

13а | НАО: средние тренды
и их прогнозы



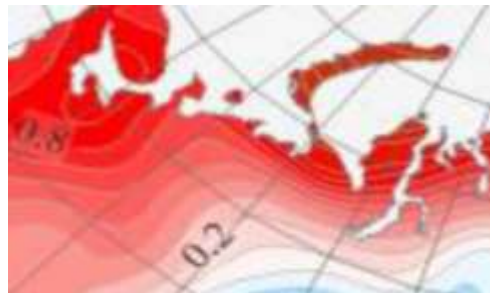
Тренды среднемесячных температур

Изменения среднемесячных температур - линейный тренд с 1976 года ($^{\circ}\text{C}/10$ лет), умноженный на число лет. Диапазон отражает неравномерность тренда по территории НАО

месяц	тренд с 1976 г., $^{\circ}\text{C}$ и направление его роста
I	0,4-4,4 S->N
II	2,0-4,4 W->E
III	0,8-3,6 W->E
IV	3,2-4,8 W->E
V	1,6-2,8
VI	0,8-2,4 W->E
VII	1,6-2,4 S->N
VIII	1,2-2,0 E->W
IX	1,6-2,0
X	2,8-4,4 W->E
XI	1,6-2,0
XII	3,6-4,4

- ✓ Потепление гораздо сильнее, чем в РФ в целом
- ✓ Во все сезоны и по всей территории, сильнее всего зимой
- ✓ Максимум потепления во все месяцы в прибрежных районах Карского моря
- ✓ Везде сильное удлинение вегетационного периода

Пример пространственной неравномерности трендов, $^{\circ}\text{C}/10$ лет с 1976 г.



Февраль: сильное потепление всех приморских территорий



Июнь: сильное потепление на востоке



Тренды среднемесячных осадков

Изменения осадков даны как линейный тренд с 1976 года (%/10 лет, от нормы 1961-1990 гг.) умноженный на число лет. Диапазон отражает неравномерность тренда по территории НАО

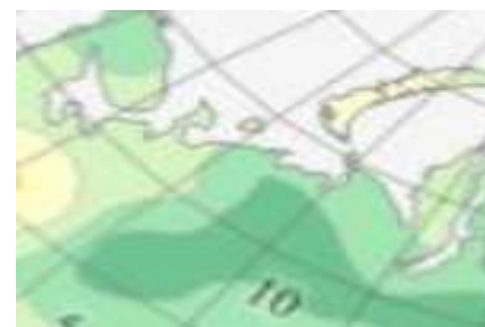
- ✓ Осадки в основном растут, значительны пространственные различия
- ✓ Особенности увеличения осадков: фев., июль и авг. рост E -> W; апр., июнь и дек. рост W -> E.

%/10 лет с 1976 г.

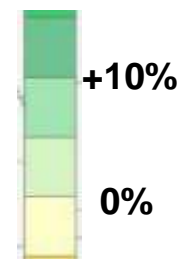
месяц	тренд с 1976 г., %
I	0 - +20
II	0 - +20
III	0 - +20
IV	0 - +40
V	0 - +20
VI	0 - +40
VII	-20 - +20
VIII	-20 - +20
IX	-20 - +20
X	0 - +20
XI	0 - +20
XII	0 - +20



Февраль: слабый рост на западе, незначительное снижение на востоке



Апрель: сильный рост в центральной части региона



✓ Снежный покров с 1976 г.:

- ❖ **Длительность сократилось на ~10 дней**, кроме восточной части (бассейн Карского моря), где рост на ~10 дней
- ❖ **Максимальная высота не изменилась**, кроме восточной части, где рост на ~10 см



Прогноз среднесезонных температур

Прогноз Климатического центра Росгидромета на XXI век (отклик на глобальное потепление)



Сценарии максимальных (RCP 8.5) и умеренных выбросов (RCP 4.5)

