

Сюрпризы изменений глобального климата и Финский залив

В.Н. Малинин, проф. РГГМУ

Основные темы

- **Глобальное потепление: миф или реальность?**
- **Что происходит с уровнем Мирового океана?**
- **Исчез ли Гольфстрим?**
- **Возможны ли катастрофические наводнения в Финском заливе?**

Определение климата

Глобальный климат:

статистическая совокупность состояний, свойственная климатической системе за период времени год и более

Локальный климат:

совокупность атмосферных условий за многолетний (несколько десятилетий) период, свойственных конкретному месту в зависимости от его географического положения

Параметры климата:

статистические характеристики
(средние, дисперсии, экстремумы, тренды, параметры изменчивости др.)

Определение климата

Временные масштабы изменений климата: от нескольких лет до сотен тысяч лет

В долговременном плане Земля движется в сторону малого ледникового периода, который наступит примерно через 30 тыс. лет

На этом фоне современное глобальное потепление – не более чем кратковременная пульсация

«Страшилки»

Аналитический Доклад (2007): «Климат конфликта»

2,7 млрд. человек могут погибнуть на Земле в XXI веке в результате войн, спровоцированных глобальным потеплением. В войны будут втянуты более **40 стран**. В том числе: Алжир, Индия, Эфиопия, Перу, Бангладеш и др. Дестабилизация грозит еще более чем **50 странам**, включая Россию.

Причины: засухи, проблемы с питьевой водой, экстремальные явления, затопление прибрежных территорий и др.

Факторы формирования глобального климата

1. Внешние астрономические факторы:

светимость Солнца, положение и движение Земли в Солнечной системе, наклон её оси вращения к плоскости эклиптики и др.

2. Внешние геофизические факторы:

размеры и масса Земли, скорость её вращения вокруг оси, собственные гравитационное и магнитное поля, внутренние источники тепла (вулканизм и геотермальный поток тепла), тектонические движения земной коры и др.

3. Внутренние геофизические факторы:

масса и состав атмосферы и океана, **крупномасштабные процессы взаимодействия океана и атмосферы**, особенности подстилающей поверхности (распределение континентов и океанов, рельеф поверхности суши и др.), колебания массы ледниковых покровов, горных ледников и морских льдов и т.д.

4. Антропогенные факторы:

совокупность всех видов человеческой деятельности, в той или иной мере влияющих на изменения природной среды. Это, прежде всего, **сжигание ископаемого топлива и выбросы в атмосферу различных примесей в результате производственной деятельности**

Изменения климата в диапазоне времени от 1 года до нескольких десятилетий

Естественные климатообразующие факторы:

- процессы крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы
- природные изменения газового состава атмосферы за счет вулканизма и других процессов
- возможно космогеофизические силы (изменения скорости вращения Земли, «полюсный прилив», солнечная активность и др.)

Антропогенные климатообразующие факторы:

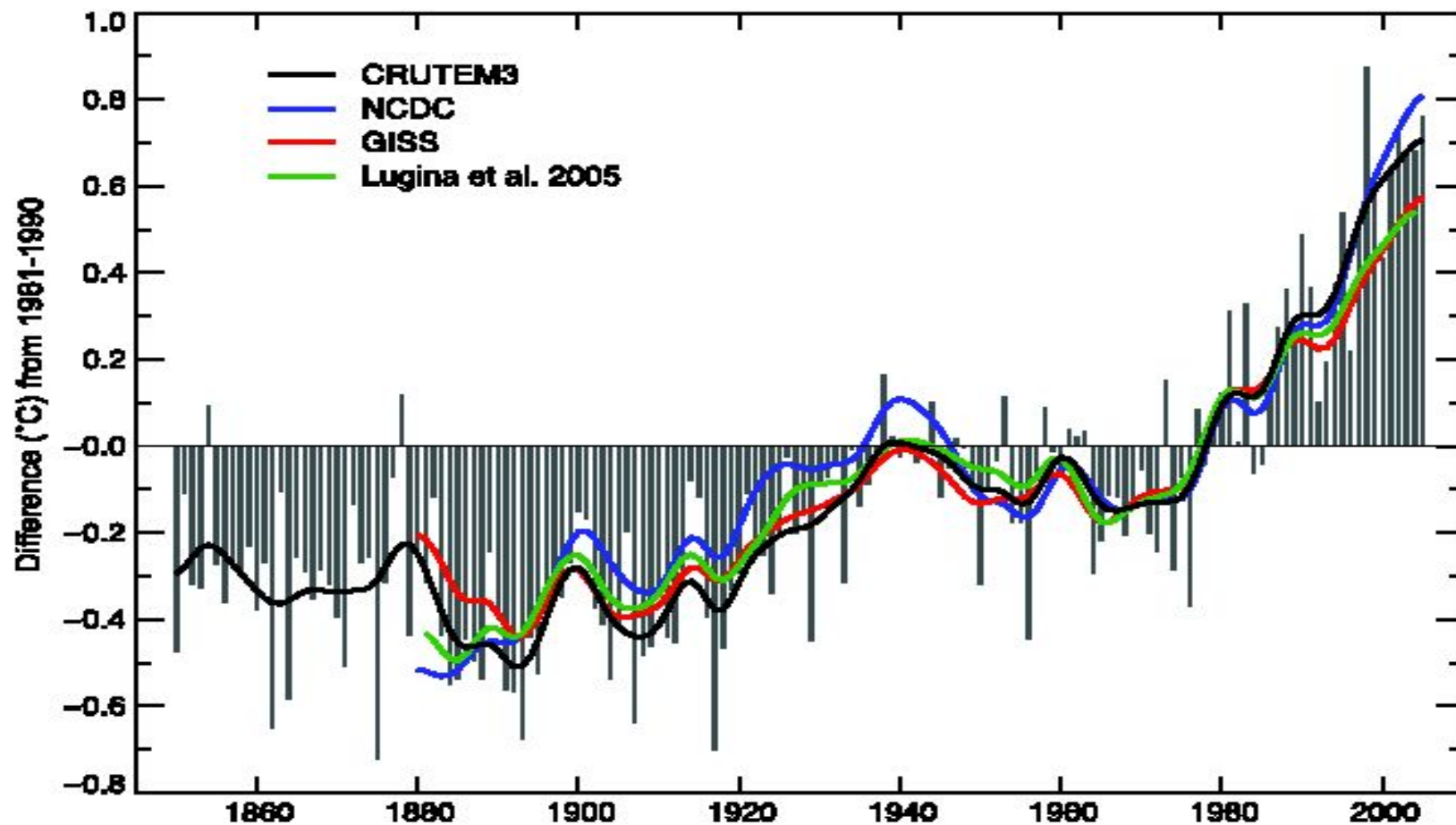
- рост концентрации парниковых газов за счет промышленного производства и сжигания ископаемого топлива
- орошение, крупномасштабная вырубка лесов, урбанизация и др.

МГЭИК (IPCC)

В 1988 г. ВМО учредила МГЭИК (Межправительственная группа экспертов по изменению климата или Intergovernmental Panel on Climate Change)

- ✓ 1990 г. Первый доклад МГЭИК
- ✓ 2001 г. Третий доклад МГЭИК
- ✓ 2007 г. Четвертый доклад МГЭИК
- ✓ 2007 г. Альберту Гору и МГЭИК присуждена Нобелевская премия
- ✓ За большой вклад по изучению изменений климата

Межгодовая изменчивость температуры воздуха на земном шаре по данным наблюдений за 1850-2005 гг.



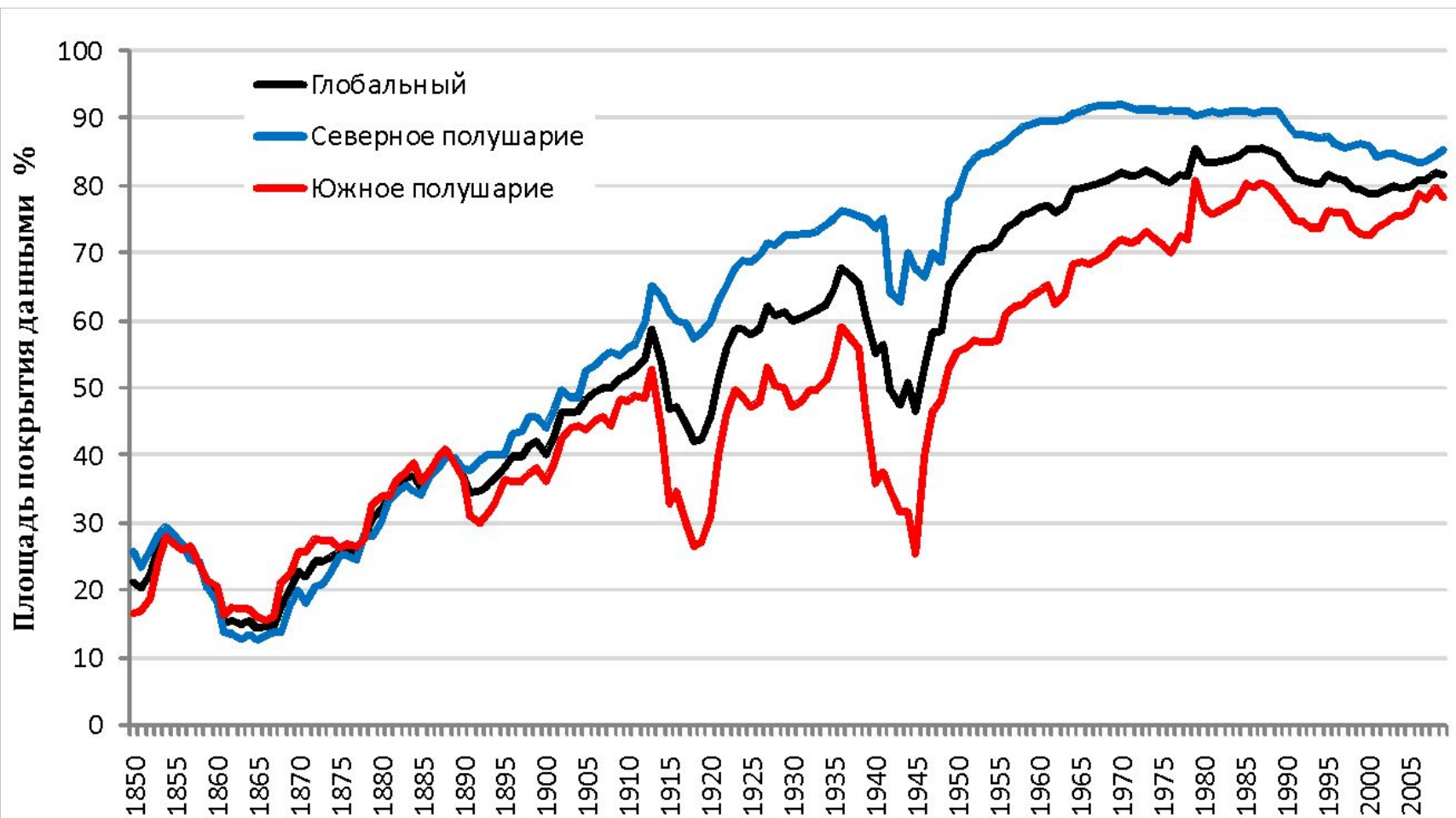
Что происходит с климатом Земли?

Оценки линейных трендов ПТВ за различные периоды времени

Период, годы	Северное полушарие		Южное полушарие		Земной шар	
	R ²	ΔT/10лет	R ²	ΔT/10лет	R ²	ΔT/10лет
1880-2005	0.62	0.072	0.58	0.055	0.64	0.064
1880-1940	0.64	0.109	0.32	0.046	0.59	0.077
1941-1975	0.30	-0.074	0.02	-0.014	0.21	-0.044
1976-2005	0.68	0.252	0.56	0.116	0.65	0.182

Что происходит с климатом Земли?

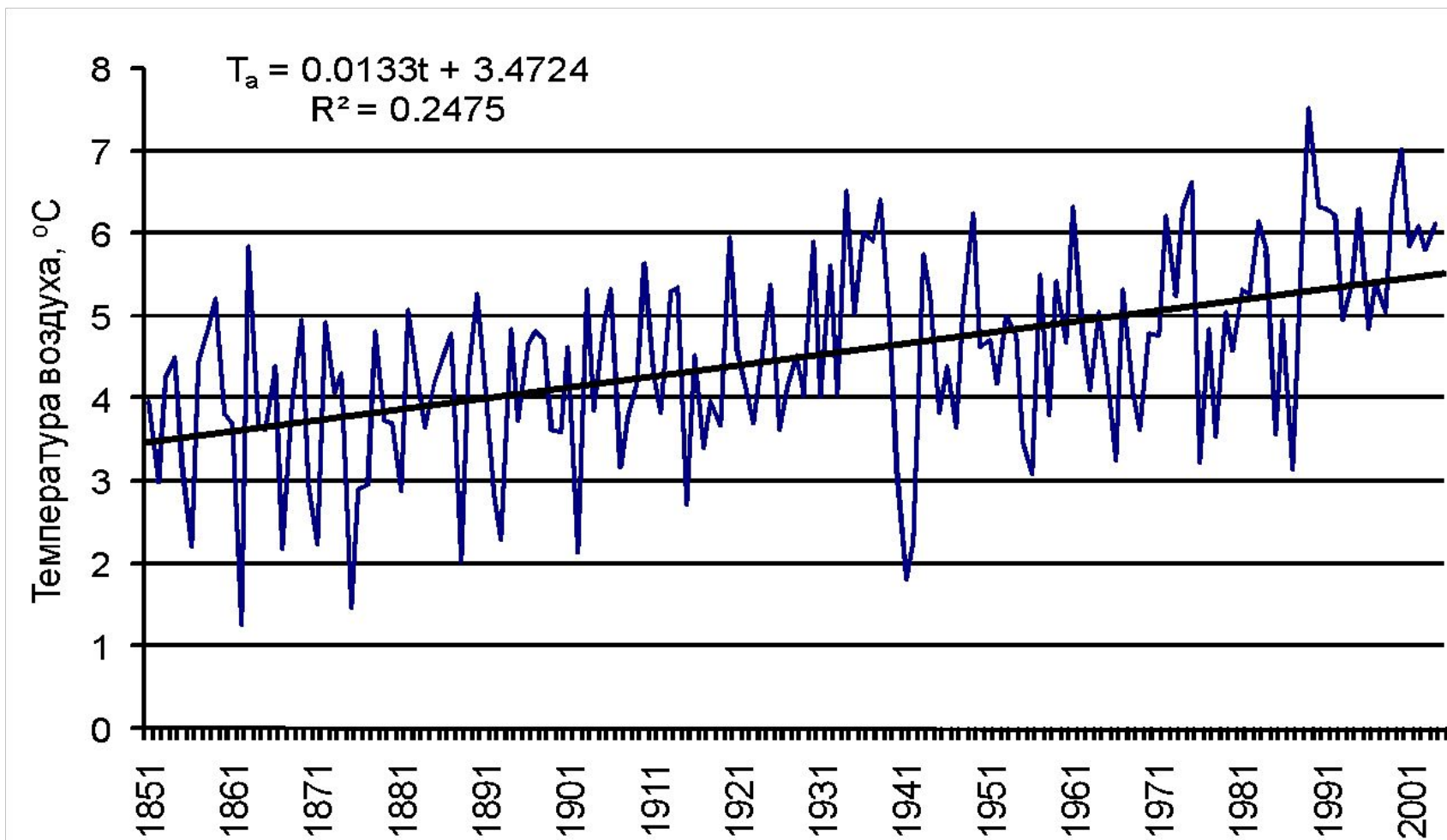
Степень покрытия данными о температуре воздуха в отдельных полушариях и на земном шаре в целом



Что происходит с климатом Земли?

