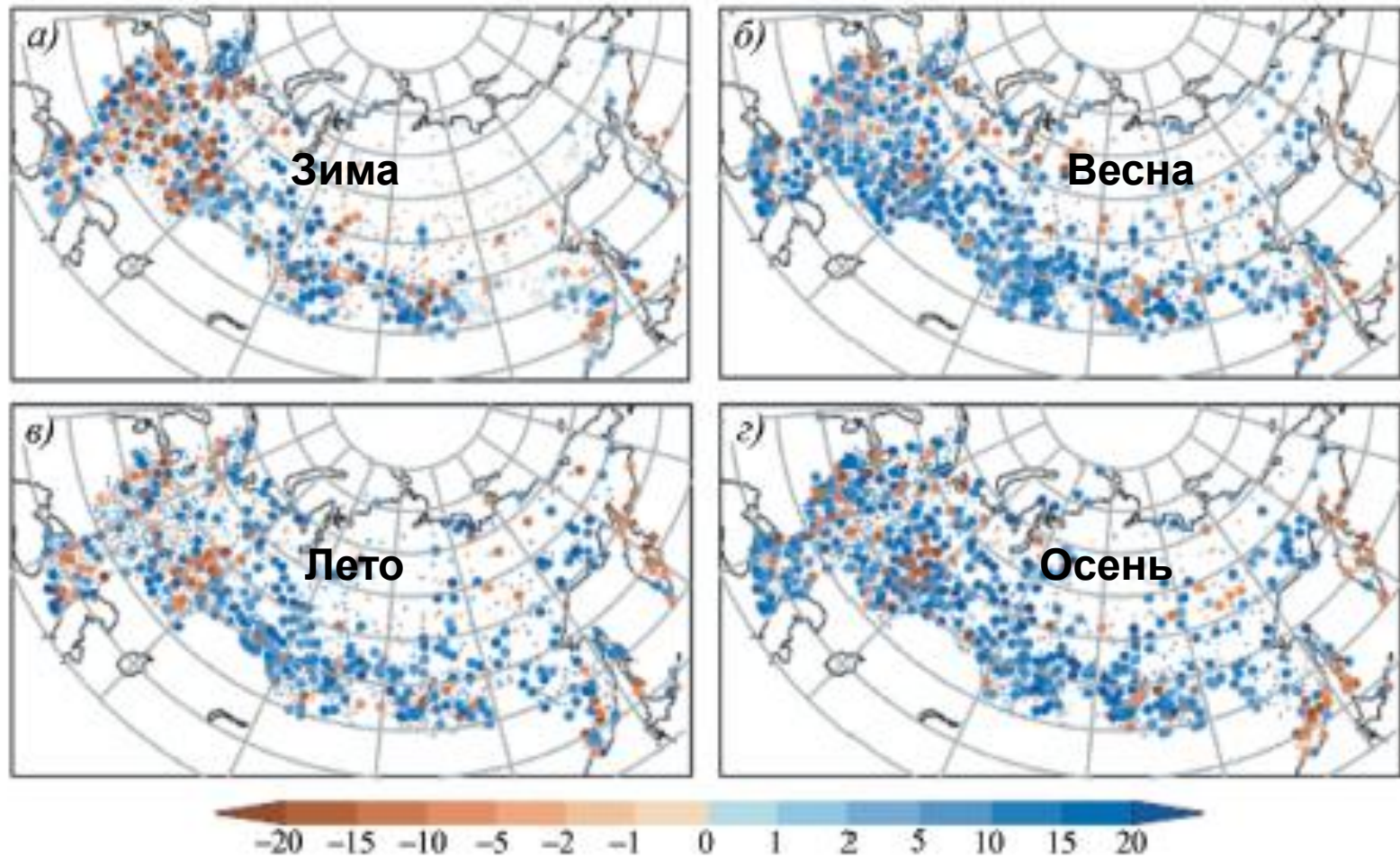


Количество твёрдых осадков в основном уменьшается, количество жидких и смешанных – увеличивается.



**Коэффициенты
линейного тренда
максимальной высоты
снежного покрова (см/10
лет) и числа дней со
снежным покровом
(сут/10 дней) за период
1966-2012 гг.**

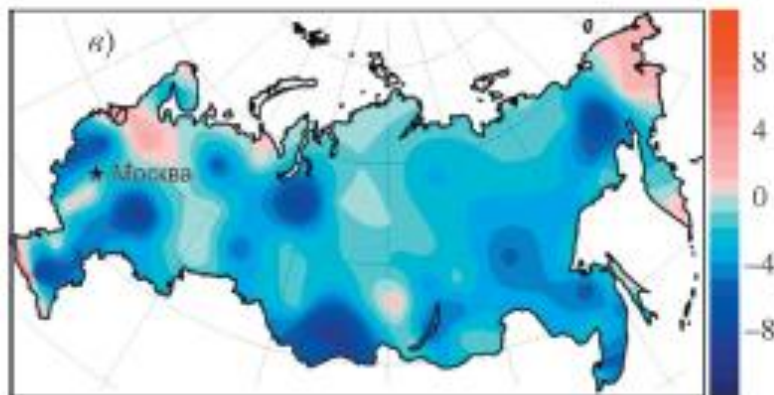
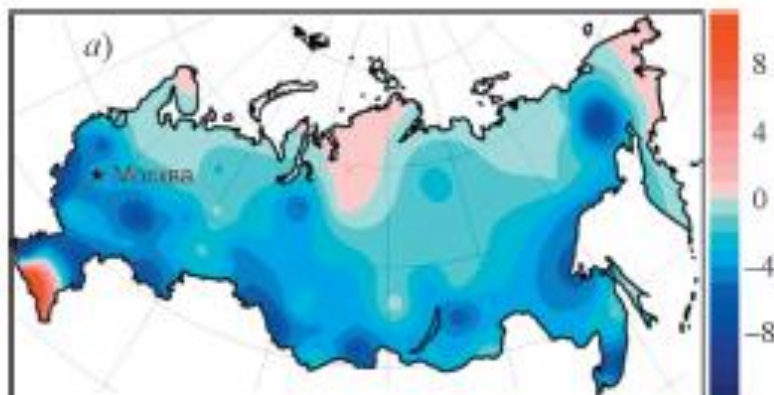
Изменение повторяемости облаков Сб (%) в 2001-2010 по отношению к 1991-2000 гг.



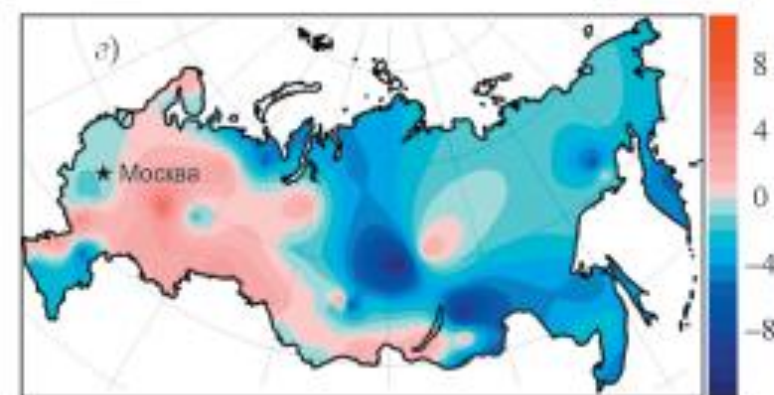
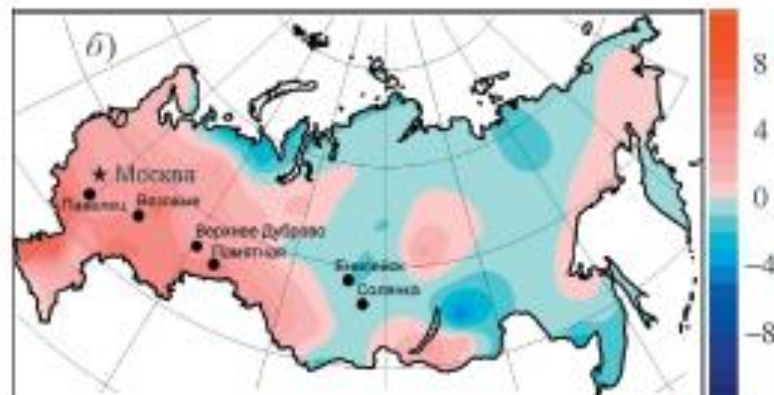
Увеличивается доля конвективной облачности, особенно Сб. Увеличение общей облачности происходит в основном в весенний и осенний периоды.