- ✓ **Зима сильно теплеет** уже к середине века и по любому сценарию, к концу века может потеплеть на **10°C** (рост средней температуры до -5°C)
- ✓ **Весна и осень $\sim 3-4^{\circ}\text{C}$** к середине века, **$\sim 4-6^{\circ}\text{C}$** к концу XXI в.
- ✓ **Летние диапазоны: $\sim 2-3^{\circ}\text{C}$ и $\sim 3-6^{\circ}\text{C}$**

Диапазоны оценок роста сезонных температур от средних в 1981-2000 гг. для трех периодов XXI века (календ. сезоны)

Весна, °C	RCP 8.5	RCP 4.5
2011-2030	0,9 – 3,0	0,8 – 2,7
2041-2060	2,9 – 5,2	2,0 – 4,7
2080-2099	5,6 – 9,6	3,1 – 6,2

Лето, °C	RCP 8.5	RCP 4.5
2011-2030	0,7 – 2,5	0,7 – 2,4
2041-2060	2,0 – 4,5	1,5 – 3,9
2080-2099	4,4 – 8,1	2,2 – 5,1

Зима, °C	RCP 8.5	RCP 4.5
2011-2030	1,6 – 4,0	1,3 – 3,9
2041-2060	4,6 – 7,9	3,1 – 6,7
2080-2099	8,6 – 13,2	4,7 – 8,6

Осень, °C	RCP 8.5	RCP 4.5
2011-2030	0,9 – 2,7	0,8 – 2,4
2041-2060	2,5 – 5,0	1,5 – 4,4
2080-2099	4,7 – 8,7	2,3 – 5,7

- ✓ На средние изменения будут накладываться естественные вариации климата, большая межгодовая изменчивость



Прогноз среднесезонных осадков

Прогноз Климатического центра Росгидромета на XXI век (отклик на глобальное потепление)



Сценарии максимальных (RCP 8.5) и умеренных выбросов (RCP 4.5)

- ✓ **Зимой** к концу века количество осадков возрастет на **25 - 50%**
- ✓ **Осенью** во второй половине века вероятен существенный рост осадков
- ✓ **Весной и летом** значительный рост осадков маловероятен

Диапазоны оценок изменения сезонных осадков от средних в 1981-2000 гг. для трех периодов XXI века (календарные сезоны), мм/сут. (за сезон в 90 раз больше).


Весна	RCP 8.5	RCP 4.5
2011-2030	0,0 – +0,2	-0,1 – +0,2
2041-2060	0,0 – +0,3	0,0 – +0,3
2080-2099	+0,1 – +0,4	0,0 – +0,2

Лето	RCP 8.5	RCP 4.5
2011-2030	-0,1 – +0,2	-0,1 – +0,3
2041-2060	-0,1 – +0,2	-0,1 – +0,3
2080-2099	-0,1 – +0,3	-0,1 – +0,4

Зима	RCP 8.5	RCP 4.5
2011-2030	0,0 – +0,3	0,0 – +0,2
2041-2060	+0,1 – +0,3	+0,1 – +0,3
2080-2099	+0,3 - +0,7	+0,2 - +0,4

Осень	RCP 8.5	RCP 4.5
2011-2030	0,0 – +0,3	0,0 – +0,3
2041-2060	0,0 – +0,4	0,0 – +0,3
2080-2099	+0,2 – +0,6	+0,1 – +0,4

- ✓ На средние изменения будут накладываться естественные вариации климата, большая межгодовая изменчивость