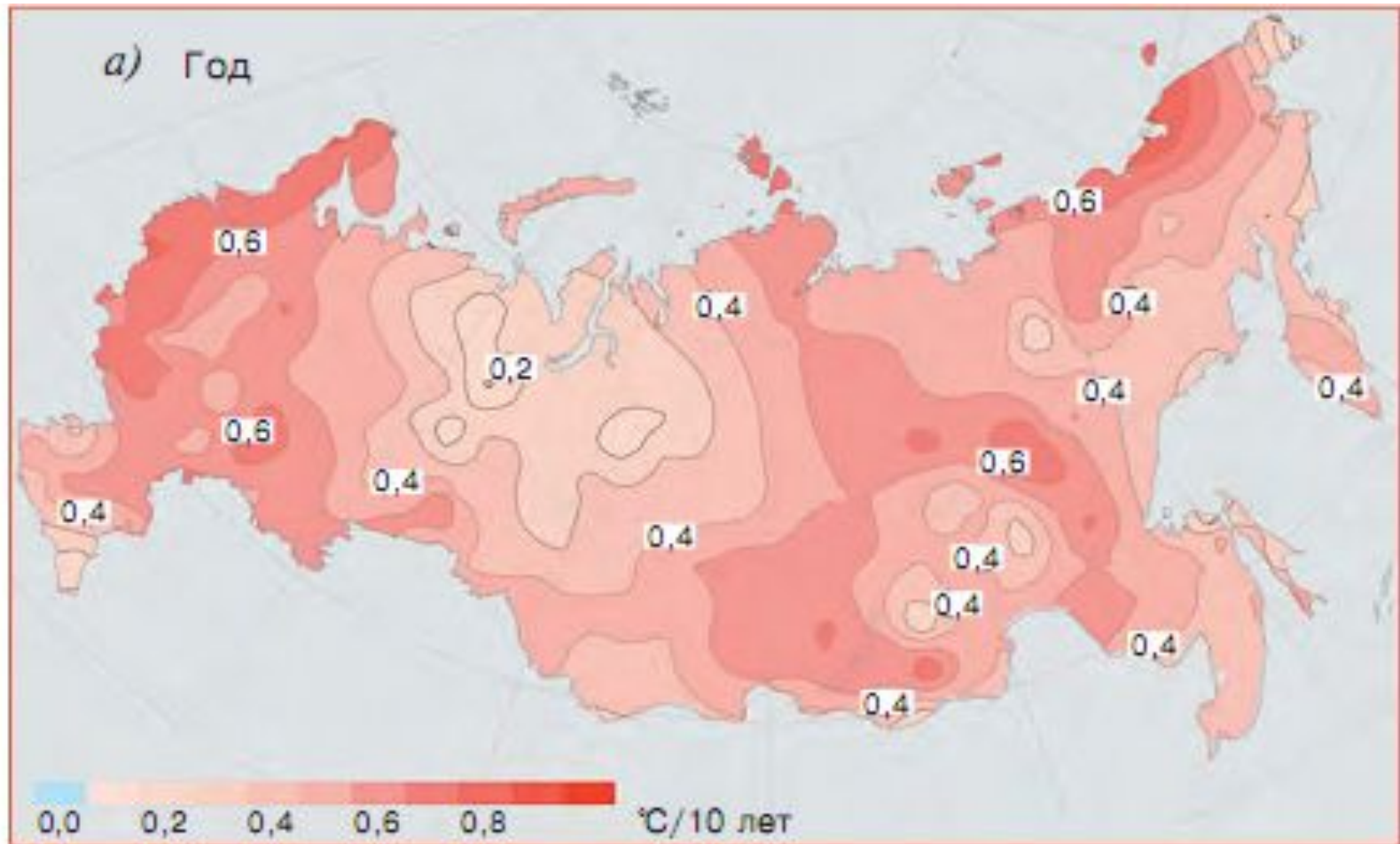
Межгодовая изменчивость и тренд температуры воздуха в Санкт-Петербурге с 1851 г.

(очаг тепла и как с ним бороться?)



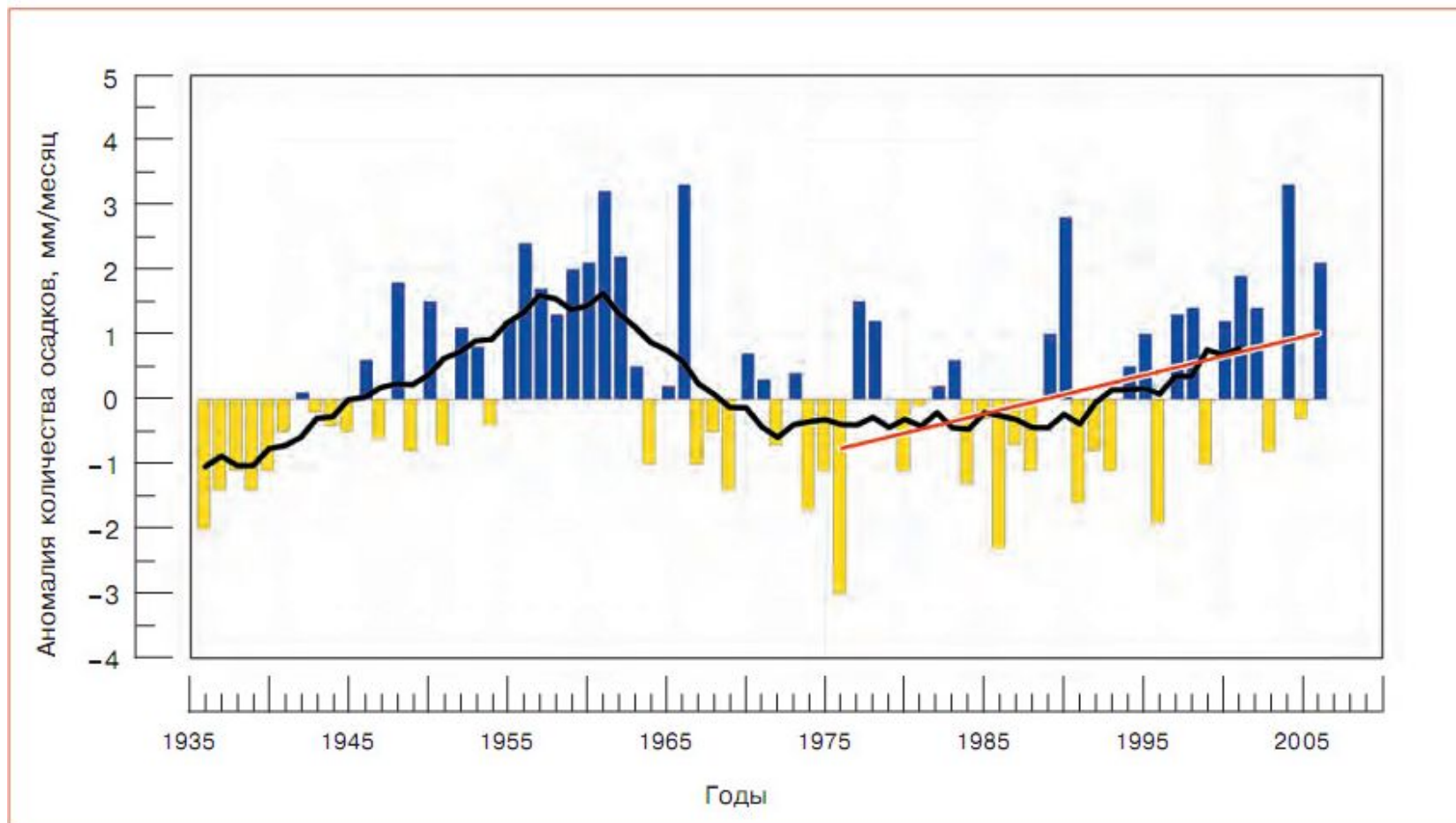
Что происходит с климатом Земли?

Средняя скорость изменения приземной температуры воздуха на территории России в среднем за год в период с 1976 по 2006 годы



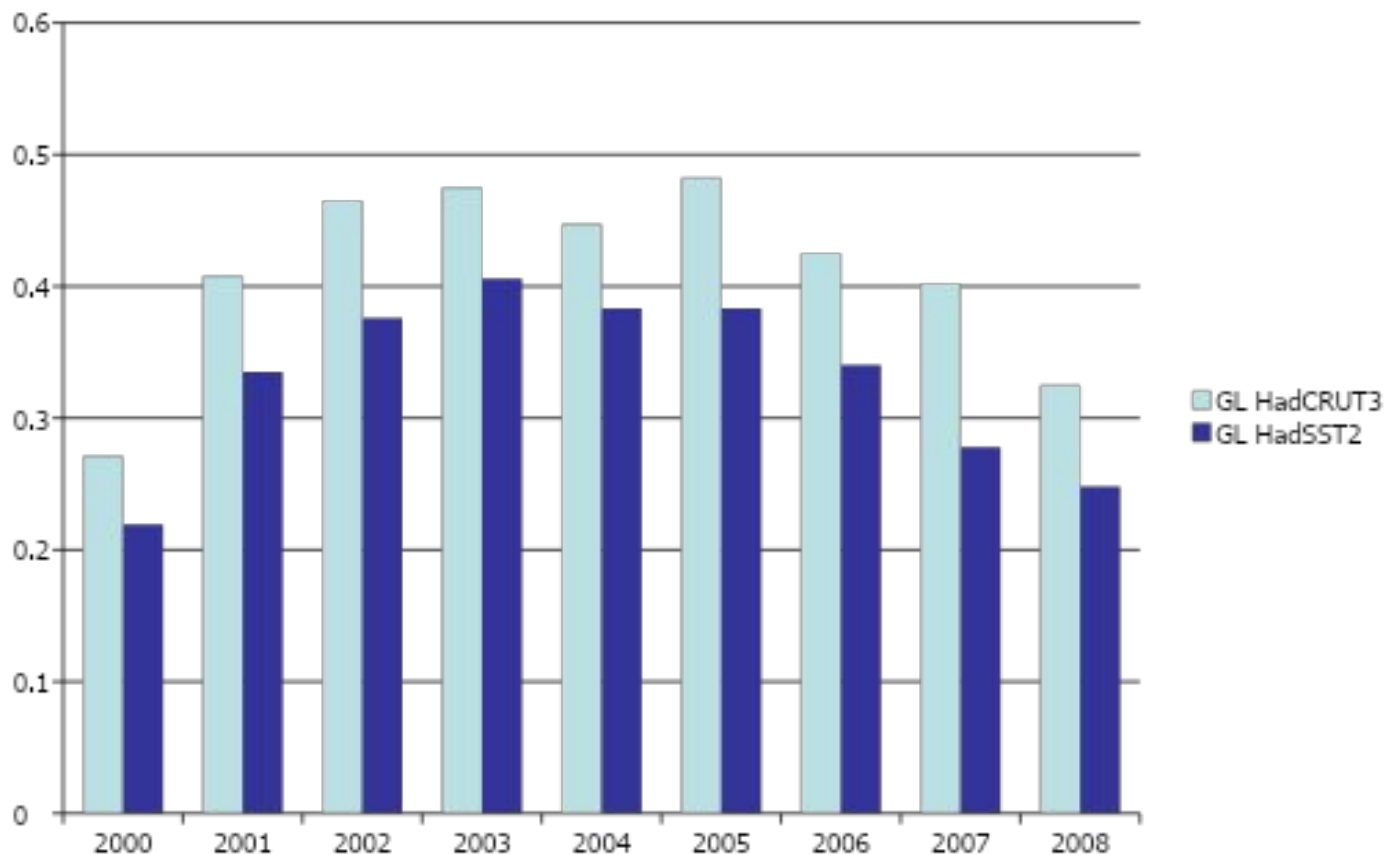
Что происходит с климатом Земли?

Средние за год аномалии количества осадков осредненные по территории России (базовый период 1961-1990 г.г.)



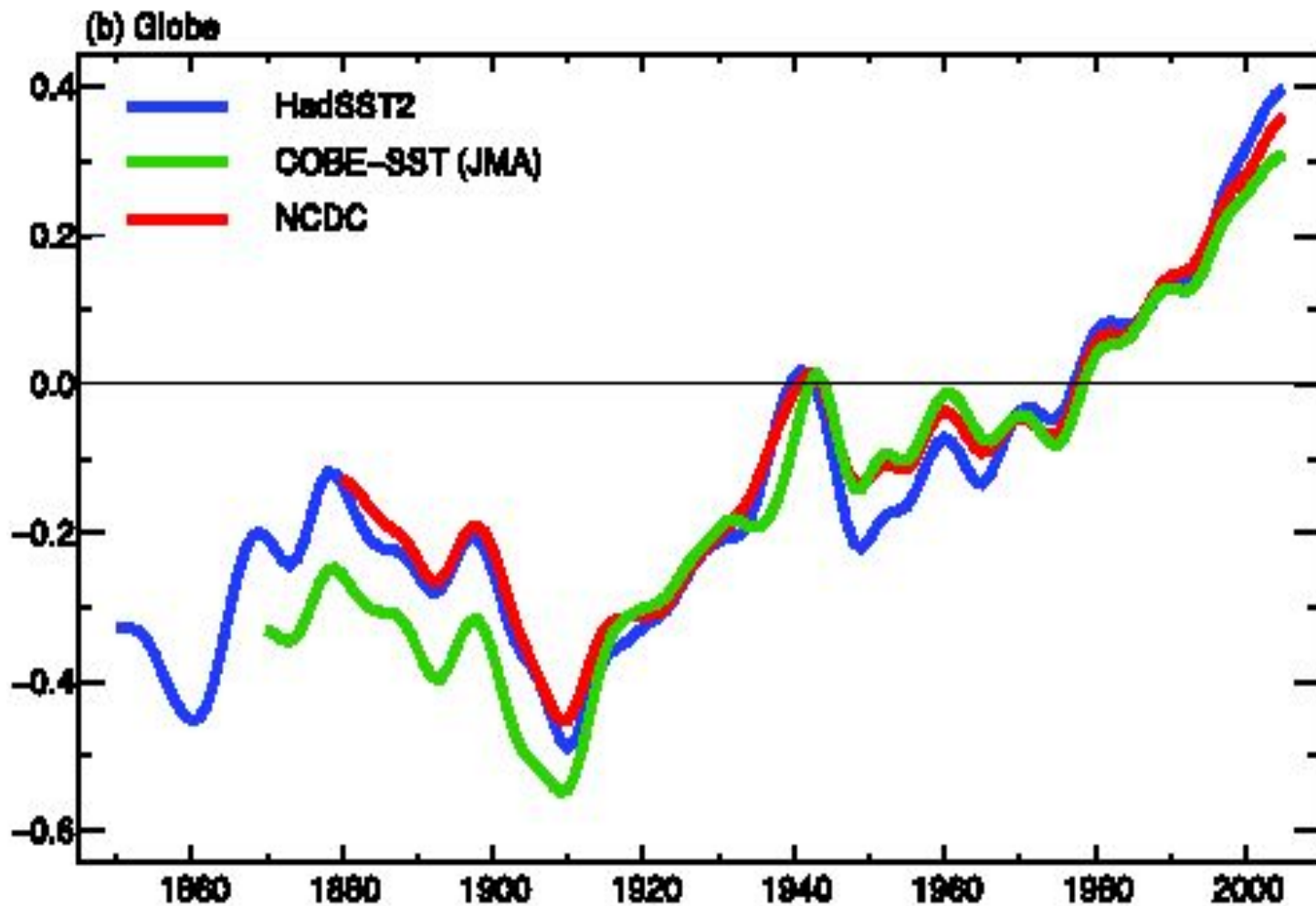
Что происходит с климатом Земли?

Межгодовая изменчивость температуры воздуха и температуры поверхности океанов на земном шаре в целом за 2000-2008 гг.



Что происходит с климатом Земли?

Межгодовая изменчивость температуры поверхности Мирового океана по данным разных авторов



Что происходит с климатом Земли?

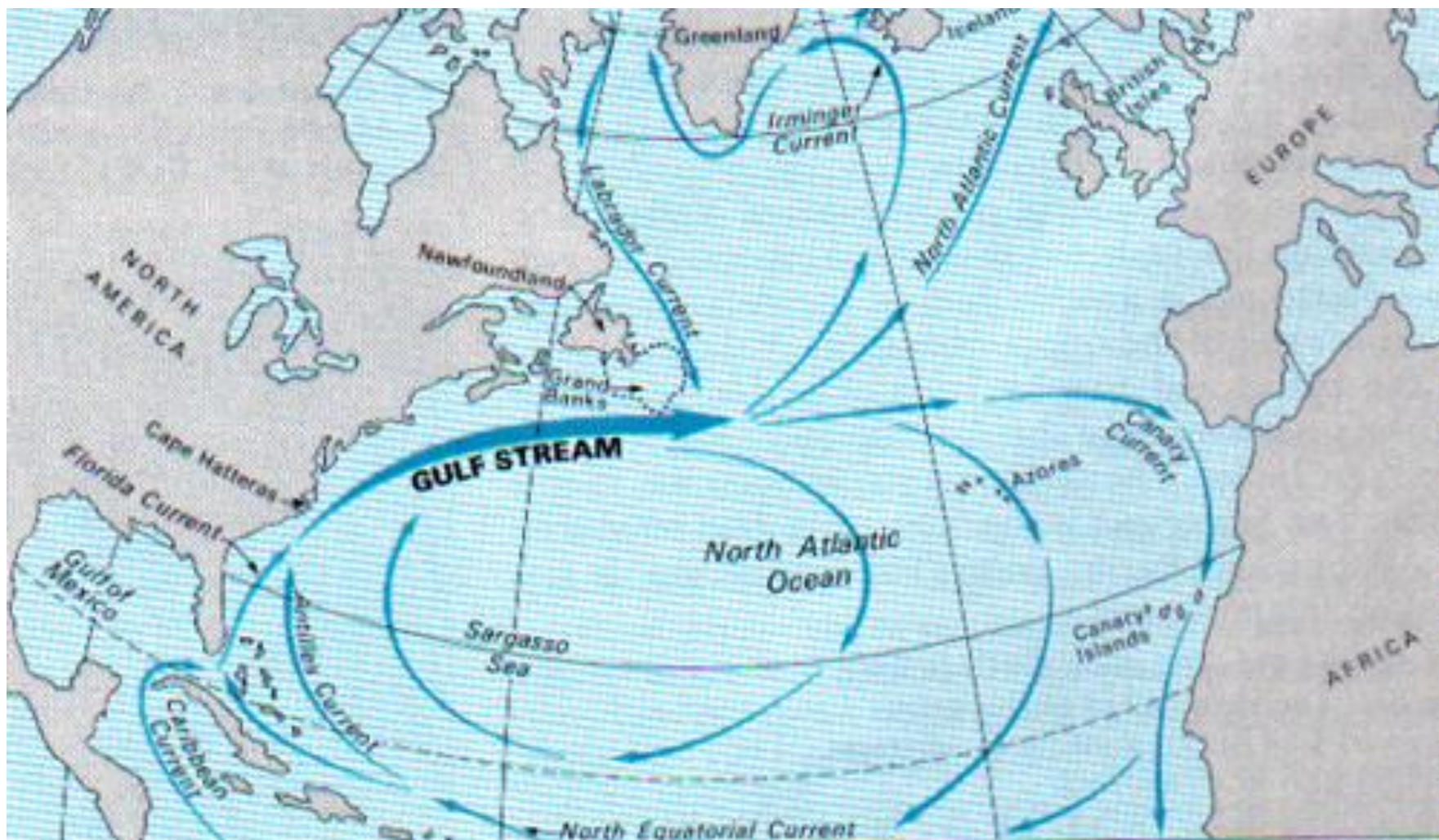
Исчез ли Гольфстрим?