Изменение ($\text{Вт}/\text{м}^2$ за 10 лет) прямой (а,б) и суммарной (в,г) годовой радиации, приходящей к земной поверхности

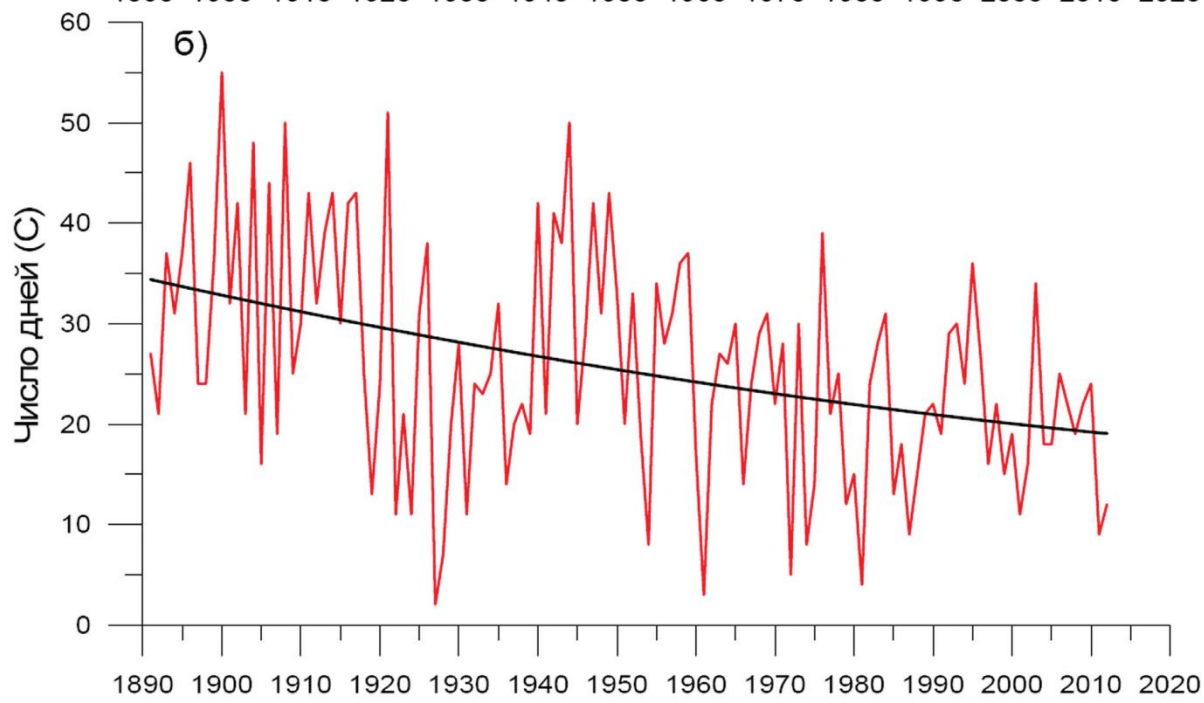
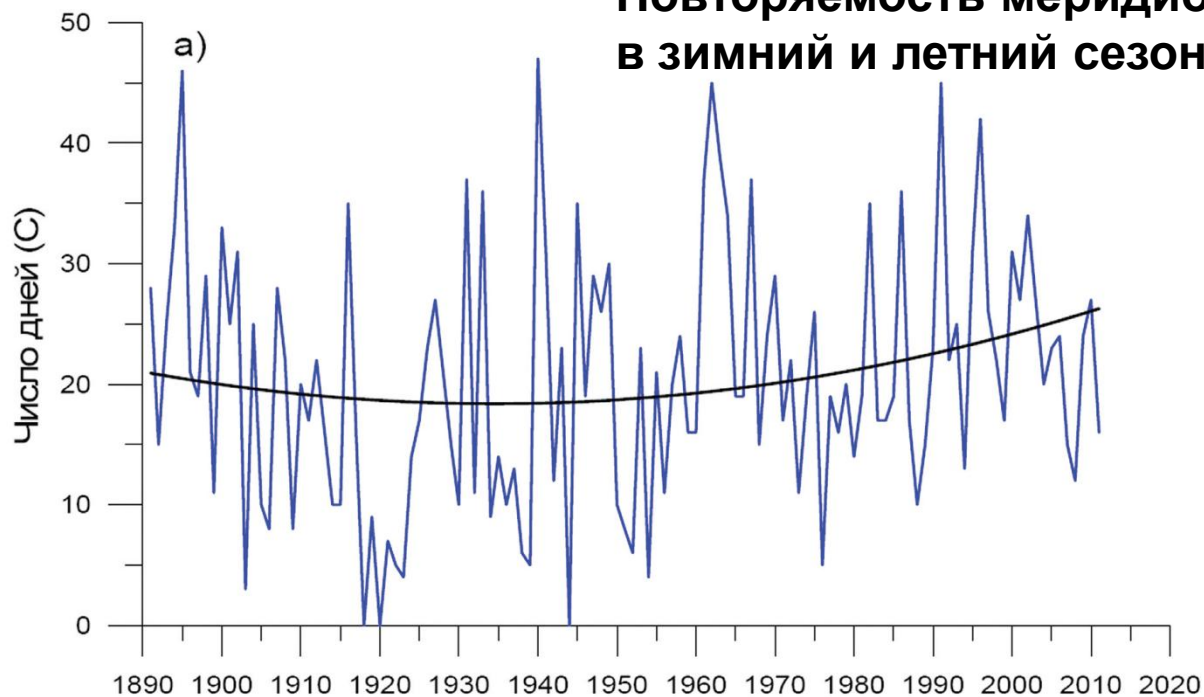
1961-1985