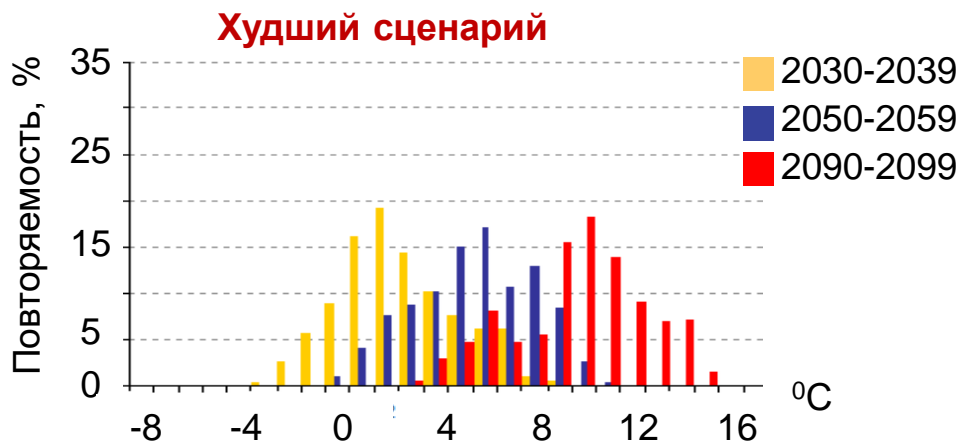
A photograph of a dilapidated wooden house with a gabled roof and a brick chimney, situated on a grassy field. The house appears to be in poor condition, with some windows missing. In the foreground, there are several logs and a small puddle of water. A bird is flying in the sky above the house. The overall scene is somewhat desolate and suggests a remote or abandoned location.

136 | НАО: прогноз аномальных температур и осадков



Аномальные температуры зимнего периода (октябрь – апрель)

Вероятность отклонения температуры (октябрь-апрель) от средней за 1990-1999 гг.

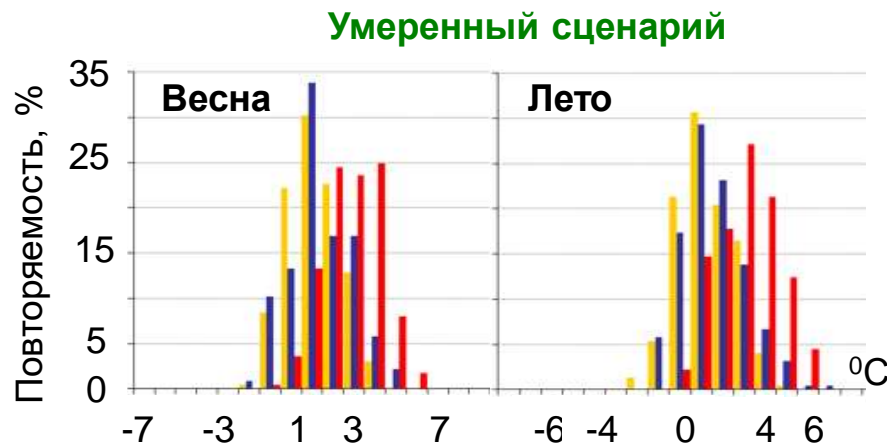
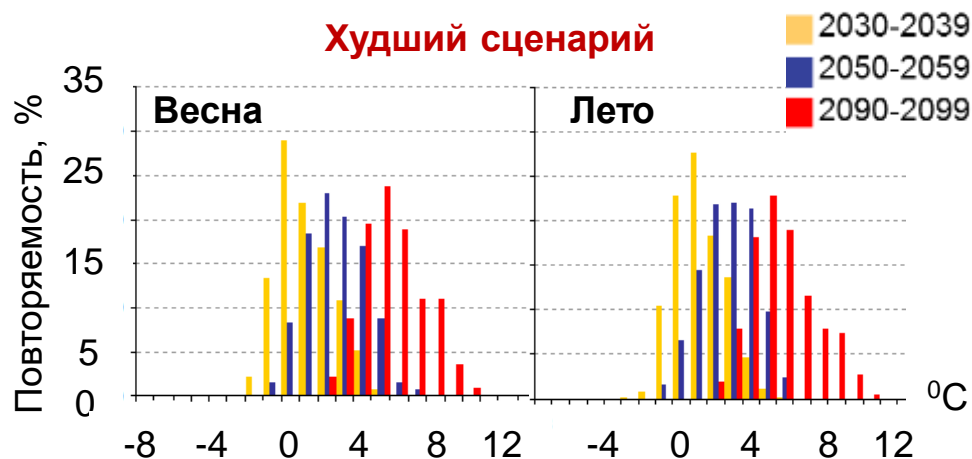