Страшилки:

Польские ученые: за последние 5 лет скорость движения вод Гольфстрима упала в 2 раза и оно быстро остывает. Уже этой зимой в Европе следует ожидать лютых морозов

Английские ученые: глобальное потепление из-за усиления выноса пресных вод из Арктического бассейна приведет к усилению холодного Лабрадорского течения, которое изменит направление движения вод Гольфстрима в сторону Африки. В результате годовая температура воздуха в Англии уменьшится на несколько градусов

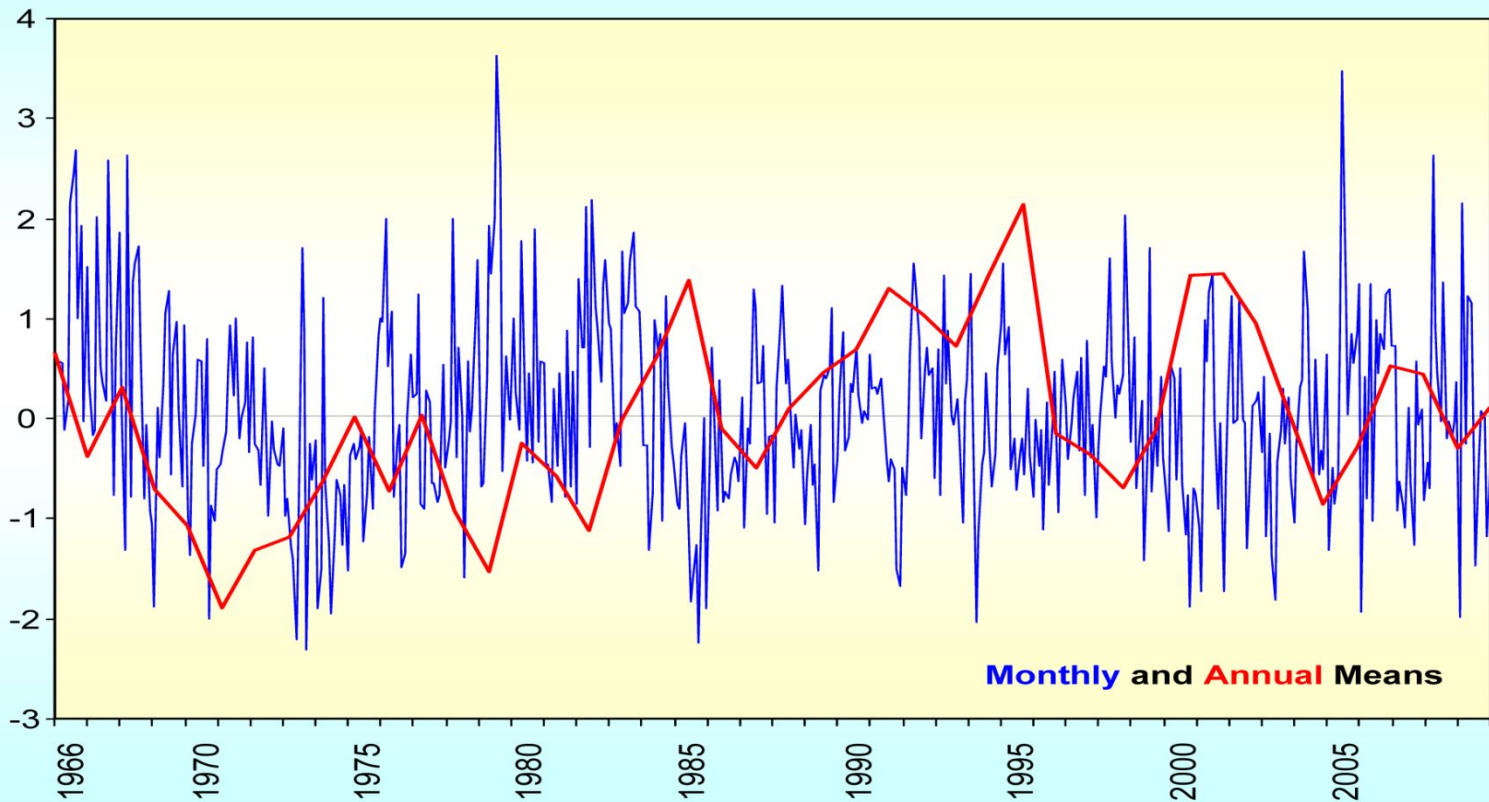
Схема основных течений в Северной Атлантике



Что происходит с климатом Земли?

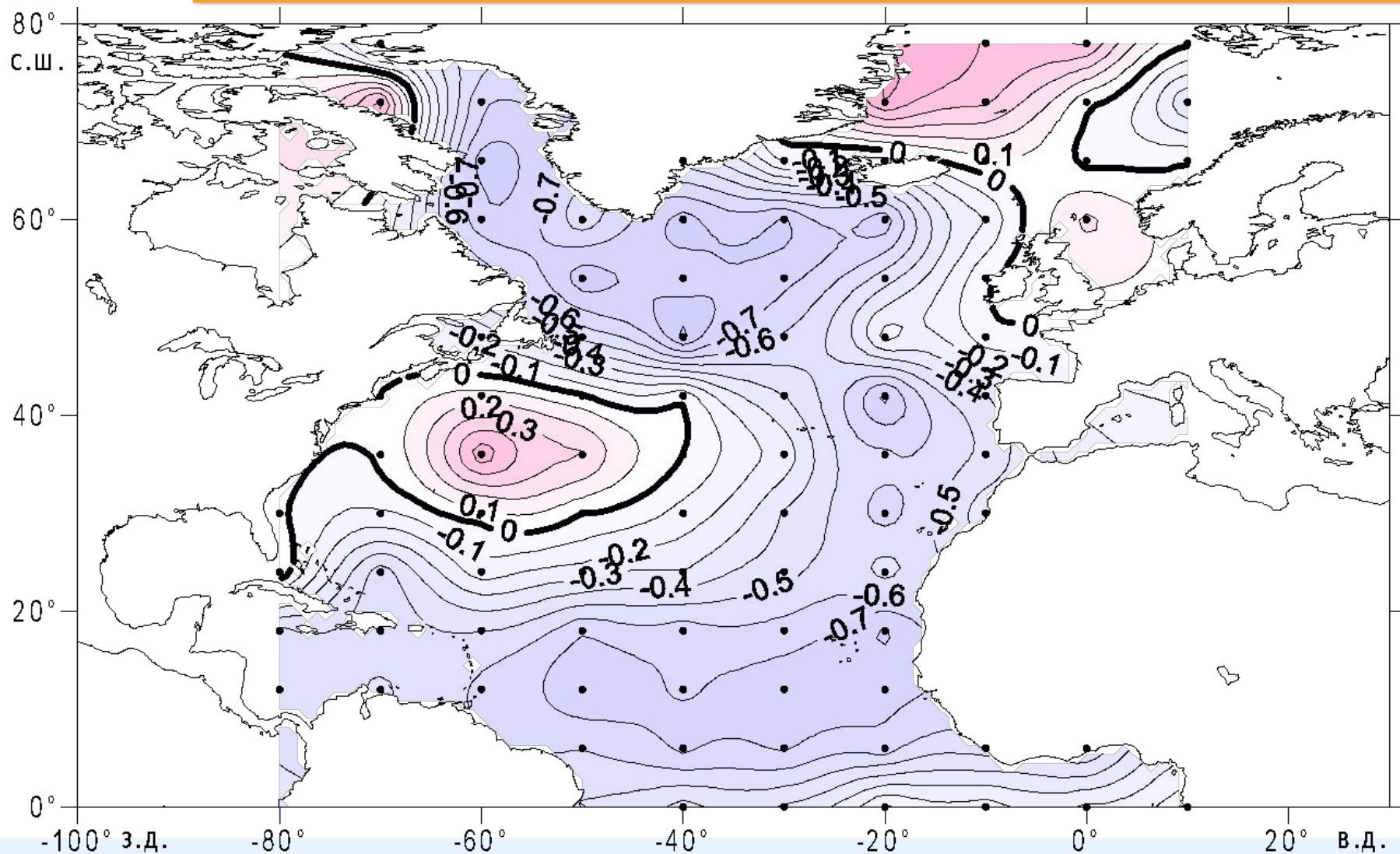
Индекс Гольфстрима, характеризующий его северную границу

**POSITION OF GULF STREAM NORTH WALL
1st Principal Component**



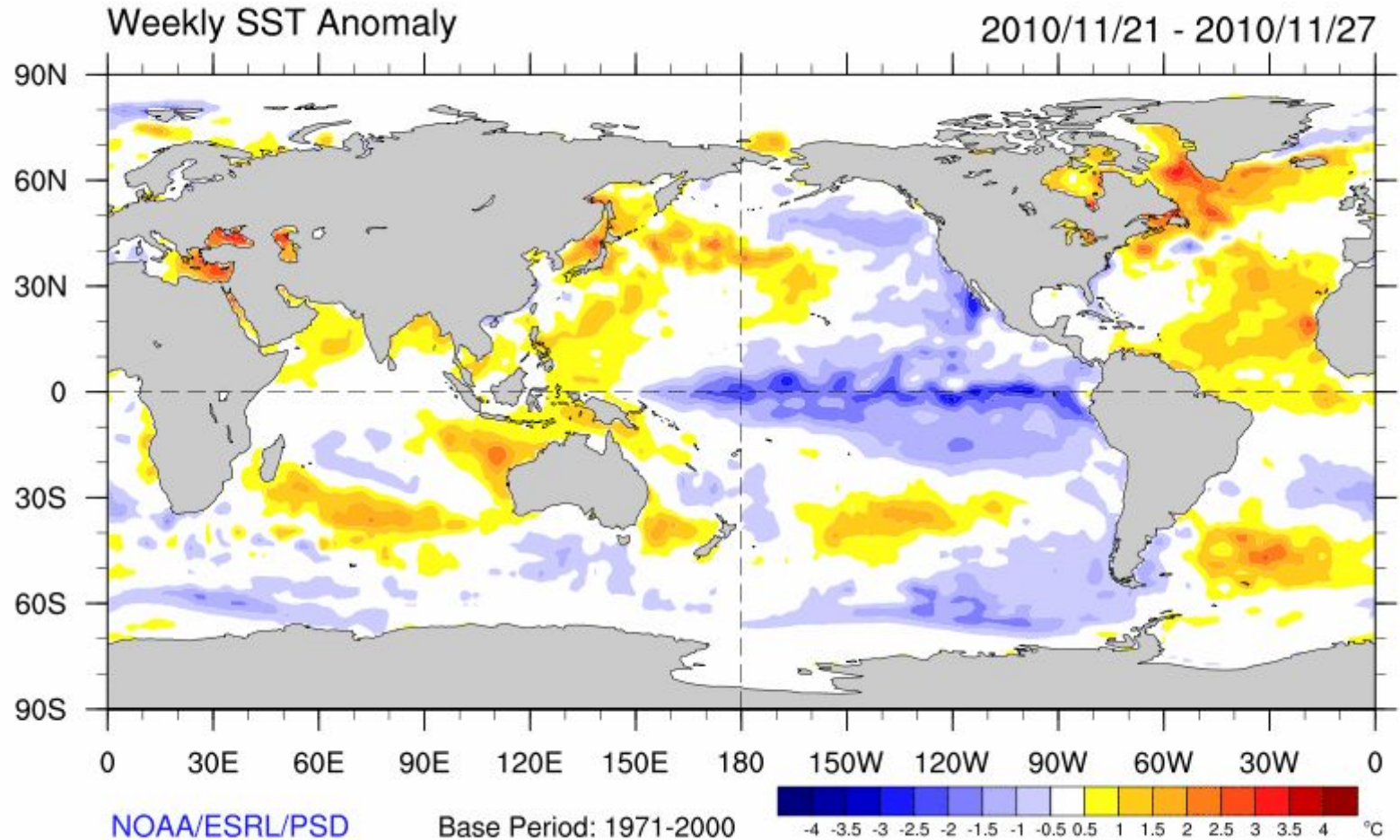
Что происходит с климатом Земли?

Анализ трендов ТПО в Северной Атлантике за 1899-1910 гг. (распределение линейного коэффициента детерминации R^2)



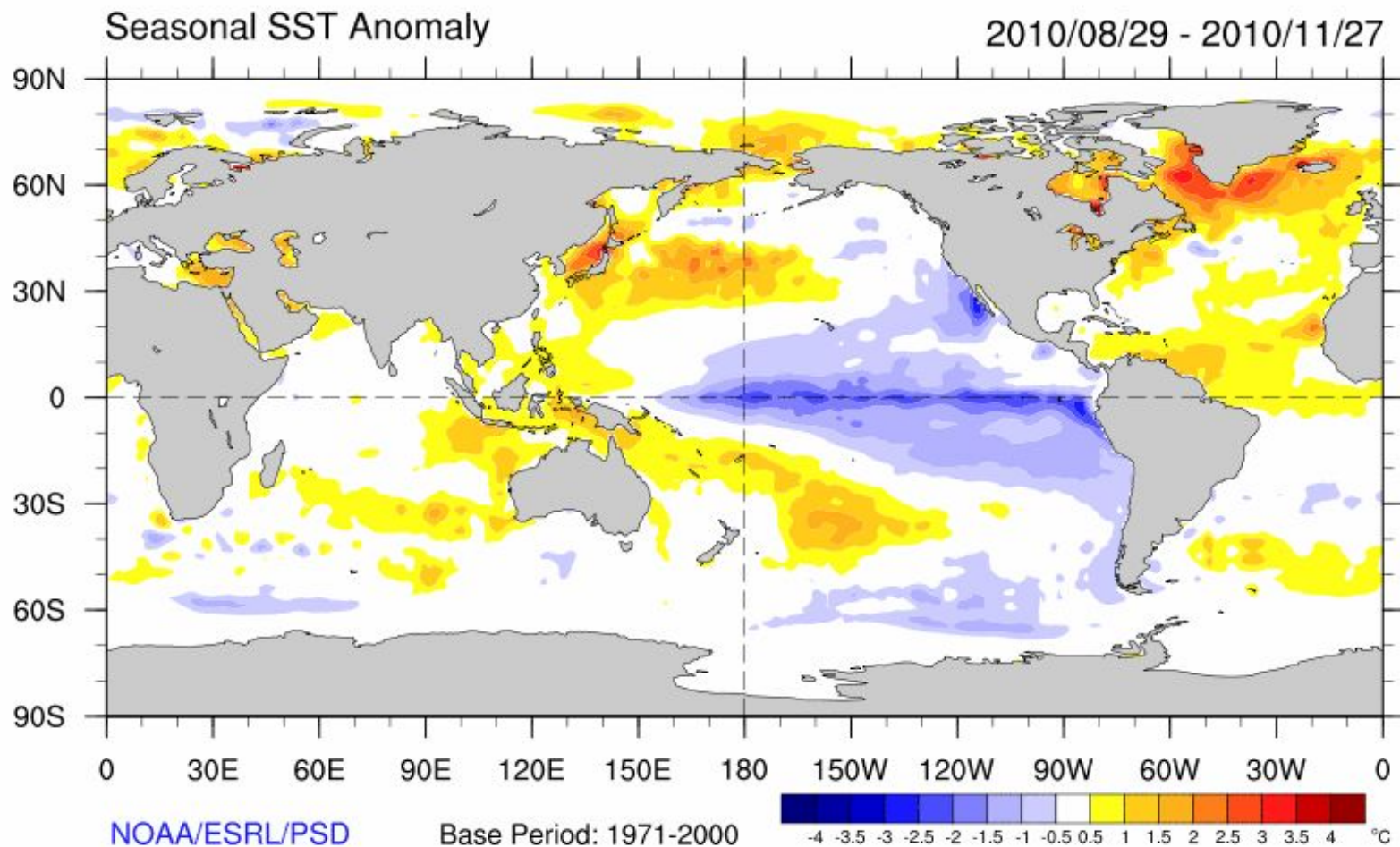
Что происходит с климатом Земли?