1986-2010



Повторяемость меридиональной циркуляции в зимний и летний сезоны

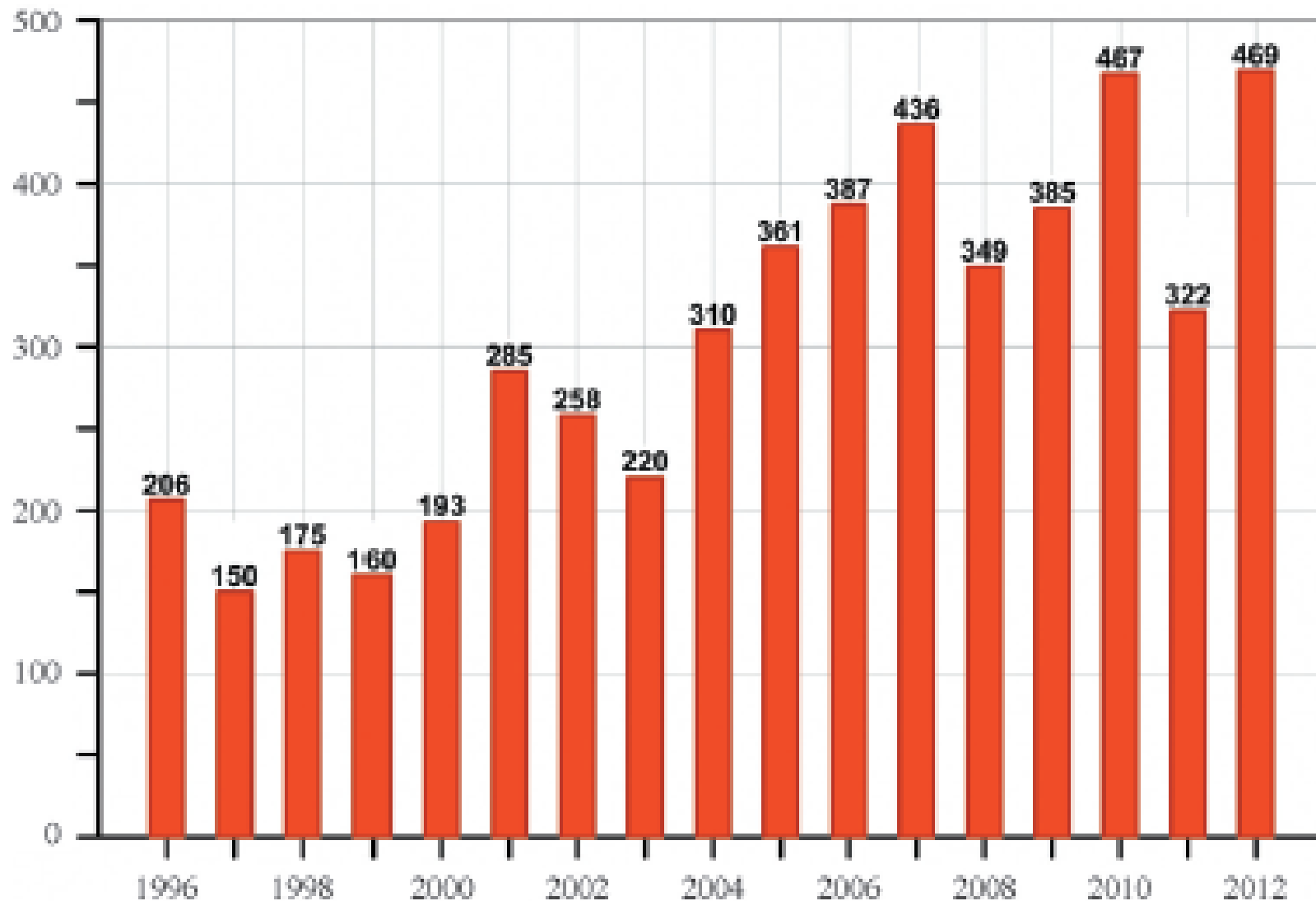


Экстремальность климата

Показатель климатических экстремумов	Изменения на территории России
T_{\min} , T_{\max} — годовые минимумы и максимумы температуры воздуха	<i>Увеличение T_{\min} и T_{\max} наблюдается на большей части территории. Уменьшение T_{\min} (усиление морозов) отмечено в Северо-Кавказском федеральном округе, на юге Западной Сибири и Забайкалья, а T_{\max} — на Южном Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке</i>
Экстремумы тепла	Во все сезоны преобладает увеличение числа дней с аномально высокой температурой воздуха (<i>выше процентиля P_{95}</i>), наиболее заметное летом на АЧР. Летом повсеместно увеличиваются значения сезонных положительных экстремумов P_{95} (рис. TP1.18): максимумы — на юго-западе ЕЧР, в регионе Байкала, на Чукотке. Зимой — значительное уменьшение на северо-востоке страны
Экстремумы холода	<i>Суммарное число суток с морозом FD уменьшается в целом за год и в переходные сезоны почти повсеместно, особенно осенью. Во все сезоны преобладает уменьшение числа суток с экстремально низкой температурой воздуха ночью (ниже P_3). Увеличение отмечается зимой на Средней Волге, юге Западной Сибири и в южных районах Забайкалья. Значения сезонных экстремумов (P_3 сезонной выборки) суточной температуры летом увеличиваются почти повсеместно, зимой уменьшение P_3 (усиление холодов) отмечается на востоке Северного Кавказа и на севере Западной Сибири; максимум увеличения в оба сезона — на западе ЕЧР (рис. TP1.18)</i>

Сильные осадки	Число суток с аномально большим количеством осадков (≥ 10 мм; <i>выше P_{95}</i>) зимой увеличивается на большей части ЕЧР, но летом — уменьшается в восточной части ЕЧР, на Урале и на большей части Северо-Кавказского и Южного федеральных округов (рис. TP1.19)
Число суток без осадков	<i>Увеличение</i> числа суток без осадков: зимой на большей части страны, летом на большей части ЕЧР, на Камчатке и Чукотке
Волны тепла и холода	В западной части Российской Федерации число волн тепла, их продолжительность и интенсивность во все сезоны имеют тенденцию к увеличению, а аналогичные характеристики волн холода — к уменьшению
Засушливые условия	Отмечается увеличение значений показателей засушливости во многих частях земледельческой зоны России. Во многих регионах увеличивается число дней с экстремально низкими значениями влагосодержания пахотного слоя почвы
Опасные гидрометеорологические явления	<i>Значительное увеличение</i> числа опасных гидрометеорологических явлений на территории Российской Федерации в течение 1996—2012 гг., в том числе нанесших значительный ущерб экономике и населению (рис. TP1.20)
Атмосферное электричество и грозы	Изменения грозовой активности изучены недостаточно. По ограниченным данным, на юго-востоке Западной Сибири и на территории Горного Алтая в последние десятилетия однонаправленных тенденций не наблюдается

Суммарное число опасных гидрометеорологических явлений на территории России, нанесших значительный ущерб экономике и населению за период 1966-2010 гг.



Климат Арктики

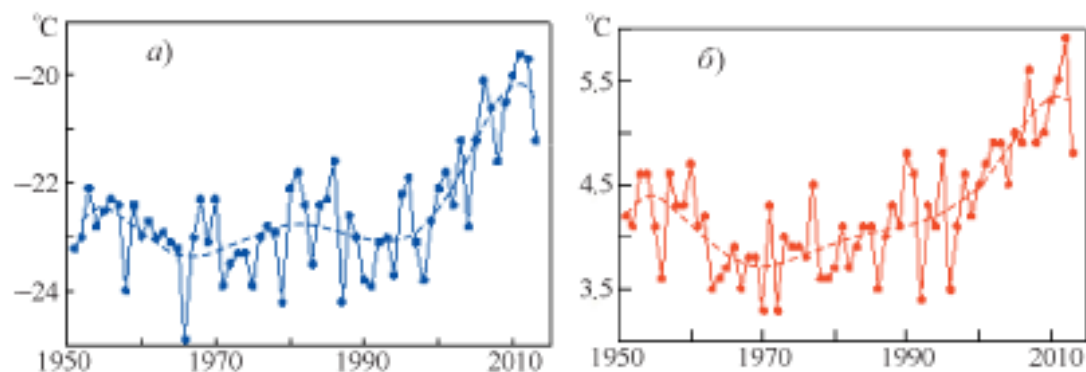


Рис. TP1.21. Изменение средней температуры воздуха в морской Арктике за период 1951—2013 гг.: *а* — зима (декабрь — февраль); *б* — лето (июнь — август). Штриховая линия — аппроксимация ортогональным полиномом шестой степени.