- ✓ В зимний период ожидаются наибольшие сезонные температурные аномалии
- ✓ Различия в сценариях видны уже в 2050-х, но особенно велики в конце века
- ❖ 2030-х окт.-апрель на $\geq 4^{\circ}\text{C}$ теплее 1990-х ожидается в трети случаев, а 1 раз в 10 лет вероятен окт.-апрель на $\geq 7^{\circ}\text{C}$ теплее
- ❖ В 2050-х в 30% случаев окт.-апрель $\geq 7^{\circ}\text{C}$ теплее
- ❖ **В конце века более 50% лет «зима» теплее 1990-х на $\geq 10^{\circ}\text{C}$, нередко «зимы» на $12-14^{\circ}\text{C}$ теплее. Зимний сезон кардинально сократится**
- ❖ К концу века периодов октябрь-апрель на $12-14^{\circ}\text{C}$ теплее 1990-х не будет
- ❖ **Будет намного теплее, чем сейчас, но не столь радикально, как по худшему сценарию**



Аномальные температуры весны (май-июнь) и лета (июль-сентябрь)

Вероятность отклонения средней сезонной температуры от средней за 1990-1999 гг.



- ✓ Различия в сценариях видны уже в 2050-х, но особенно значимы для конца века
 - ❖ 2030-е: весна и лето только в 5% случаев на $\geq 4^{\circ}\text{C}$ теплее, чем в 1990-е
 - ❖ 2050-е: ситуация существенно изменится, на $\geq 4^{\circ}\text{C}$ треть лет из 10
 - ❖ К концу века, 3 года из 10 лето на $\geq 7^{\circ}\text{C}$ теплее 1990-х. **2-3 раза за 10 лет июль или август могут быть на $15-20^{\circ}\text{C}$ теплее с длительными абсолютными температурами $\geq 30^{\circ}\text{C}$**
 - ❖ К концу века летние температуры в среднем возрастут лишь на $2-3^{\circ}\text{C}$, а не на $4-6^{\circ}\text{C}$, как в худшем сценарии
 - ❖ **Можно будет избежать регулярных (например, раз в 3 года) периодов сильной жары**, когда абсолютные температуры могут достигать 30 и более $^{\circ}\text{C}$ в течение нескольких недель



Осадки

Изменения осадков менее критичны, чем температурные аномалии, но тоже очень существенны

Рост зимних осадков

- ✓ Во второй половине века увеличение числа зим с обильными осадками, особенно по худшему сценарию
- ✓ Рост осадков в октябре-апреле не приведет к существенному увеличению высоты снежного покрова, так как будет больше оттепелей и дождей

Неравномерность осадков

- ✓ Рост максимальных осадков за 5 последовательных дней
- ✓ Вероятен рост конвективных осадков, особенно в летний период, что означает рост «резкости» их выпадения
- ✓ Будет большая межгодовая изменчивость

Сокращение снежного периода

- ✓ В 2030-е и 2050-е годы снежный период на ~15 и ~25 дней короче, чем в 1990-х
- ✓ В конце века по худшему сценарию на **50 ± 15 дней короче**, чем в 1990-х, по умеренному сценарию на **30 ± 10 дней**

Удлинение вегетационного периода

- ✓ Вегетационный период (>5°C) в 2030-х и 2050-х годах на ~25 и ~50 дней длиннее, чем в 1990-х
- ✓ В конце века по худшему сценарию на **90 ± 20 дней длиннее**, чем в 1990-х, по умеренному сценарию на **60 ± 20 дней**