Аномалии ТПО за 21.11-27.11.10 в Мировом океане



Что происходит с климатом Земли?

Сезонные аномалии ТПО в Мировом океане



Что происходит с климатом Земли?

Что происходит с уровнем Мирового океана?

Наиболее крупные экономические последствия повышения уровня Мирового океана:

- дополнительные капитальные затраты на берегоохранные сооружения и перенос объектов инфраструктуры из возможной зоны подтопления
- подтопление крупнейших городов Земли: Лондона, Нью-Йорка, Токио, С-Петербурга и др.
- убытки, связанных с потерями прибрежных земель и переселение десятков млн. человек;
- дополнительные затраты на различные мероприятия в связи с более частыми наводнениями
- суммарный ущерб всех стран в мире при росте глобального уровня на 1 м может составить примерно 1 триллион долларов США

Изменения уровня Мирового океана как индикатор глобального климата

Изменения приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) формируют режим накопления (расходования) массы горных ледников, морских льдов, в значительной степени покровных ледников и, следовательно, определяют поступление пресных вод ледников в океан.

Кроме того, ПТВ влияет на изменчивость испарения и осадков над океаном, а через изменения температуры поверхности океана вызывают стерические колебания уровня. Поэтому именно ПТВ можно рассматривать как главный определяющий фактор колебаний УМО.

Изменения уровня Мирового океана состоят из:

$$\Delta h_{\text{М}} = \Delta h_{\text{Э}} + \Delta h_{\text{С}} + \Delta h_{\text{Д}}$$

$\Delta h_{\text{Э}}$ - эвстатические колебания

$\Delta h_{\text{С}}$ – стерические колебания

$\Delta h_{\text{Д}}$ – деформационные колебания

К эвстатическим колебаниям относятся компоненты водного баланса: осадки, испарение, приток речных вод, айсберговый сток и т.д.

Стерические колебания обусловлены изменениями плотности морской воды, прежде всего за счет ее температуры.

К глобальным деформационным колебаниям относятся: вертикальные движения земной коры и донное осадконакопление

При анализе межгодовых колебаний УМО величиной $\Delta h_{\text{Д}}$ можно пренебречь без существенной потери точности. Это означает, что **колебания УМО обусловлены изменениями климатических процессов.**

Изменения уровня Мирового океана определяются:

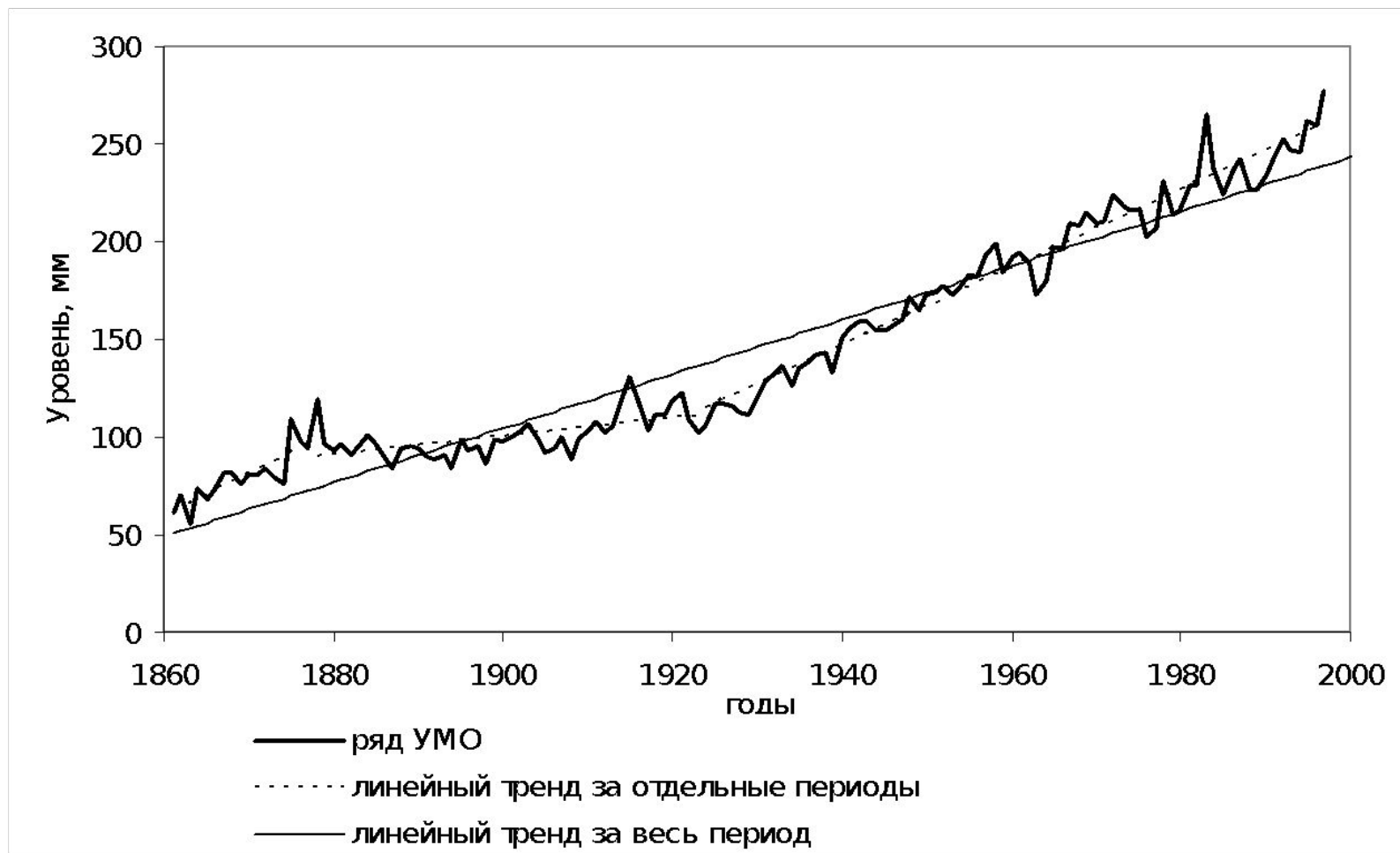
- **По футшточным наблюдениям:**

Система GLOSS (Global Sea Level Observing System) – Глобальная Система Наблюдений за Уровнем моря, насчитывающая в настоящее время более 1700 станций. База данных Permanent Service for Mean Sea Observing System Level (PMSSL) содержит среднемесячные данные по уровню.

- **По альтиметрическим данным с ИСЗ:**

ИСЗ Topex/Poseidon, выведенный на орбиту 10 августа 1992 г., обеспечивает почти глобальное покрытие МО от 66° с.ш. до 66° ю.ш. Погрешность определения высоты морской поверхности составляет 1.5-3.0 см, пространственное разрешение достигает 5-7 км с повтором измерений через 3-35 суток

Изменения уровня Мирового океана за последние 140 лет (по футшточным наблюдениям)



Что происходит с климатом Земли?

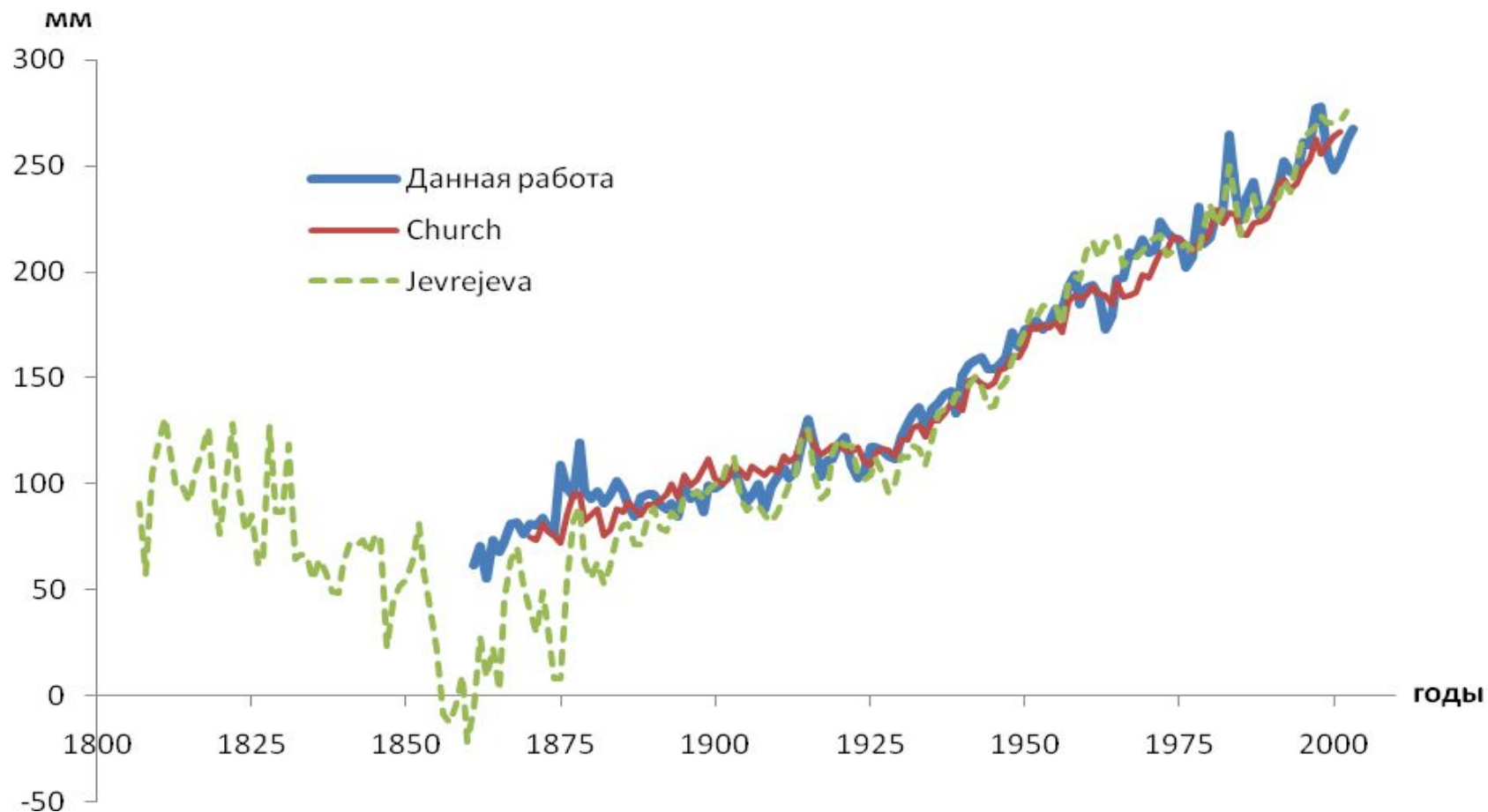
Изменения уровня Мирового океана за последние 150 лет (по футшточным наблюдениям)



Промежуток времени	Коэффициент детерминации, R^2	Величина тренда, T_r , мм/год	Среднее значение уровня, мм
1861-1877	0,69	2,00	79,1
1878-1923	0,34	0,45	100,4
1924-2005	0,96	1,95	194,7
1861-2005	0,93	1,42	151,3
1901-1999	0,96	1,79	170,2
1901-2005	0,97	1.81	175,4

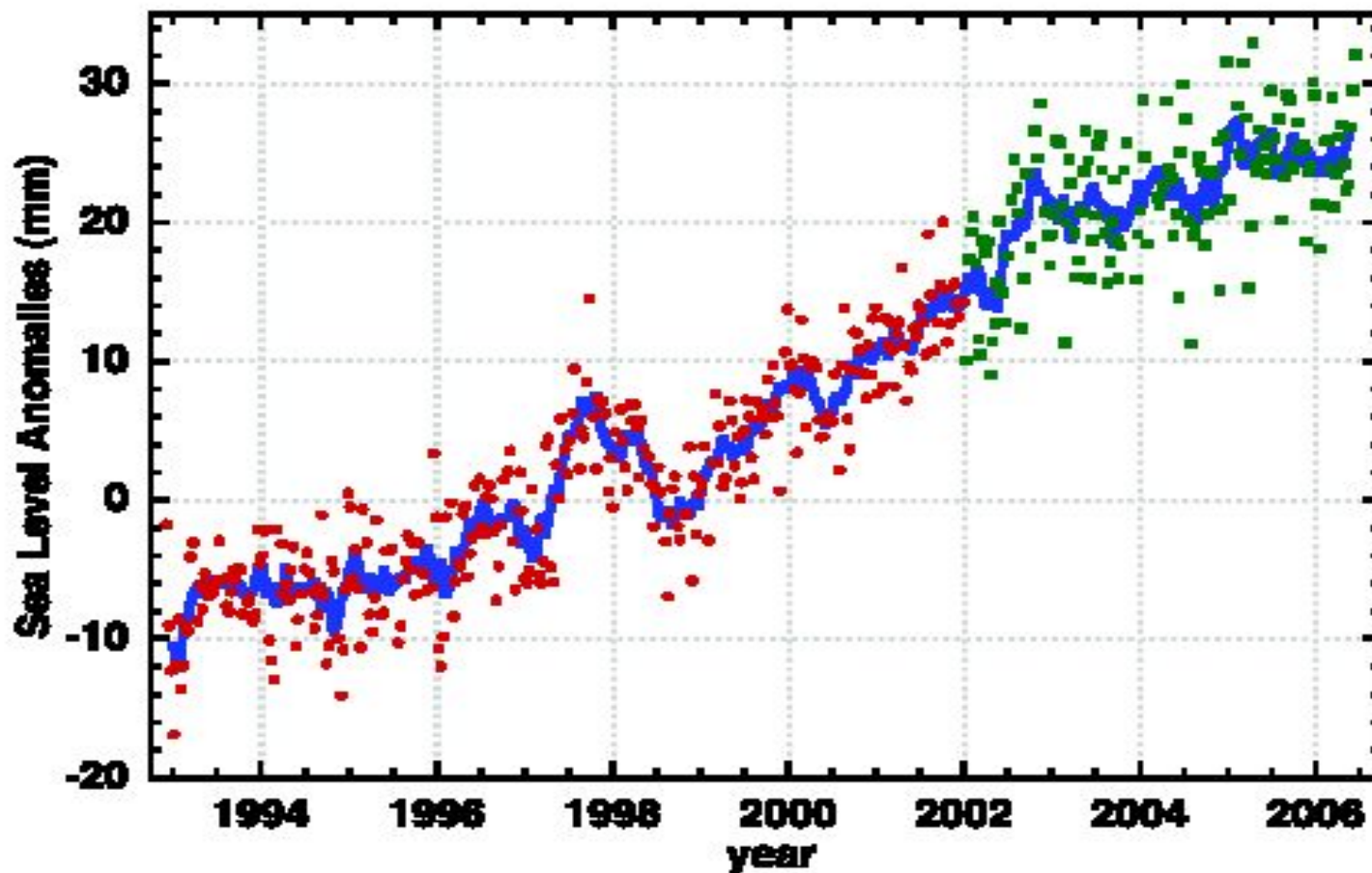
Что происходит с климатом Земли?