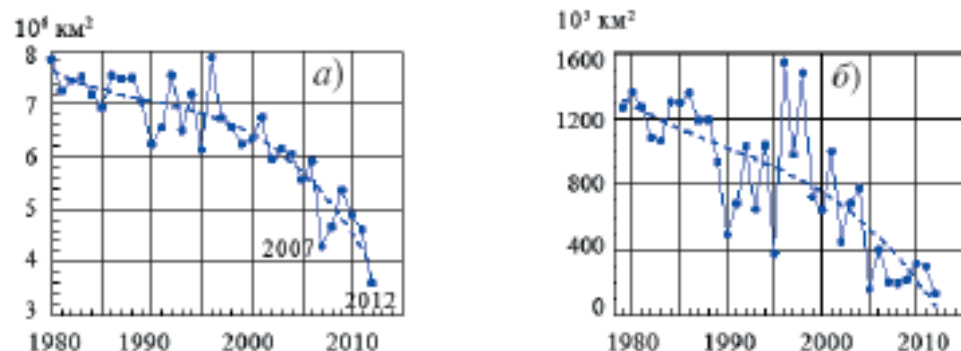


Рис. TP1.22. Средняя площадь морского льда в сентябре в Арктике (*а*; по данным Национального центра данных о снеге и льде, США, NSIDC) и в сибирских арктических морях (*б*; по данным ААНИИ) в 1980–2012 гг. Штриховая кривая — аппроксимация полиномом третьей степени.

Внешние факторы изменения климата:

Естественные:

- Солнечное излучение
- Параметры орбиты
- Вулканическая активность

Антропогенные:

- Изменение газового и аэрозольного состава атмосферы
- изменение альбедо поверхности

Парниковый эффект

Парниковый эффект — повышение температуры нижних слоёв атмосферы планеты по сравнению с эффективной температурой, то есть температурой теплового излучения планеты, наблюдаемого из космоса.



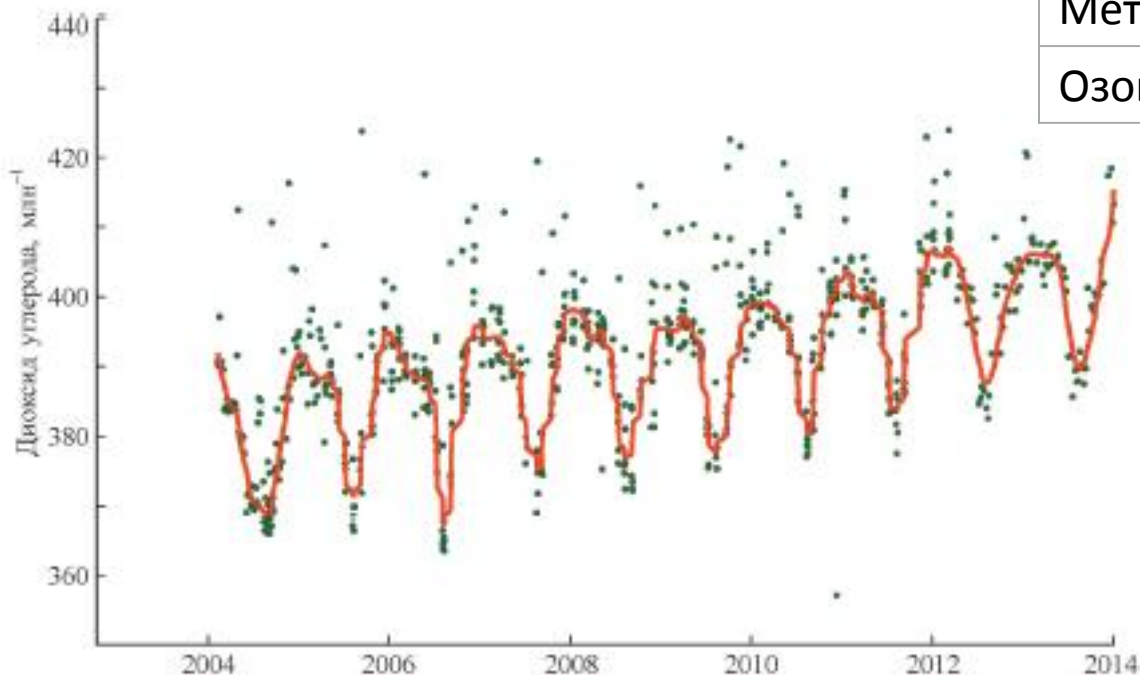
В результате парникового эффекта температура на Земле примерно на 33 °C выше.

Парниковые газы

Содержание парниковых газов
(CO₂, метан, закись азота
(N₂O),
галогеноуглеводороды)
возросло за последние
десятилетия

Основные парниковые газы атмосферы
Земли

Газ	Формула	Вклад (%)
Водяной пар	H ₂ O	36 — 72 %
Диоксид углерода	CO ₂	9 — 26 %
Метан	CH ₄	4 — 9 %
Озон	O ₃	3 — 7 %

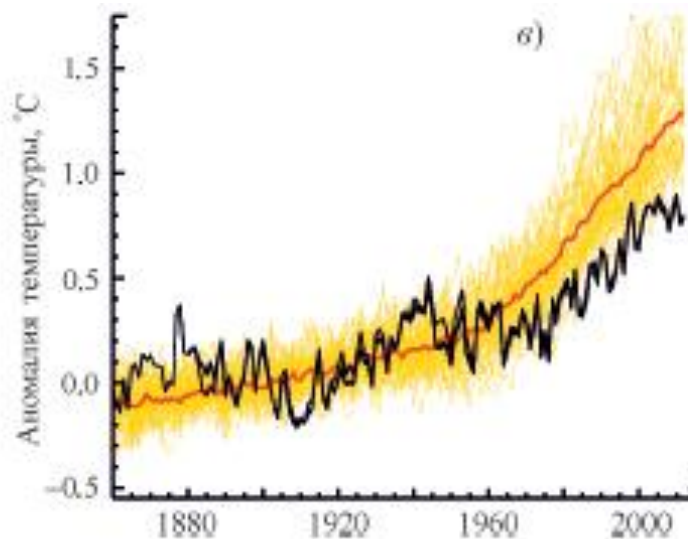
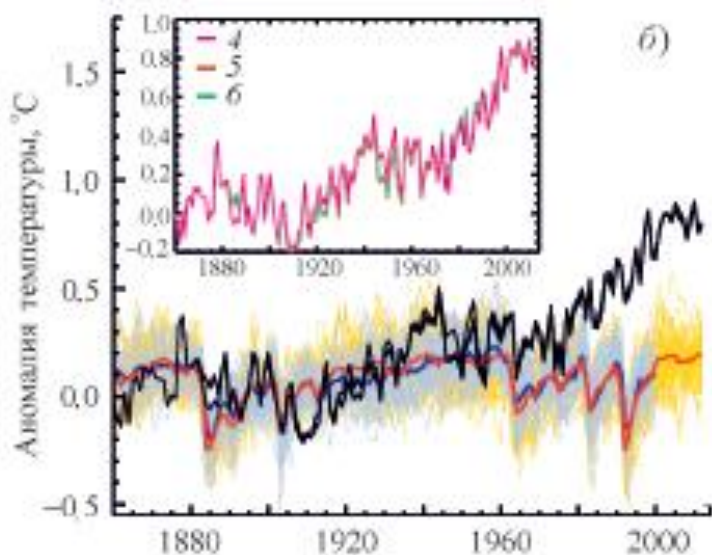
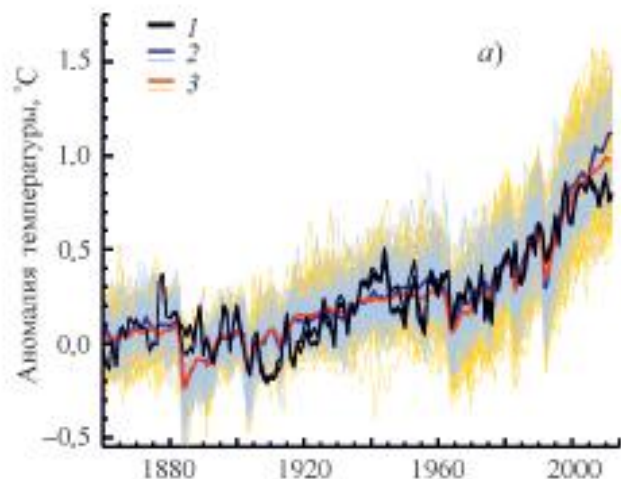