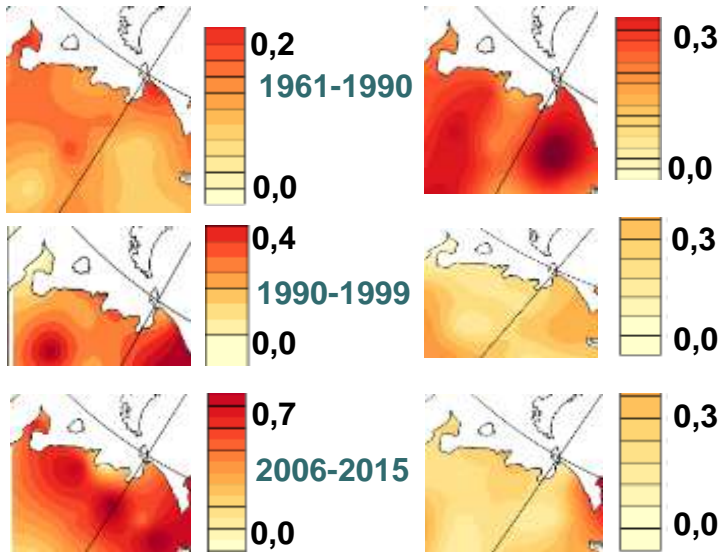
Волны тепла

Последние десятилетия

Среднее ежегодное количество волн тепла в данные месяцы

май-июнь

июль-сентябрь



- ✓ Значительное увеличение волн тепла (периодов ≥ 6 дней*) весной, но не летом

Прогноз

- ✓ Летний рост волн тепла сильнее весеннего
- ✓ Период оттепелей будет расширяться и охватывать все месяцы с октября по апрель
- ✓ Частота и длительность оттепелей (-5 $+$ 5°C) по умеренному сценарию гораздо меньше
- ✓ Общая длительность оттепелей в 2050-е годы в зимний период может **превышать 30 дней** или **только 10-15 дней**. В восточной части региона число волн тепла будет **3-6** или **2-3**
- ✓ Во второй половине века число волн тепла с октября по апрель возрастет в 1,5 – 2 раза. Как минимум **зима сократится**, но может и **кардинально измениться**

Худший сценарий

Рост числа волн тепла от 1990-х

Умеренный сценарий

	2030-е	2050-е	2090-е
окт.-апр.	2.0 ± 1.2	4.5 ± 1.6	6.8 ± 1.0
май-июнь	0.2 ± 0.3	1.1 ± 0.4	2.0 ± 0.2
июль-сент.	0.7 ± 0.7	1.6 ± 0.7	2.8 ± 0.3

	2030-е	2050-е	2090-е
окт.-апр.	2.3 ± 1.3	2.8 ± 1.4	4.8 ± 1.3
май-июнь	0.1 ± 0.2	0.2 ± 0.3	1.1 ± 0.5
июль-сент.	0.5 ± 0.4	0.8 ± 0.8	1.6 ± 0.7

* С суточными макс t, более 90% уровня распределения макс t в 1961-1990 гг., для данного места По данным расчетов ГГО им. А.И. Воейкова

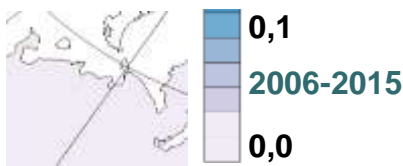
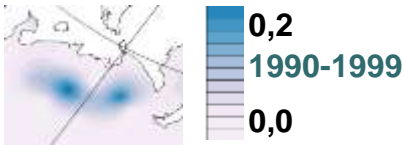
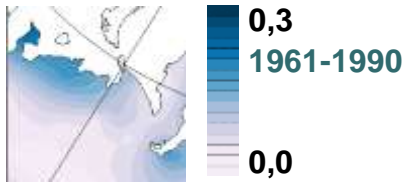