Межгодовой ход УМО по данным разных авторов



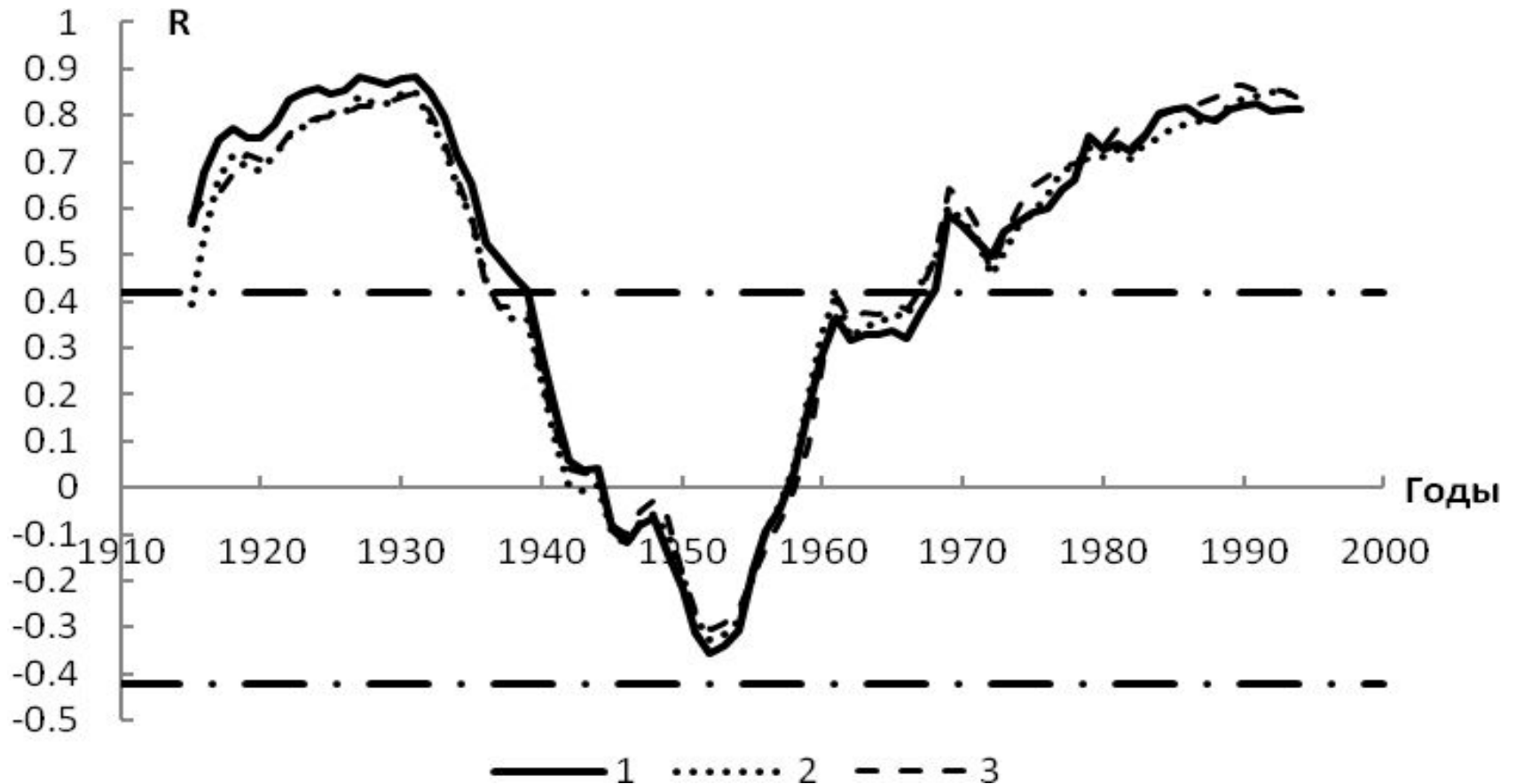
Что происходит с климатом Земли?

Изменения уровня Мирового океана по альтиметрическим данным (тренд 3,0 мм/год)



Что происходит с климатом Земли?

Временной ход скользящей по 30-летиям корреляции аномалий глобальной температуры воздуха и УМО по данным разных авторов (вертик. линии – доверительный интервал)



Что происходит с климатом Земли?

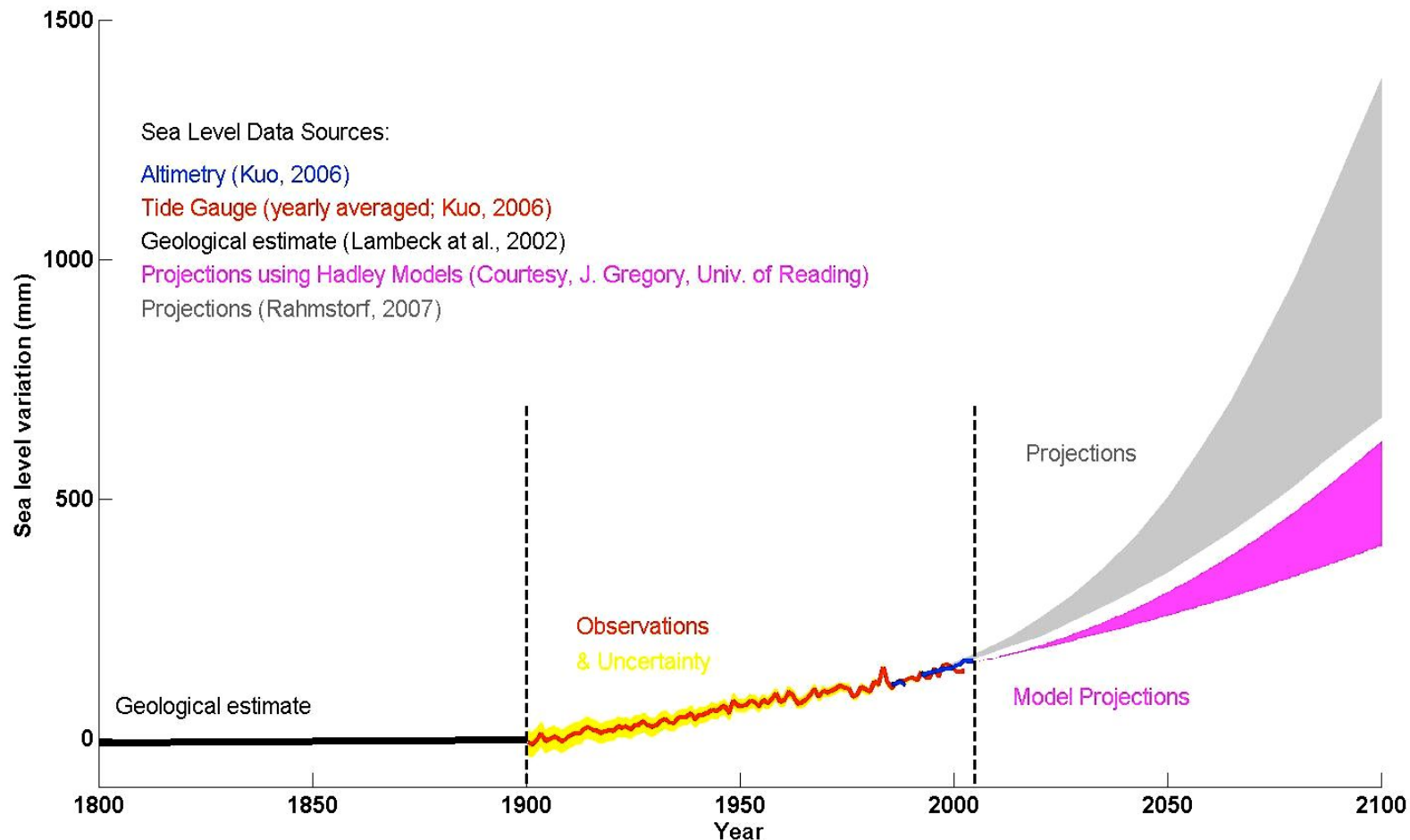
Оценки вклада различных факторов в колебания УМО по данным МГЭИК в мм/год

Источник роста УМО	Период времени	
	1961-2003 гг.	1993-2003 гг.
Термическое расширение вод океана	0.42 ± 0.12	1.60 ± 0.50
Горные ледники	0.50 ± 0.18	0.77 ± 0.22
Гренландский ледяной щит	0.05 ± 0.12	0.21 ± 0.07
Антарктический ледяной щит	0.14 ± 0.41	0.21 ± 0.35
Суммарный вклад факторов	1.1 ± 0.50	2.80 ± 0.70
Рост УМО по данным наблюдений	1.8 ± 0.50	3.10 ± 0.70
Дисбаланс (невязка)	0.70 ± 0.70 (1.2)	0.30 ± 1.00 (1.07)

Оценки вклада различных факторов в колебания УМО на основе уравнения водного баланса, в мм/год

Источник роста УМО	1980–2005 гг.	1993–2003 гг.
Стерические колебания уровня океана	0.30	1.60
Суммарный сток с Гренландии	0.14	0.22
Твердый сток с Антарктиды	0.24	0.44
Приток материковых вод	0.16	0.19
Вертикальный влагообмен (осадки минус испарение)	0.62	0.43
Суммарный вклад факторов	1.56	2.88
Рост УМО по данным наблюдений	1.79	3.10
Дисбаланс (невязка)	0.23	0.22

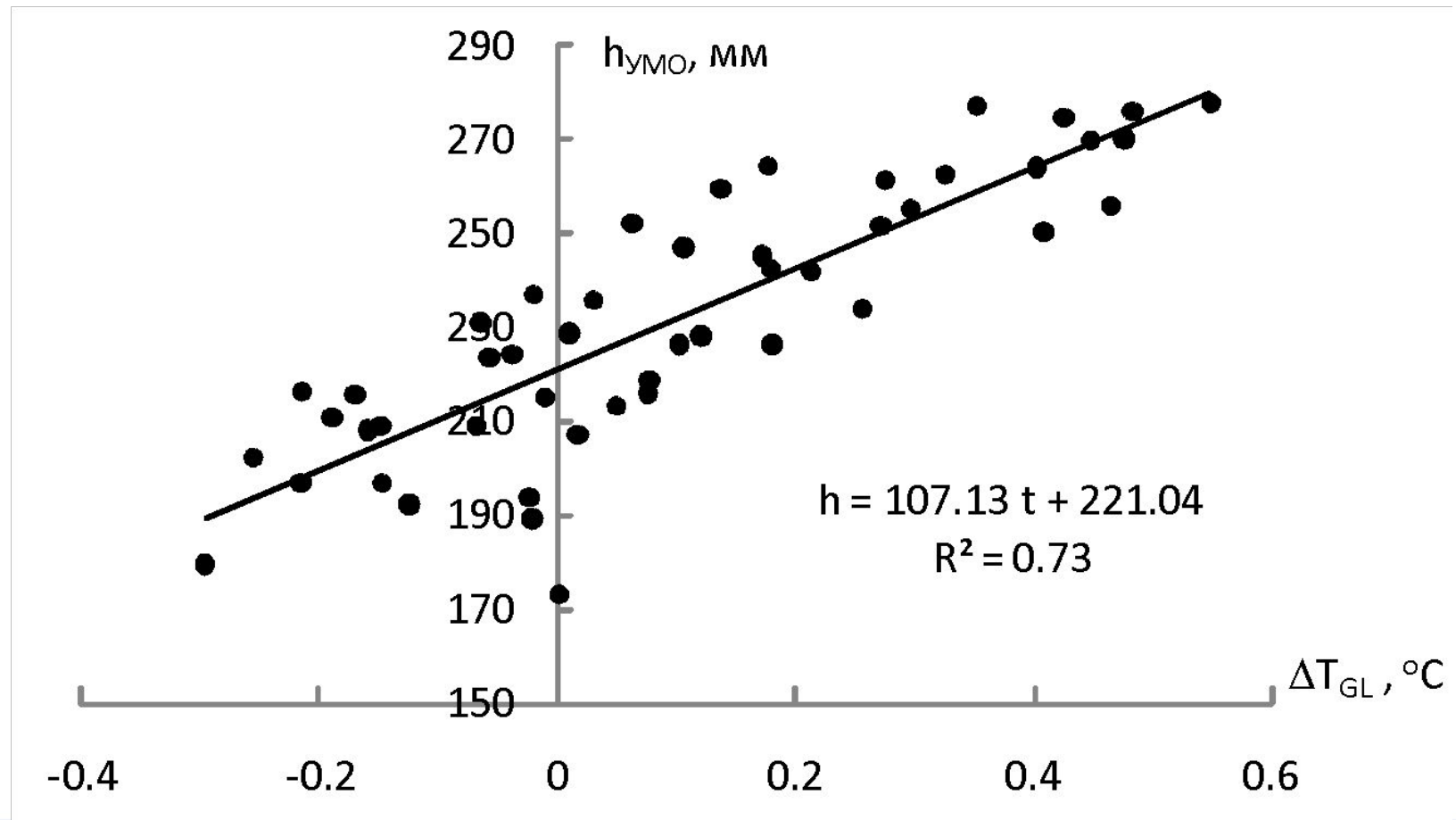
Прогнозирование уровня Мирового океана на конец столетия (страшилка)



Что происходит с климатом Земли?

Зависимость межгодовых колебаний уровня Мирового океана от аномалий приповерхностной температуры воздуха над земным шаром по данным за период 1960–2008 гг.

Статистическая модель прогноза глобального уровня на конец столетия



Что происходит с климатом Земли?

Оценки изменений глобальной приповерхностной температуры воздуха и уровня Мирового океана на конец XXI в. (2090–2099 гг.) по сравнению с концом XX в. (1980 – 1999 гг.)

Сценарий выбросов СДСВ	Ансамбль из 16 моделей общей циркуляции атмосферы и океана		Статистическая модель
	Вероятный диапазон роста температуры на конец 2090-2099 гг. °С	Вероятный диапазон роста УМО на конец 2090–2099 гг., м	Вероятный диапазон роста УМО на конец 2090–2099 гг., м
Сценарий <i>B1</i>	1,1 – 2,9	0,18 – 0,38	0,12 – 0,31
Сценарий <i>A1T</i>	1,4 – 3,8	0,30 – 0,45	0,15 – 0,41
Сценарий <i>B2</i>	1,4 – 3,8	0,20 – 0,43	0,15 – 0,41
Сценарий <i>A1B</i>	1,7 – 4,4	0,21 – 0,48	0,18 – 0,47
Сценарий <i>A2</i>	2,0 – 5,4	0,23 – 0,51	0,21 – 0,58
Сценарий <i>A1FI</i>	2,4 – 6,4	0,26 – 0,59	0,26 – 0,68

Физико-статистическая модель прогноза УМО с заблаговременностью два десятилетия

Физическая основа модели:

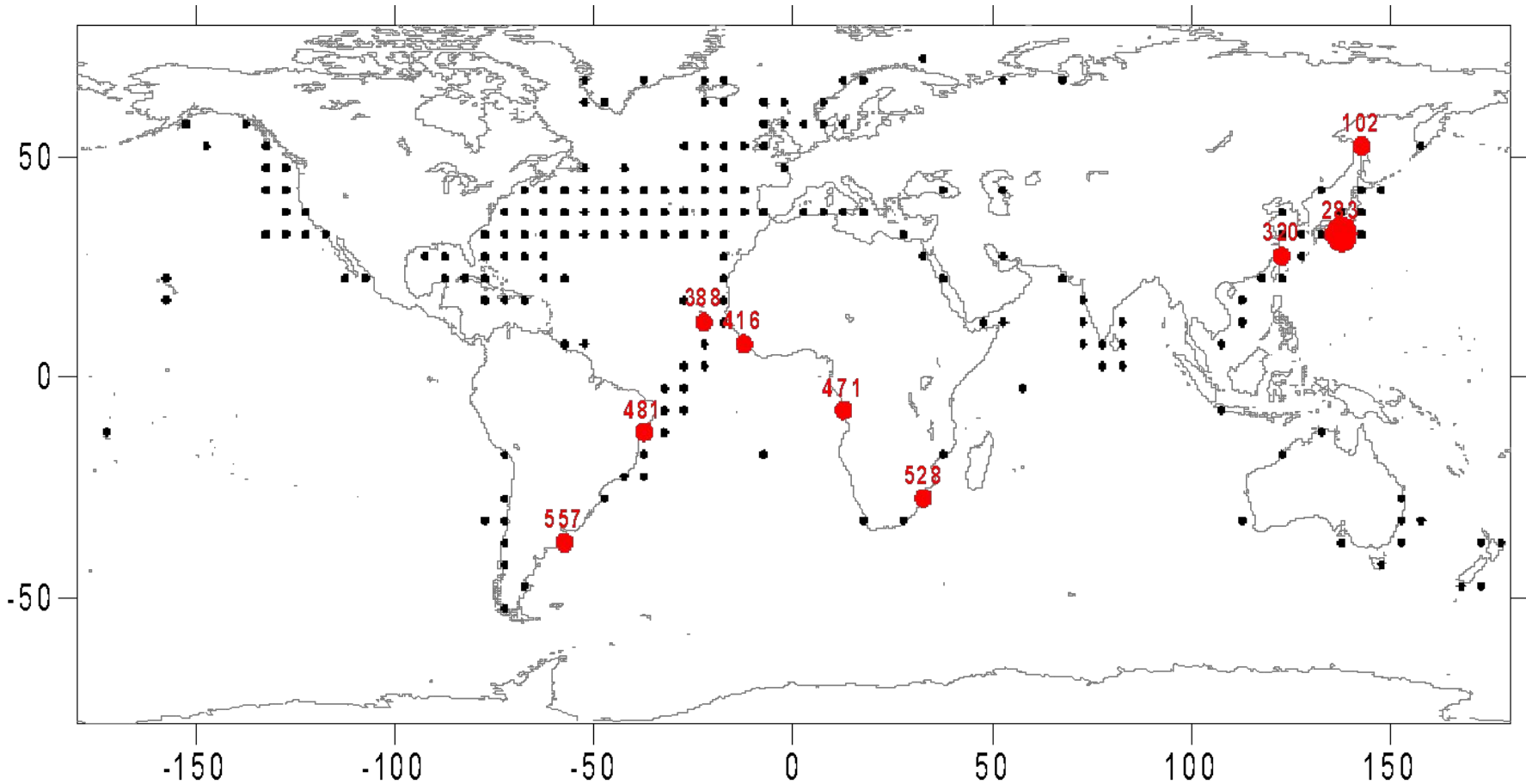
запаздывание колебаний уровня Мирового океана в зависимости от изменений температуры воздуха в 18-21 лет, которые приводят к росту температуры воды в толще вод океана и постепенному изменению массы ледниковых щитов Антарктиды и Гренландии после выпавших осадков.