Причины изменений климата

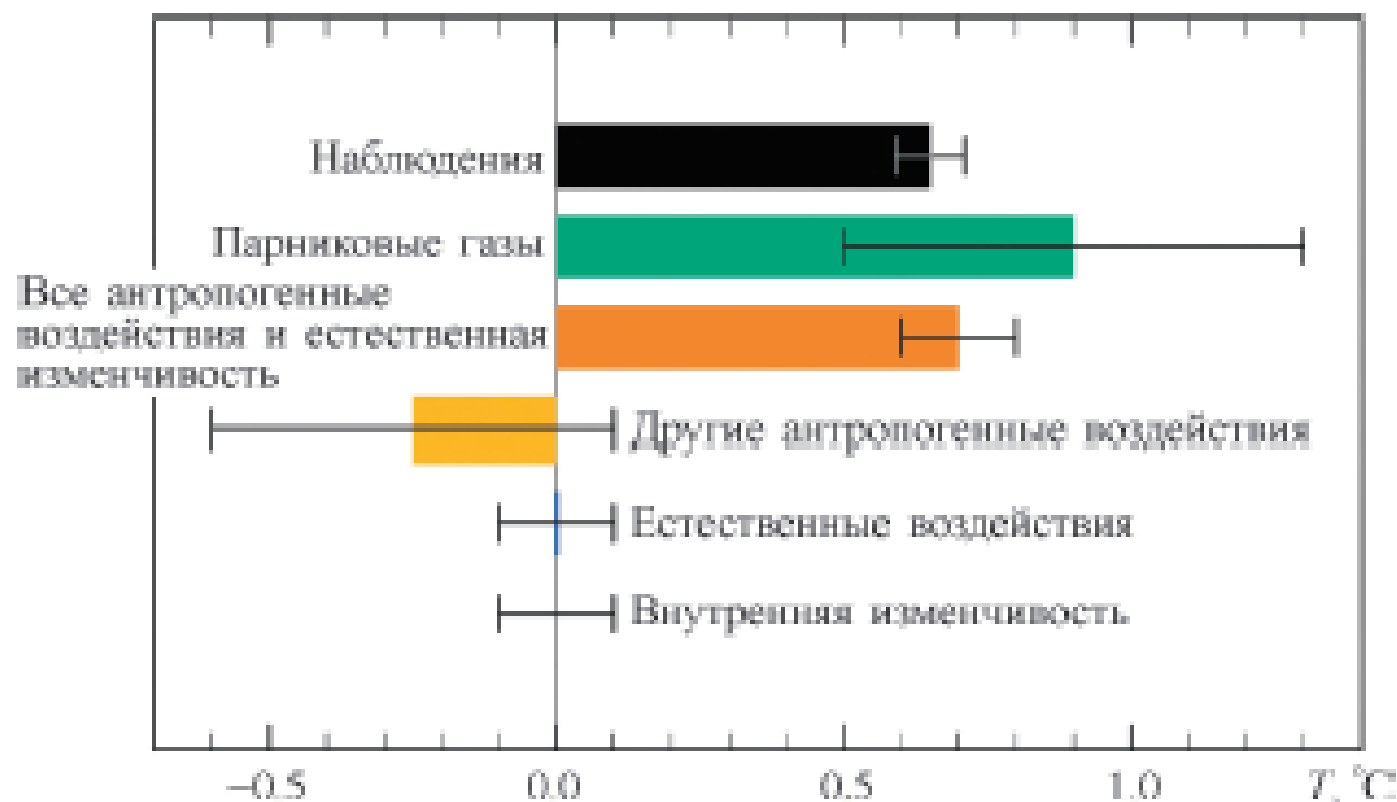
Сравнение наблюдаемых изменений с ожидаемыми изменениями, рассчитанными по климатическим моделям (ансамбли CMIP3 и CMIP5).

С вероятностью $>95\%$ более половины наблюдаемого потепления вызвано антропогенными факторами.

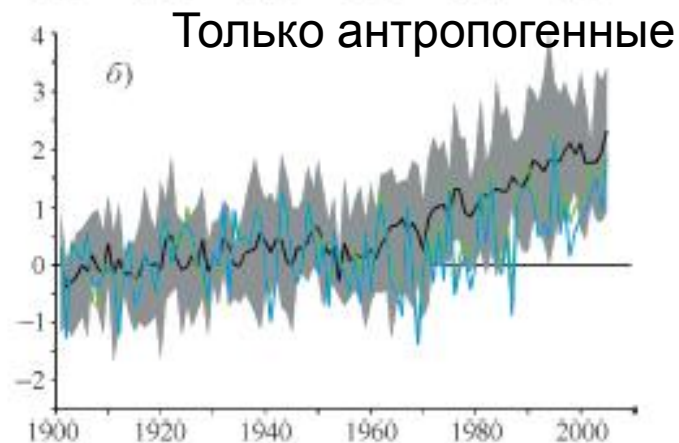
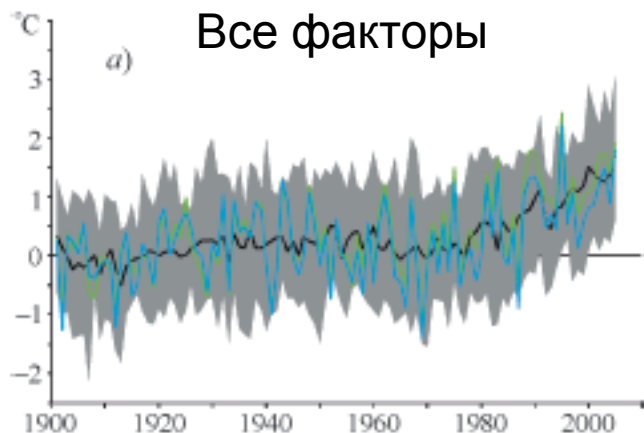
Ещё одно доказательство антропогенного потепления – похолодание стратосферы.



Вероятностные границы (горизонтальные интервалы) и средние значения (цветные прямоугольники) оценок установленного вклада различных факторов в линейный тренд глобального потепления за 1951-2010 гг.



Антропогенная составляющая изменений климата на территории России



Неантропогенные факторы

- Солнечная радиация – изменение солнечной постоянной соответствуют радиационному воздействию с середины XVIII в. $0,05 \text{ Вт/м}^2$ – 2% по отношению к антропогенному воздействию
- Извержения вулканов – выбросы SO_2 с середины XVIII в. Были, по крайней мере, в 100 раз меньше, чем антропогенные. Для заметного влияния на климат SO_2 должен попасть в стратосферу.
- Увеличение теплосодержания океана – недостаточная изученность процессов в океане.

Ожидаемые изменения климата в XXI веке

Климатические модели – основной инструмент для анализа и прогноза климата.

Проект CMIP5 – ансамбль из 31 модели, сценарии выбросов RCP: 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 – величина радиационного воздействия к 2100 г.

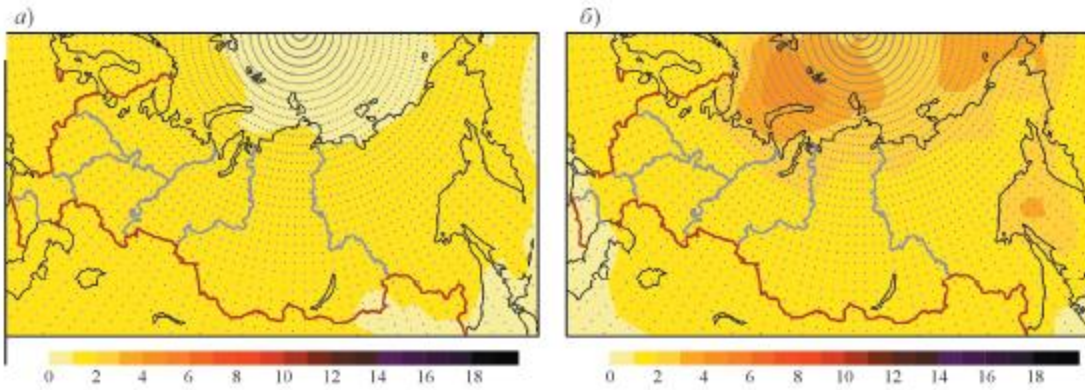
Совершенствование климатических моделей – улучшение пространственного разрешения, параметризаций, включение новых блоков.