Волны холода

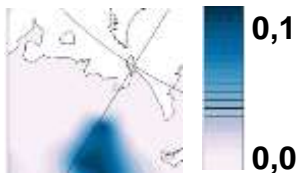
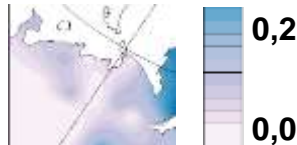
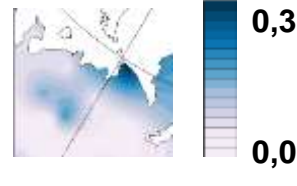
Последние десятилетия

Среднее ежегодное количество волн холода в данные месяцы

май-июнь



июль-сентябрь



- ✓ Есть тенденция на снижение числа волн холода (периоды ≥ 6 дней*), но она гораздо меньше межгодовой и пространственной изменчивости

Прогноз

- ✓ Весной и летом волны холода будут почти столь же частыми как в 1990-е
- ✓ В зимний период существенное снижение числа волн холода характерно уже для 2030-х, но затем в течение XXI века ситуация почти не меняется и слабо зависит от сценария
- ✓ Сильные морозы будут случаться реже, но совсем они не исчезнут, нужно будет быть к ним готовыми и в середине и в конце века

Худший сценарий

Уменьшение числа волн холода от 1990-х

Умеренный сценарий

	2030-е	2050-е	2090-е
окт.-апр.	-0.6 ± 0.4	-0.7 ± 0.4	-0.7 ± 0.4
май-июнь	-0.1 ± 0.1	-0.1 ± 0.1	-0.1 ± 0.1
июль-сент.	-0.2 ± 0.1	-0.2 ± 0.1	-0.2 ± 0.1

	2030-е	2050-е	2090-е
окт.-апр.	-0.5 ± 0.4	-0.6 ± 0.4	-0.6 ± 0.4
май-июнь	-0.1 ± 0.1	-0.1 ± 0.1	-0.1 ± 0.1
июль-сент.	-0.2 ± 0.1	-0.2 ± 0.1	-0.2 ± 0.1

*С суточными мин t, менее 10% уровня распределения t мин в 1961-1990 гг., для данного места По данным расчетов ГГО им. А.И. Воейкова

An aerial photograph of a coastal city, likely in the North Atlantic Ocean region. The city is densely packed with multi-story residential and commercial buildings. In the foreground, a wide road with a median runs horizontally across the frame. To the left of the road, there is a large, shallow, marshy area with standing water. In the background, a large body of water stretches to the horizon under a cloudy sky. A semi-transparent teal banner is overlaid on the middle of the image, containing white text.

13в | НАО: резюме изменений климата в XXI веке



НАО: резюме на XXI век

Региональные проявления глобального антропогенного изменения климата

Максимальные глобальные выбросы парниковых газов, более быстрый рост эффектов, особенно во второй половине века, в итоге к концу века:

- ✓ кардинальное смещение сезонов, зимы на 9-14⁰С теплее, чем в 1990-е
- ✓ весь период с октября по апрель превращается в череду оттепелей и морозов
- ✓ сильное увеличение вегетационного периода; **регулярная летняя жара**

Умеренные выбросы: постепенный рост эффектов, в итоге к концу века:

- ✓ холодный период окт.-апрель значительно теплеет, на 4-6⁰С от 1990-х
- ✓ весна и лето изменяются не сильно, но сильно растет вегетационный период
- ✓ оттепелей зимой и волн тепла летом гораздо больше, чем сейчас

При наложении глобального потепления на естественную вариабельность

- ✓ вероятен рост межгодовой изменчивости и более сильные перепады погоды
- ✓ более «резкое» выпадение осадков в виде снега и в виде дождя

XXII век: подъем уровня моря, таяние мерзлоты и т.п.

Влияние на здоровье, инфраструктуру и природу см.: адаптационную часть данного курса WWF и САФУ.

Кратко см.: урок для школьников «Изменение климата в России» [изменениеклимата.pdf](http://www.metef.ru/izmenenie_klimata.pdf)

Общий обзор: «Второй оценочный доклад РФ» (2014) <http://www.meteorf.ru/product/climat/>