Статистическая основа модели:

сдвиговая пошаговая регрессия методом включения переменных.

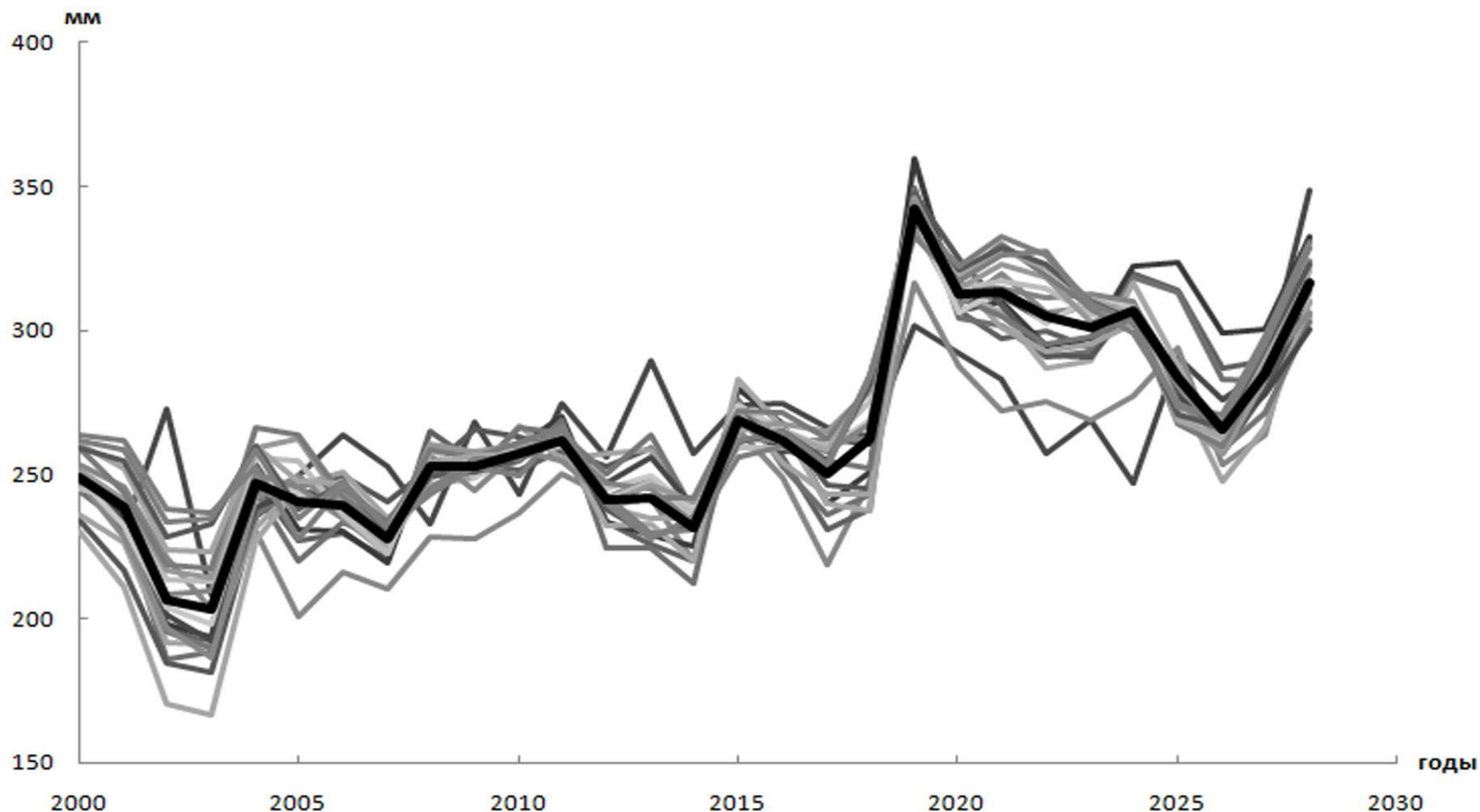
Распределение данных по ПТВ в физико-статистической модели прогноза УМО

красным цветом выделены точки в модели с заблаговременностью 21 год



Что происходит с климатом Земли?

Прогностические значения УМО за период 2000-2028 гг., рассчитанные для сдвига 21 год для различных шагов от $m=1$ до $m=19$. Прогностический тренд за 2000-2028 гг. равен 2.8 мм/год

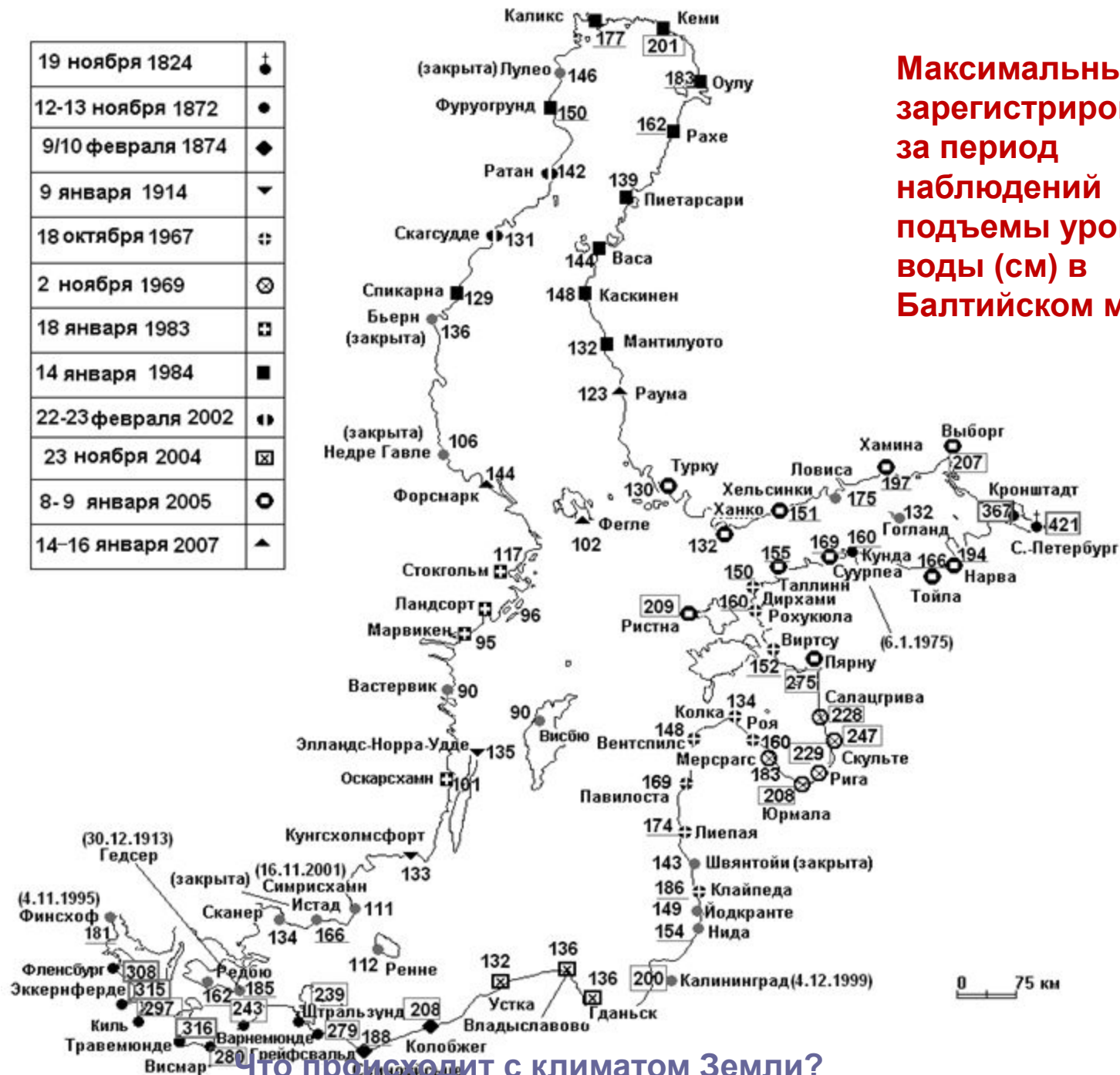


Что происходит с климатом Земли?

Формирование неевских наводнений и их прогнозирование

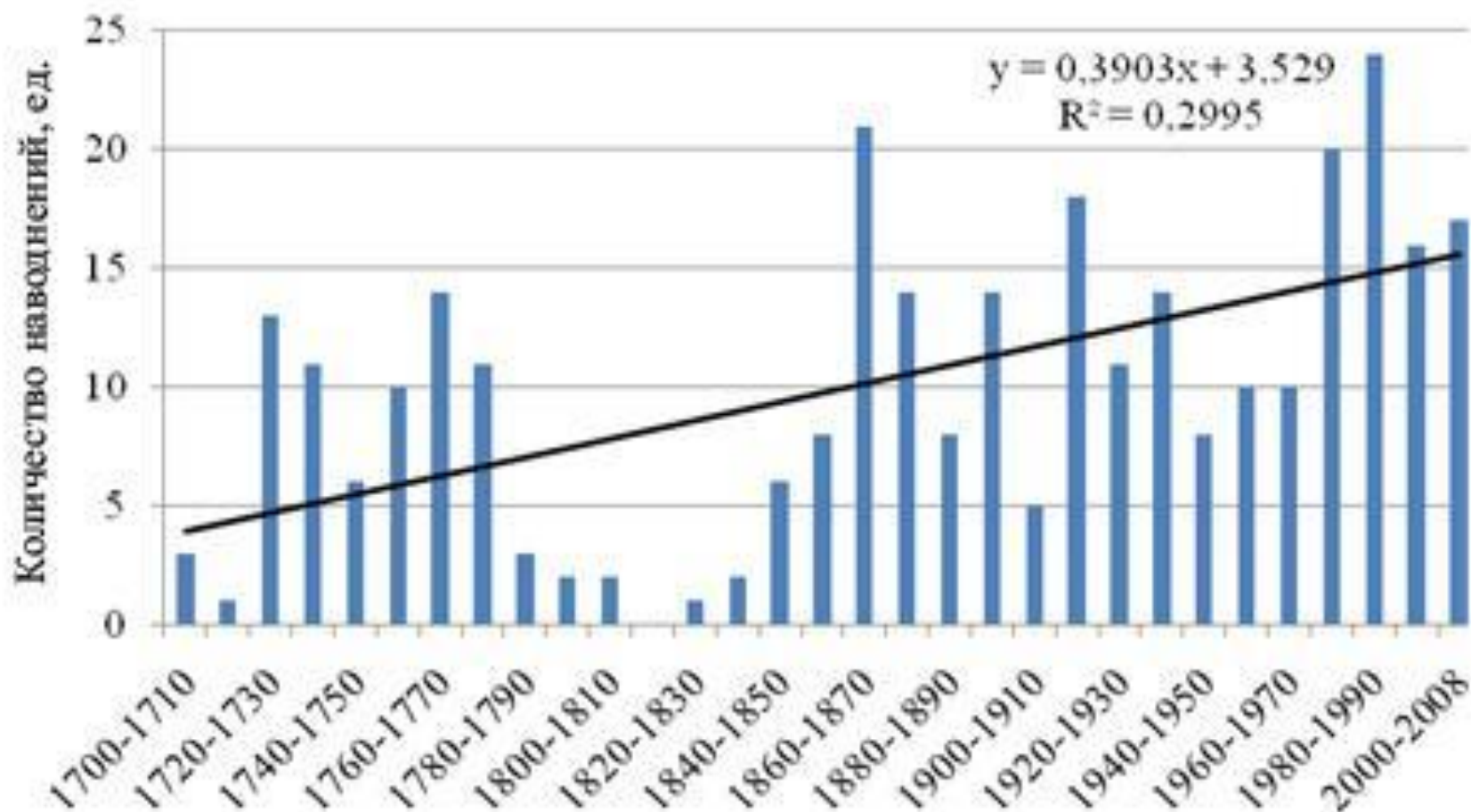
19 ноября 1824	†
12-13 ноября 1872	●
9/10 февраля 1874	◆
9 января 1914	▼
18 октября 1967	⊘
2 ноября 1969	⊗
18 января 1983	⊞
14 января 1984	■
22-23 февраля 2002	◀▶
23 ноября 2004	⊠
8-9 января 2005	⊙
14-16 января 2007	▲

Максимальные зарегистрированные за период наблюдений подъемы уровня воды (см) в Балтийском море



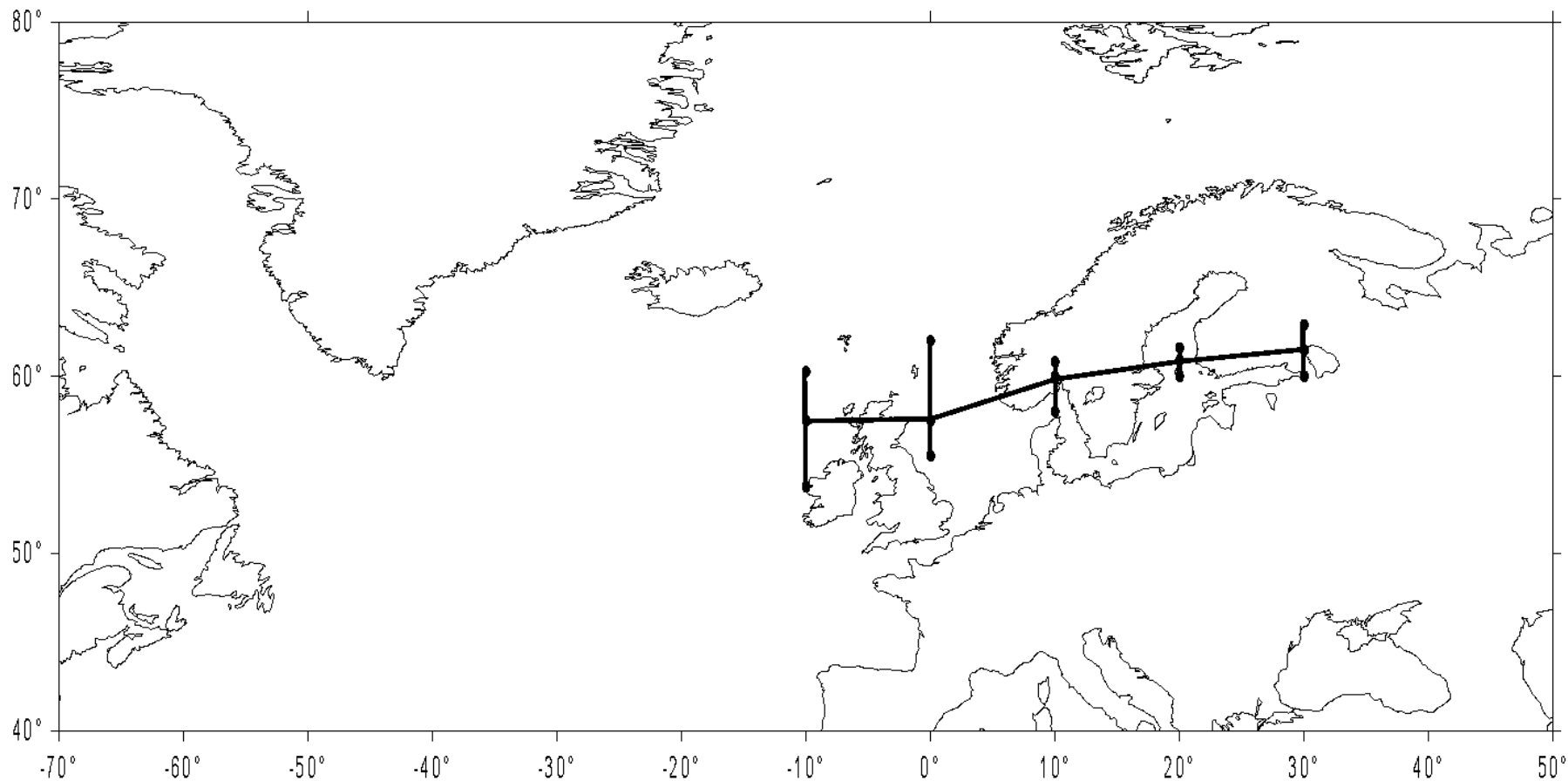
Что происходит с климатом Земли?