Согласно МГЭИК в XXI веке глобальная приземная температура будет повышаться при всех рассматриваемых сценариях (от 0,2 °C при RCP 2.6 до 4,8 °C при RCP8.5). Количество осадков будет увеличиваться на 1-3% на 1 °C потепления. Уровень Мирового океана за период с 1981 по 2100 гг. поднимется в диапазоне от 0.26 (RCP2.6) до 0.82 (RCP8.5) м.

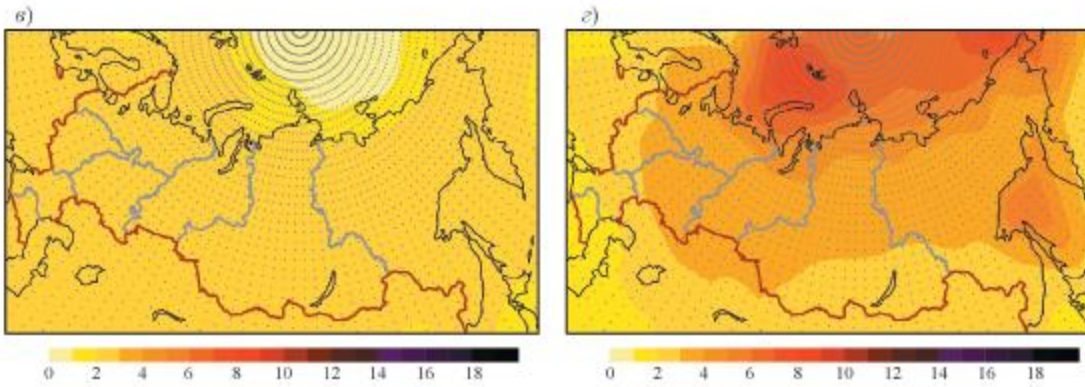
Лето

Зима

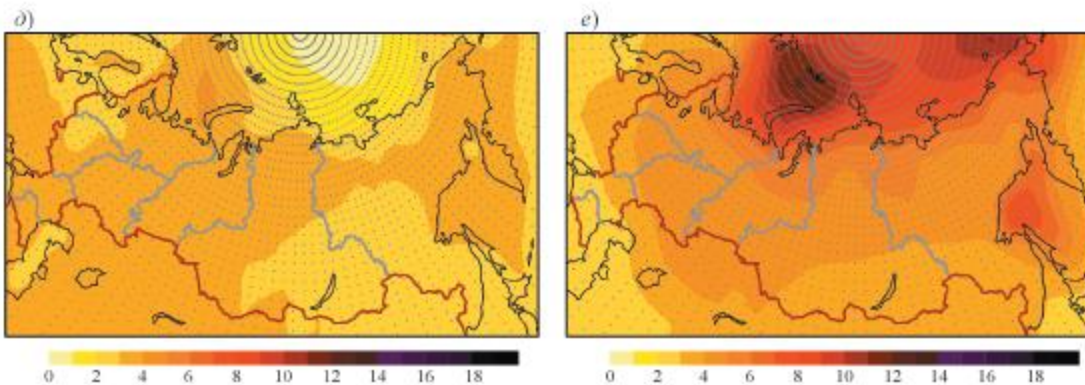
2011-2030



2041-2060



2080-2099



Ожидаемые
изменения средней
сезонной
температуры воздуха
на территории России

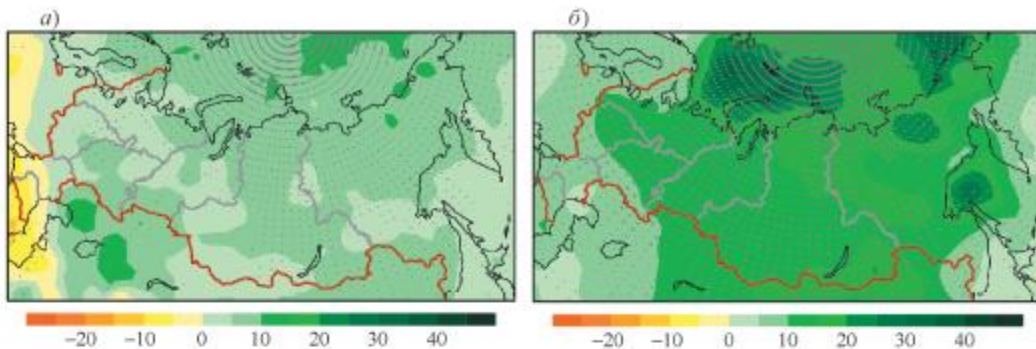
Ансамбль CMIP5,
Сценарий RCP4.5

Скорость потепления выше
глобальной.
Повышение годового
максимума температуры,
повышение минимальной
температуры

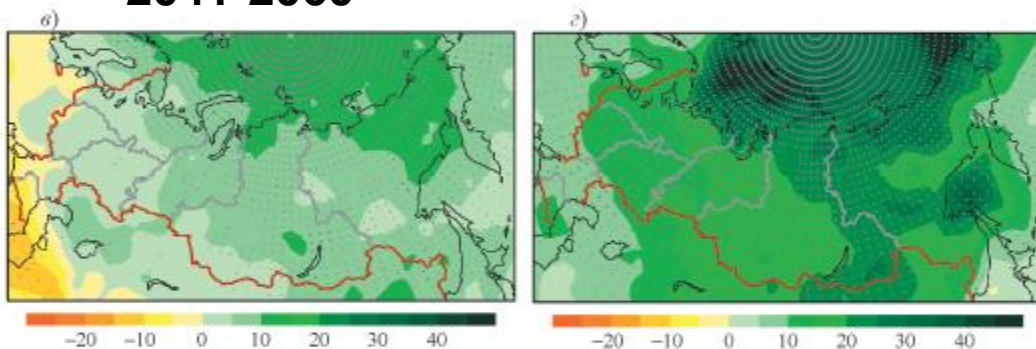
Лето

Зима

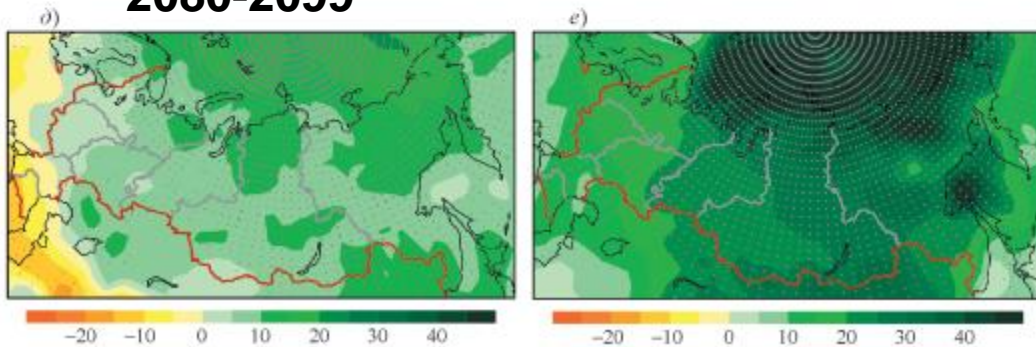
2011-2030



2041-2060



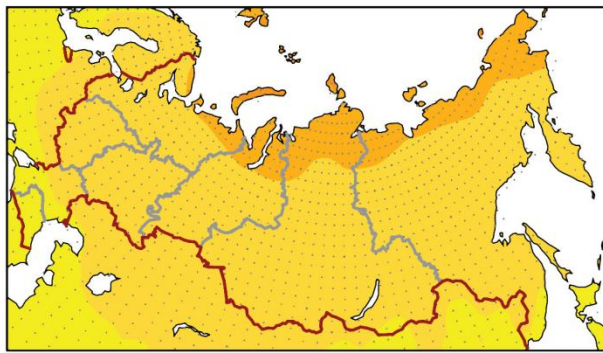
2080-2099



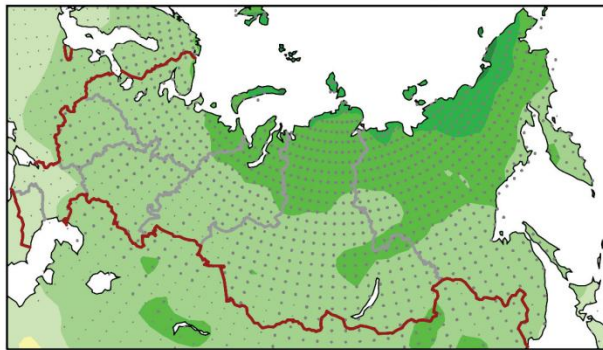
**Ожидаемые
изменения количества
осадков на
территории России**

**Увеличение осадков, кроме
Южных регионов ЕТР**

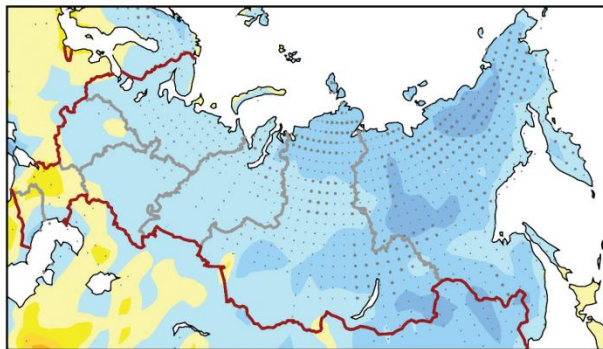
**2034-2053,
RCP4.5**



0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

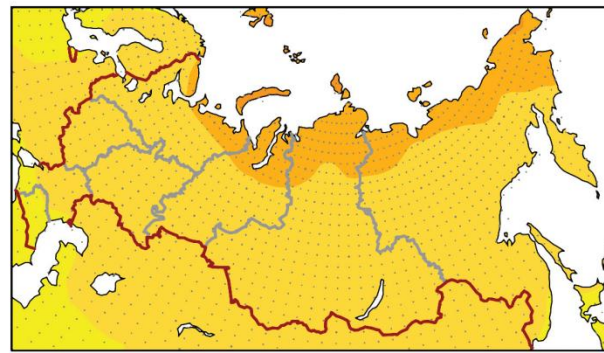


-25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45



-60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90

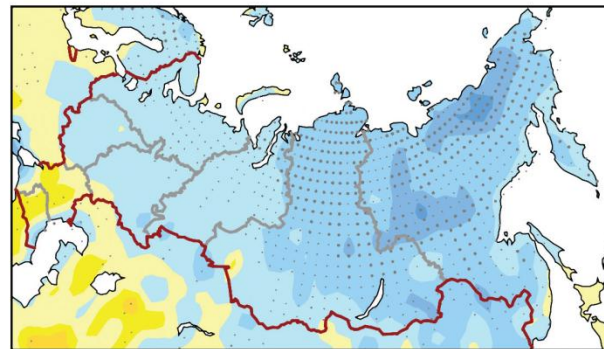
**2028-2047,
RCP8.5**



0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19



-25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45

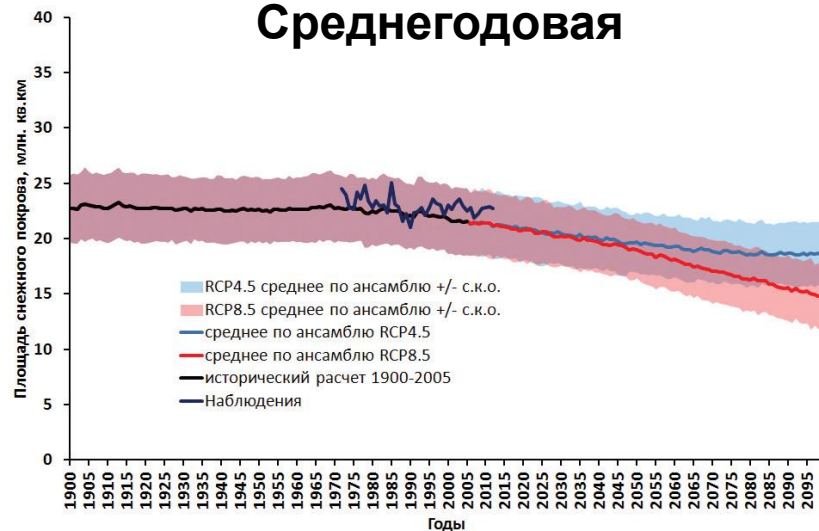


-60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90

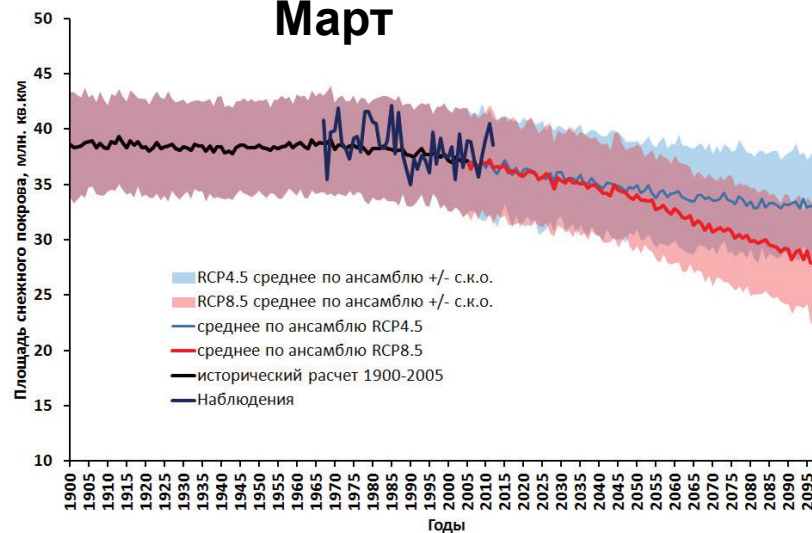
**Изменение температуры воздуха, количества осадков и суммарного
Годового стока при потеплении на 2 °С по отношению к
доиндустриальному уровню**