Суммарное по десятилетиям число невских наводнений и их линейный тренд



Что происходит с климатом Земли?

Средняя траектория циклонов, вызывающих сильные невисские наводнения



Что происходит с климатом Земли?

Обеспеченность максимальных годовых уровней воды в С.-Петербурге и Кронштадте.

Повторяемость максимальных уровней:

С.Петербург:

Один раз в 100 лет – 350 см

Один раз в 1000 лет – 470 см

Один раз в 10000 лет – 540 см

Кронштадт (КЗС):

Один раз в 100 лет – 275 см

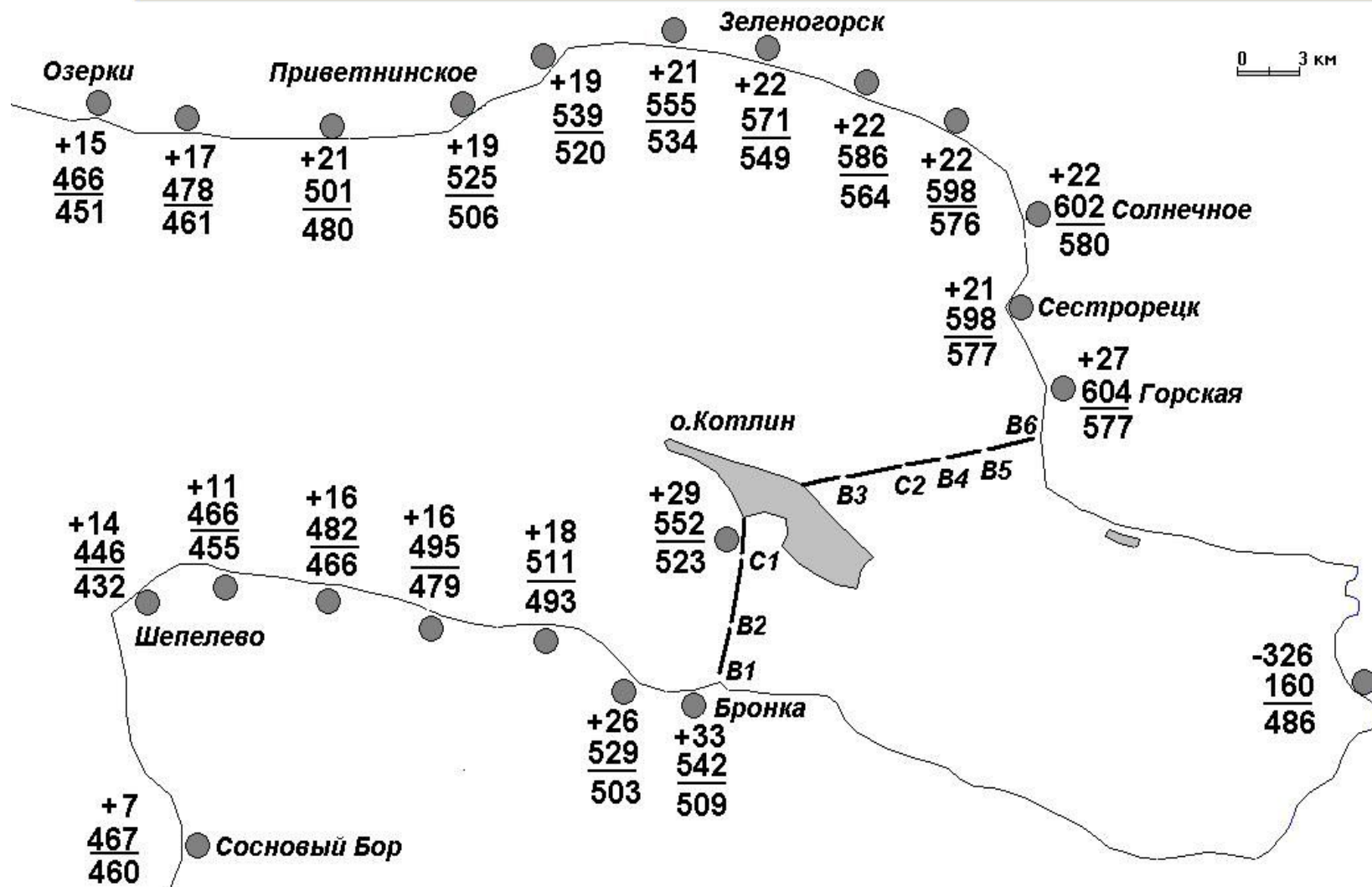
Один раз в 1000 лет – 405 см

Один раз в 10000 лет – 465 см

Было получено, что наличие закрытого КЗС приводит к увеличению уровня в створе КЗС со стороны Финского залива на 10%

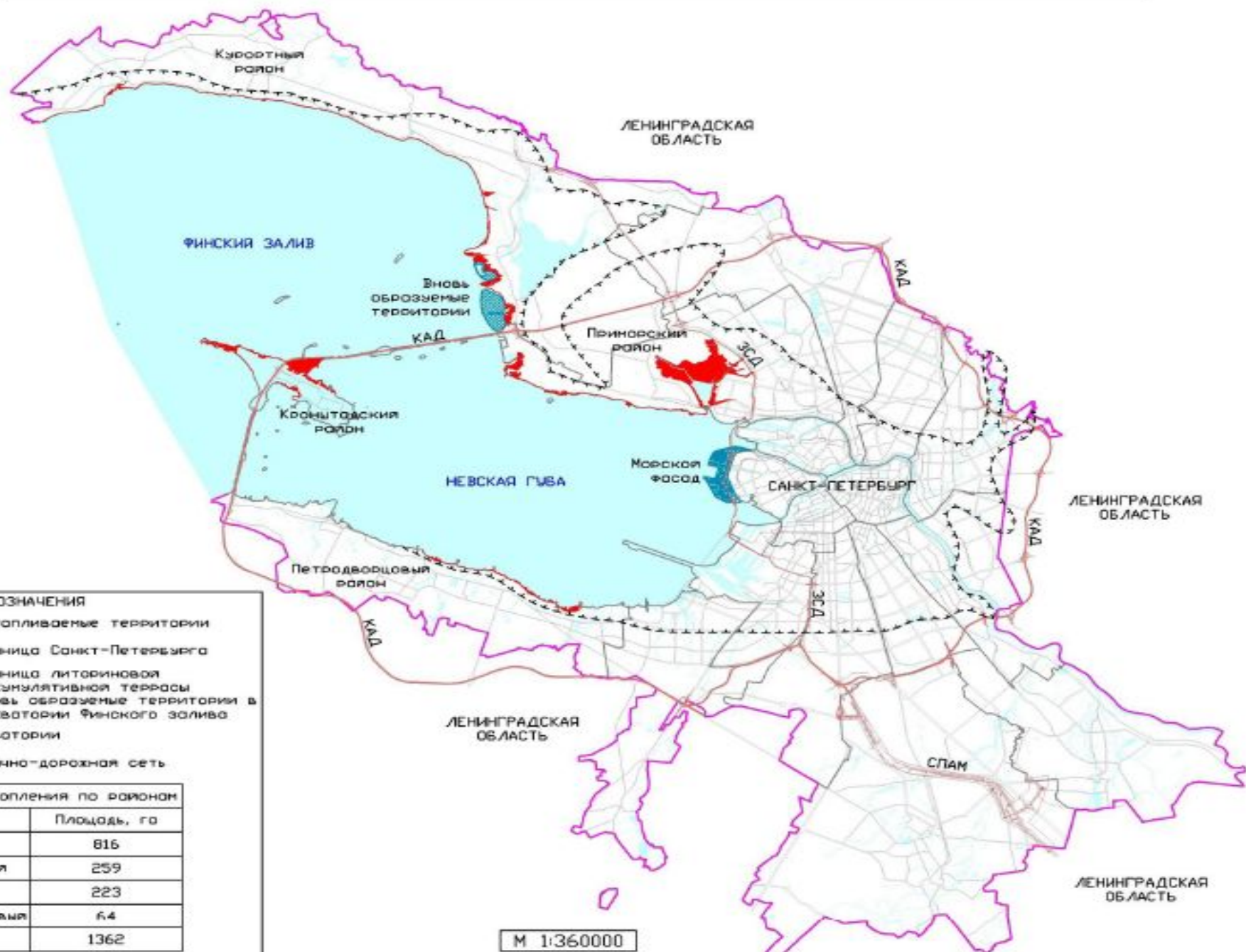
Из книги Р.А. Нежиховского «Вопросы гидрологии реки Невы и Невской губы»

Распределение максимумов уровня (см) вдоль побережья Финского залива при экстремальном катастрофическом наводнении при открытом КЗС (знаменатель) и при закрытом (числитель).



Что происходит с климатом Земли?

СХЕМА ЗАТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА ПРИ ВОЗМОЖНОМ ПОДЪЕМЕ СРЕДНЕГО МНОГОЛЕТНЕГО УРОВНЯ ФИНСКОГО ЗАЛИВА НА 1 МЕТР К КОНЦУ XXI ВЕКА

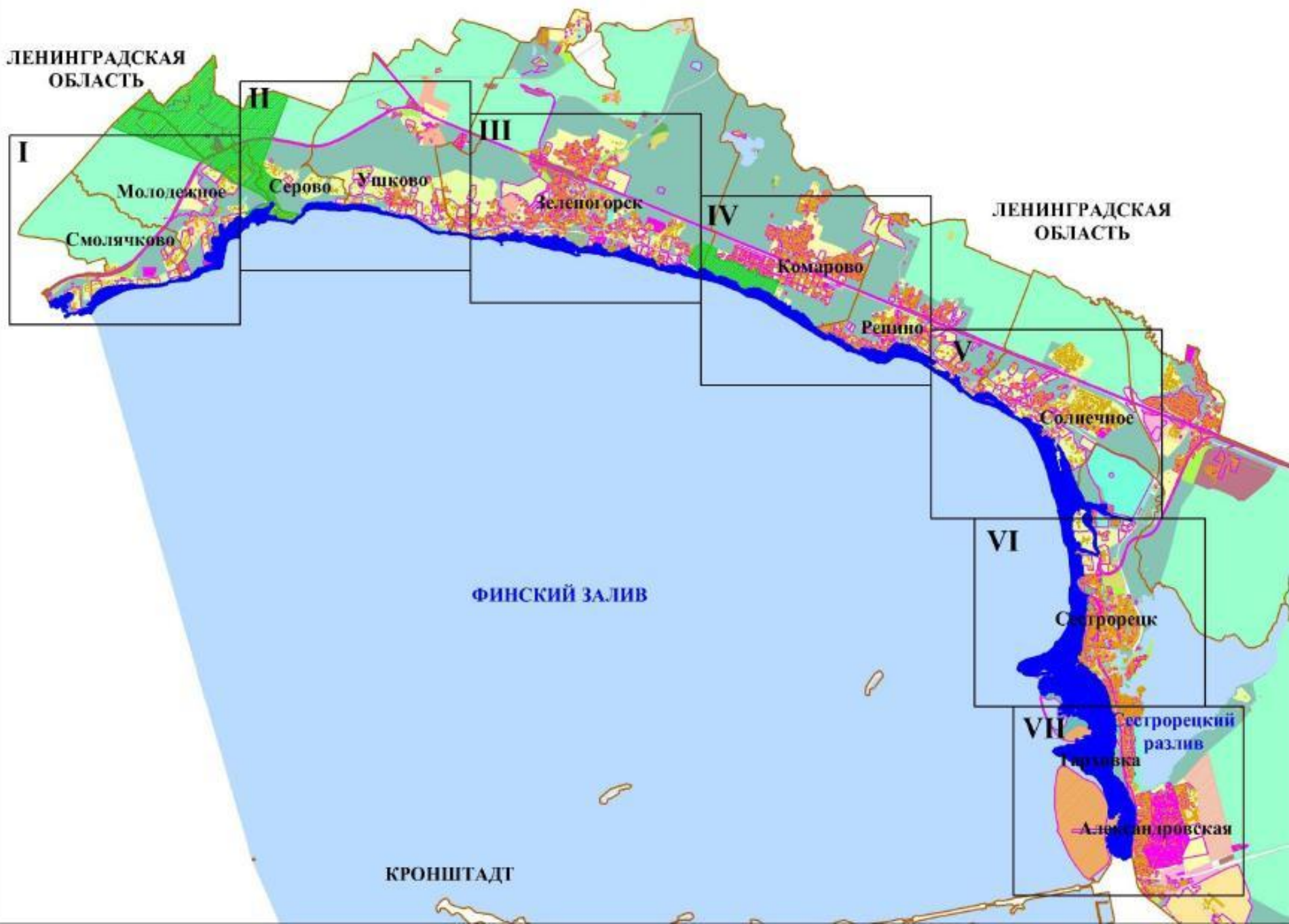


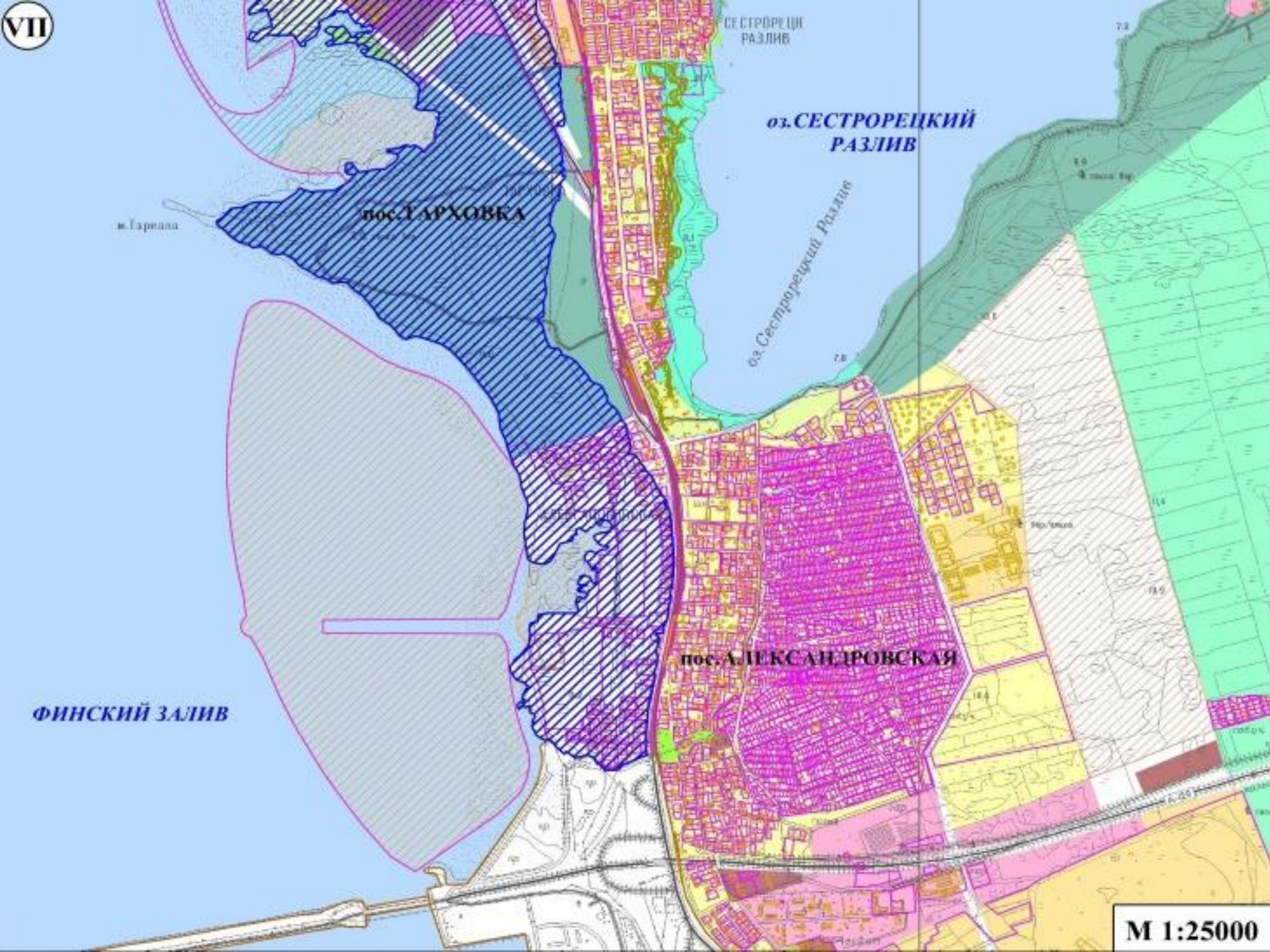
Площади затопления территории муниципальных округов Курортного района при различных подъемах морского уровня, га

Муниципальный округ	Уровень затопления			
	1 м (БС)	2 м (БС)	3 м (БС)	4 м (БС)
г. Сестрорецк	167,3	385,7	559,7	730,7
пос. Солнечное	5,5	12,8	42,6	99,5
пос. Репино	4,1	15,1	33,2	80,0
пос. Комарово	5,5	10,6	22,6	71,0
г. Зеленогорск	11,0	23,9	50,8	103,2
пос. Ушково	3,2	6,1	12,0	18,9
пос. Серово	11,7	14,8	17,7	34,7
пос. Молодежное	15,6	23,2	39,5	72,0
пос. Смолячково	6,2	10,0	16,3	51,0
Всего	230,2	502,3	794,5	1261,1

Что происходит с климатом Земли?