Эволюция площади снега (млн. км²) в XX-XXI веке

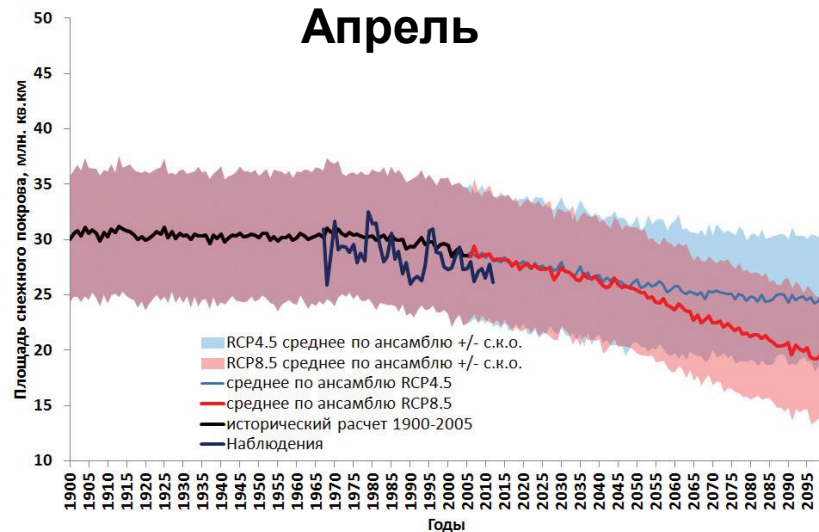
Среднегодовая



Март



Апрель



Изменение площади Морского льда в Арктике

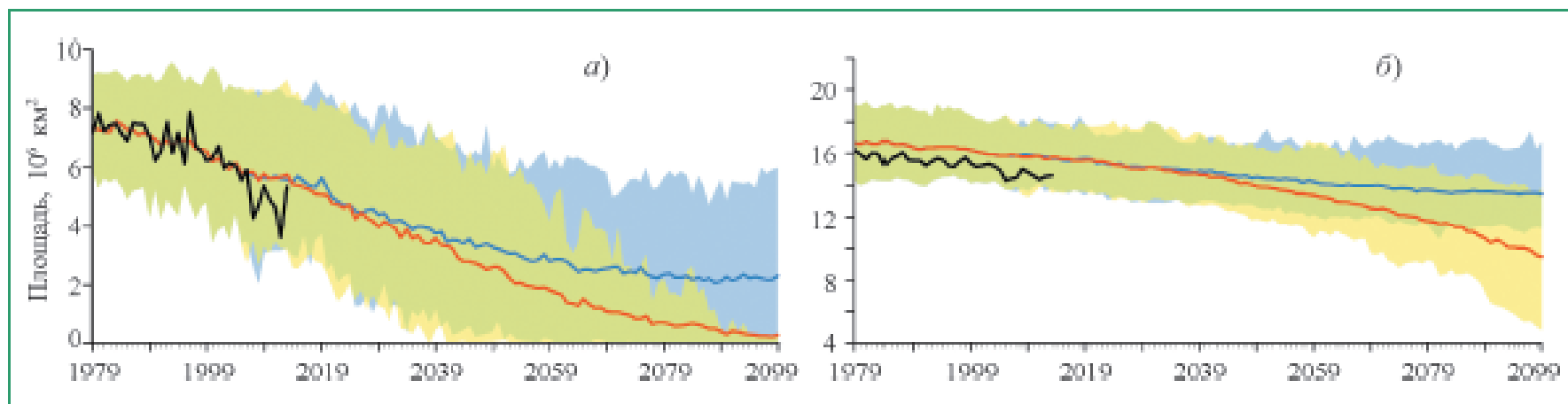
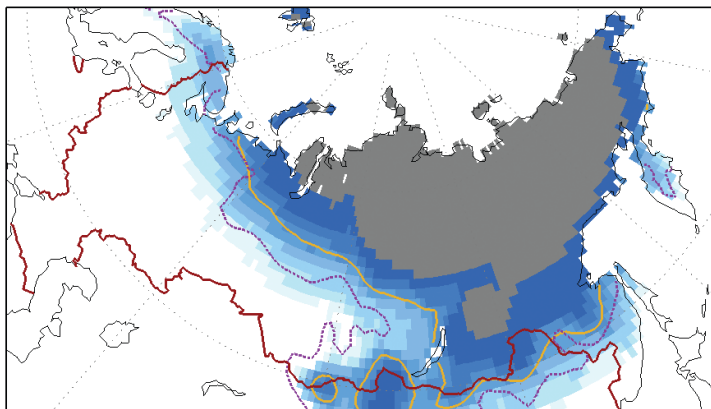


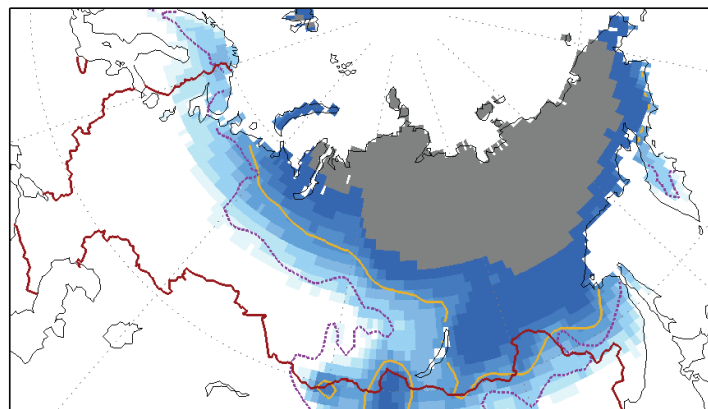
Рис. TP3.9. Эволюция площади морского льда в период 1979—2099 гг. в Арктике в сентябре (а) и феврале (б) по данным 30 моделей CMIP5 для сценариев RCP4.5 и RCP8.5 (голубая и красная сплошные линии соответственно), а также межмодельный разброс в пределах 10-й и 90-й перцентилей (голубая и желтая штриховка соответственно). Для периода 1979—2005 гг. в каждом ансамбле сценарному расчету предшествует ретроспективный расчет. Для периода 1979—2013 гг. приводится площадь льда по данным наблюдений NSIDC (National Snow and Ice Data Center — Национальный центр данных о снеге и льде, США) (черная кривая).

Площадь, занятая мерзлотой в верхнем слое почвы (3,3 м) в XXI веке

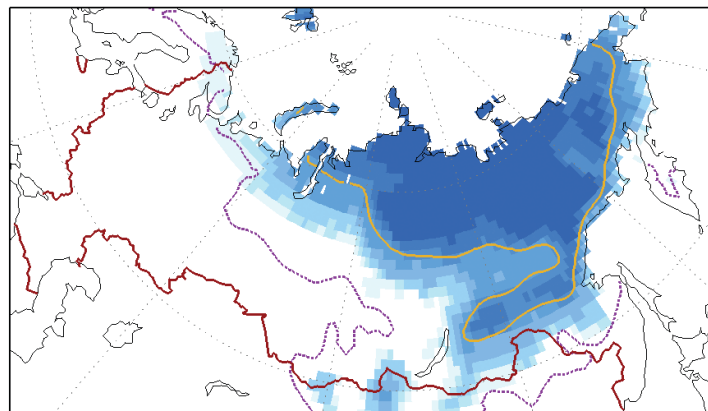
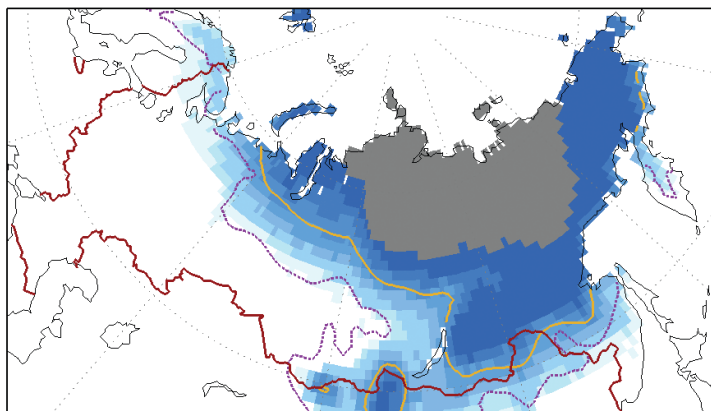
RCP4.5



RCP8.5



2041-2060



2080-2099

Литература

- Алисов Б.П., 1956. Климат СССР, М., Московский Университет, 127 с.**
- Будыко М. И., 1974. Изменения климата. Л., Гидрометеиздат. 280 с.**
- Замолодчиков Д. Г., 2013. Естественная и антропогенная концепции современного потепления климата, Вестник РАН, т. 83, № 3, с. 227–235.**
- Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. / Семенов С.М., ред. / М., 2012, НИЦ «Планета», 512 с.**
- Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2008, т. 1, 228 с.; т. 2, 288 с.**
- Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014, 1004 с.**