СХЕМА ЗАТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ КУРОРТНОГО РАЙОНА ПРИ ПОДЪЕМЕ УРОВНЯ ФИНСКОГО ЗАЛИВА НА 4 МЕТРА





м. Гарина

пос. ГАРХОВКА

СЕСТРОРЕЦКИЙ
РАЗЛИВ

оз. СЕСТРОРЕЦКИЙ
РАЗЛИВ

оз. Сестрорецкий Разлив

ФИНСКИЙ ЗАЛИВ

пос. АЛЕКСАНДРОВСКАЯ

М 1:25000

Оценки компонентов материальных ущербов вследствие повышения морского уровня для Курортного района СПб

	Постепенное повышение уровня моря	Повышение уровня вследствие прохождения наводненческих циклонов			
		1	2	3	4
Уровень моря, м	1	1	2	3	4
Площадь затопления (S_i), кв. км	2,3	2,3	5,02	7,94	12,61
Площадь Санкт-Петербурга (S), кв. км	1439,00				
Общая балансовая стоимость основных фондов рекреации, млн. руб.	39416,83				
Коэффициент степени разрушений	1,0	0,7	0,7		
Коэффициент концентрации основных фондов	1,0				
Материальный ущерб зданиям и сооружениям, млн. руб.	63,06	44,14	96,25	152,24	241,79
Кадастровая стоимость земель в зоне затопления (KC), млн. руб.	2108,53	2108,54	4579,80	7552,87	11407,30
Ущерб от нарушения земель ($Ущ$), млн. руб.	2108,53	1232,70	2681,79	4362,27	6698,72
Суммарный ущерб, млн. руб.	2171,59	1276,84	2778,04	4514,51	6940,51
Расходы на ликвидацию последствий, млн. руб.	-	255,37	555,61	902,90	1388,10
Общий ущерб от затопления, млн. руб.	2171,59	1532,21	3333,65	5417,41	8328,61

«Климатгейт»

В истории климатических скандалов уже не раз случалось, что наблюдаемые изменения климата и состояния атмосферы давали не совсем объяснимые результаты, которые сначала раздувались в тщательно спланированную политическую истерию, а затем порождаемая этой истерией паника приносила определенным кругам вполне конкретные материальные и финансовые дивиденды.

Пример - озоновые дыры (фреон). главный инициатор и создателем мифа об «озонной угрозе» была известная корпорация «Дюпон»,

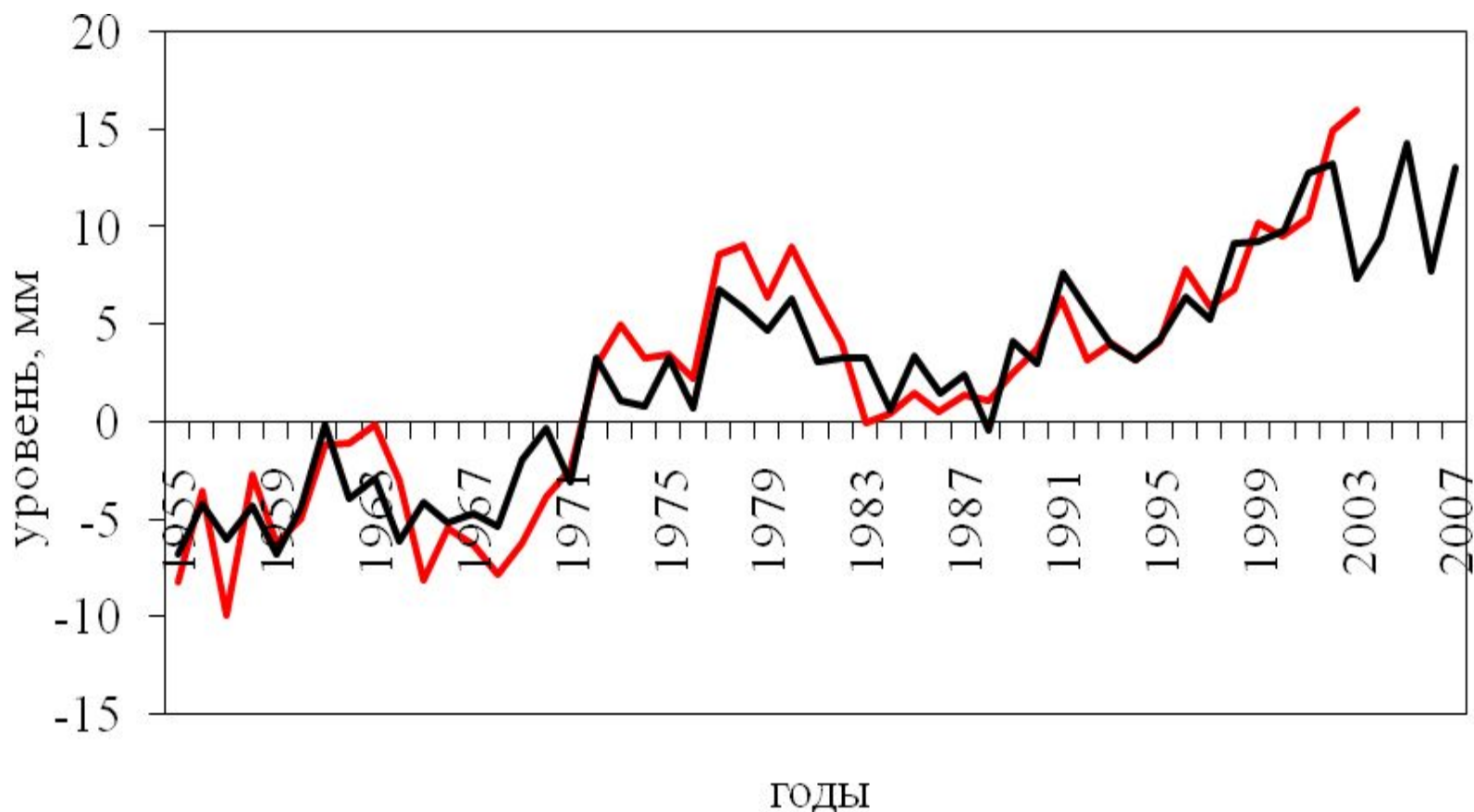
Для крупного бизнеса миф о глобальном потеплении — это возможность взять под контроль добычу и эксплуатацию природных ресурсов, большая часть которых принадлежит тем самым развивающимся странам.

Борьба с выбросами парниковых газов предполагает введение квот и ограничений, размер которых обязательно станет предметом торга и спекуляций. **Здесь открывается прямой путь к зарабатыванию огромных денег фактически из ничего:** продавая право чиновников «мирового правительства» разрешать и запрещать добычу и использование полезных ископаемых.

Потепление климата обусловлено не только ростом концентрации ПГ, но и естественными факторами

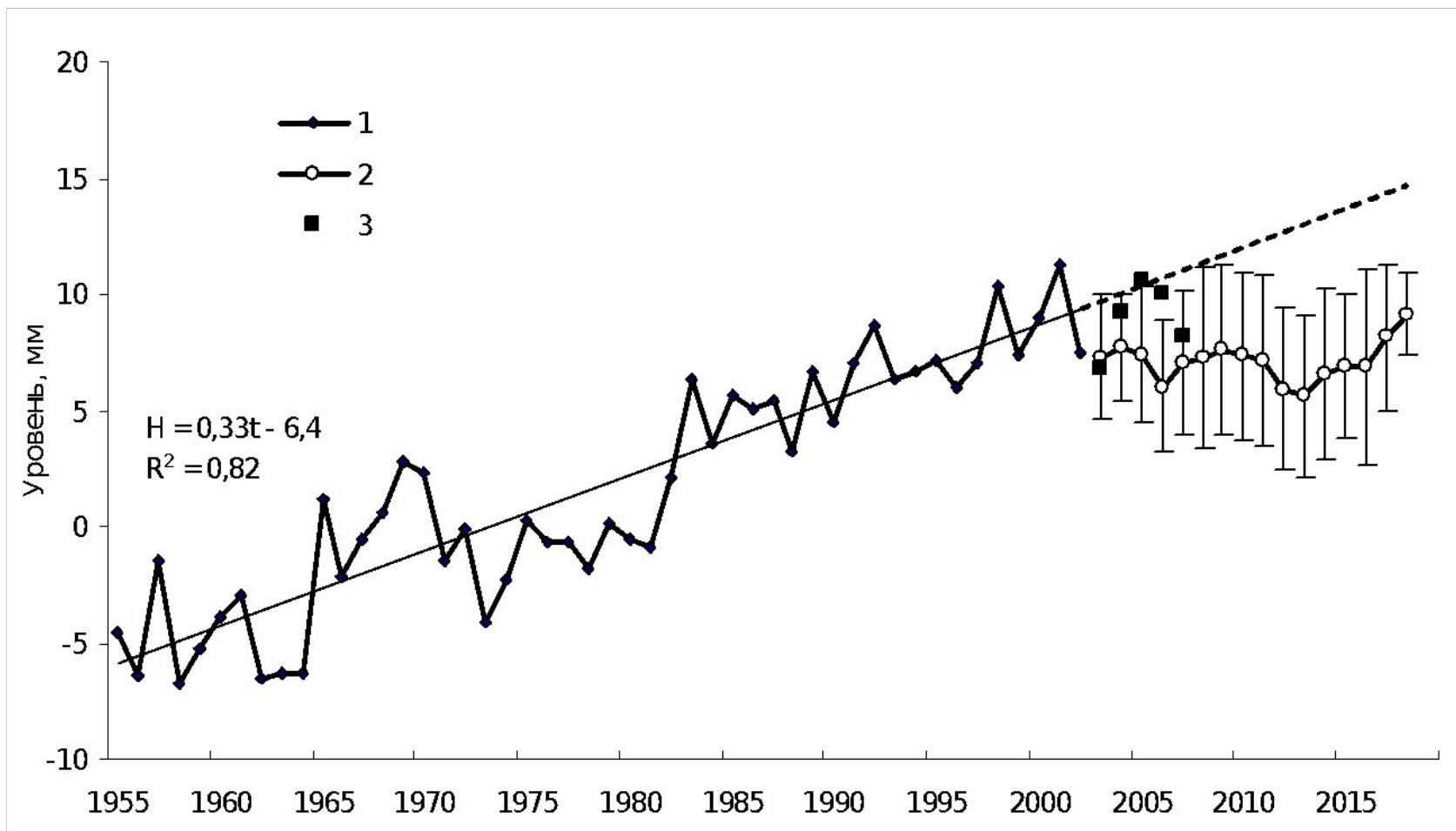
- оценки «парникового потепления» дают значения, близкие к природной обусловленной обусловленности климата.
- рост концентрации CO₂ и других ПГ может быть частично вызван и природными факторами, в частности, межгодовыми колебаниями газообмена в системе океан-атмосфера.
- потепление в 20-м столетии было сконцентрировано в течение двух периодов: в 20-40 годы и после 1975 года. С 40-х годов до начала 70-х в северном полушарии имело место похолодание климата. В южном полушарии ПТВ оставалась неизменной.
- значительная пространственная дифференциация в изменениях климата. В некоторых регионах (в основном в северном полушарии) после 1975 г. вплоть до последнего времени продолжалось похолодание.

Сопоставление исторических колебаний уровня океана по данным [Antonov et al., 2005] (красная линия) и вычисленных по статистической модели (черная линия).



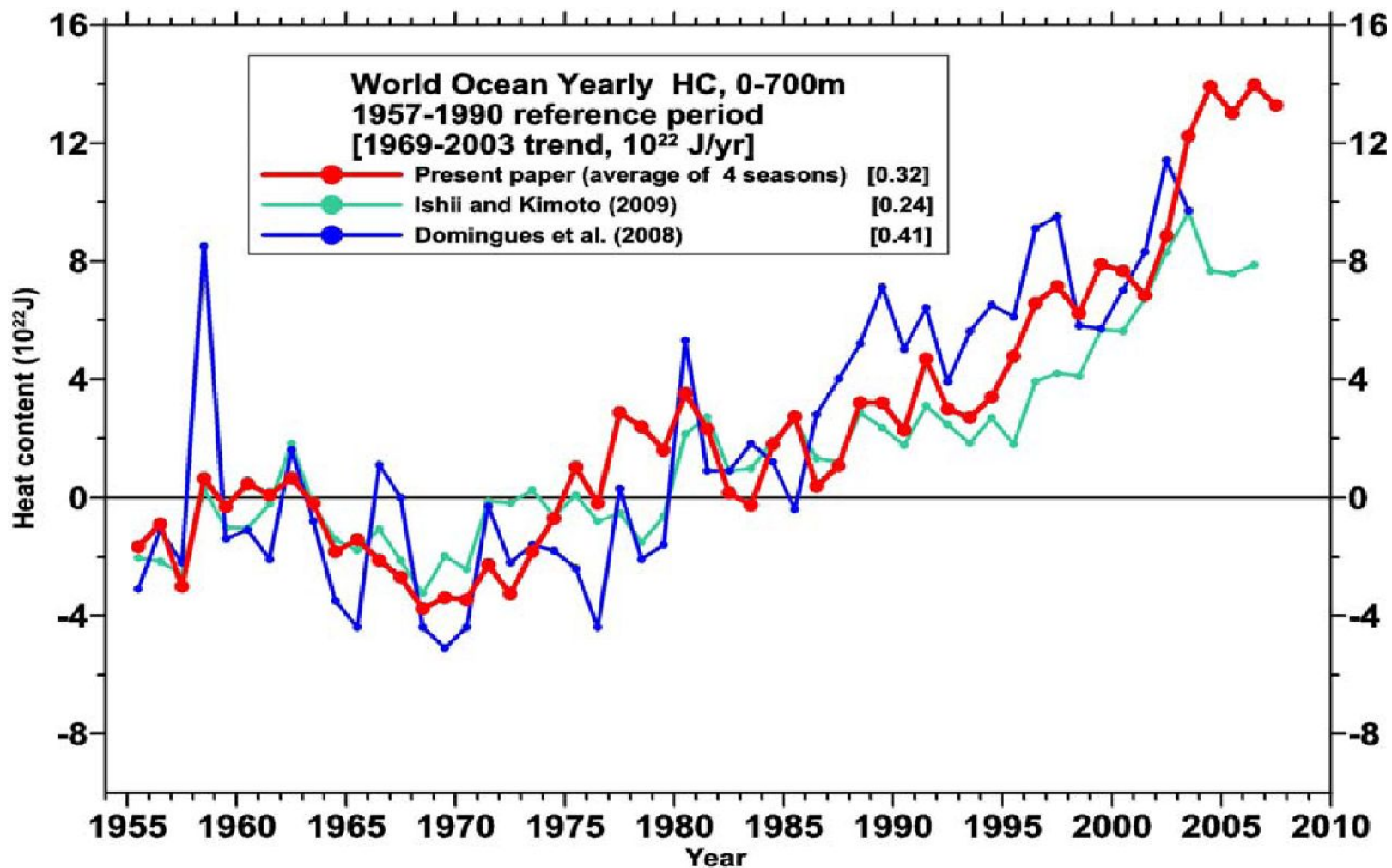
Что происходит с климатом Земли?

Фактические (1) и прогностические (2) оценки медленной составляющей стерических колебаний УМО. Вертикальные линии показывают доверительный интервал равный $\pm\sigma$.



Что происходит с климатом Земли?

Межгодовой ход глобального теплосодержания океана в слое 0–700 м, рассчитанный в работах [Levitus et al.,2009] (красный цвет), [Domingues et al., 2008] (синий цвет) и [Ishii and Kimoto, 2009] (зеленый цвет).



Что происходит с климатом Земли?

Оценки вкладов различных процессов в изменения УМО в XX столетии (1910-1990 гг.) по данным МГЭИК (2000 г.) в мм/год

Определение испарения и осадков над Мировым океаном

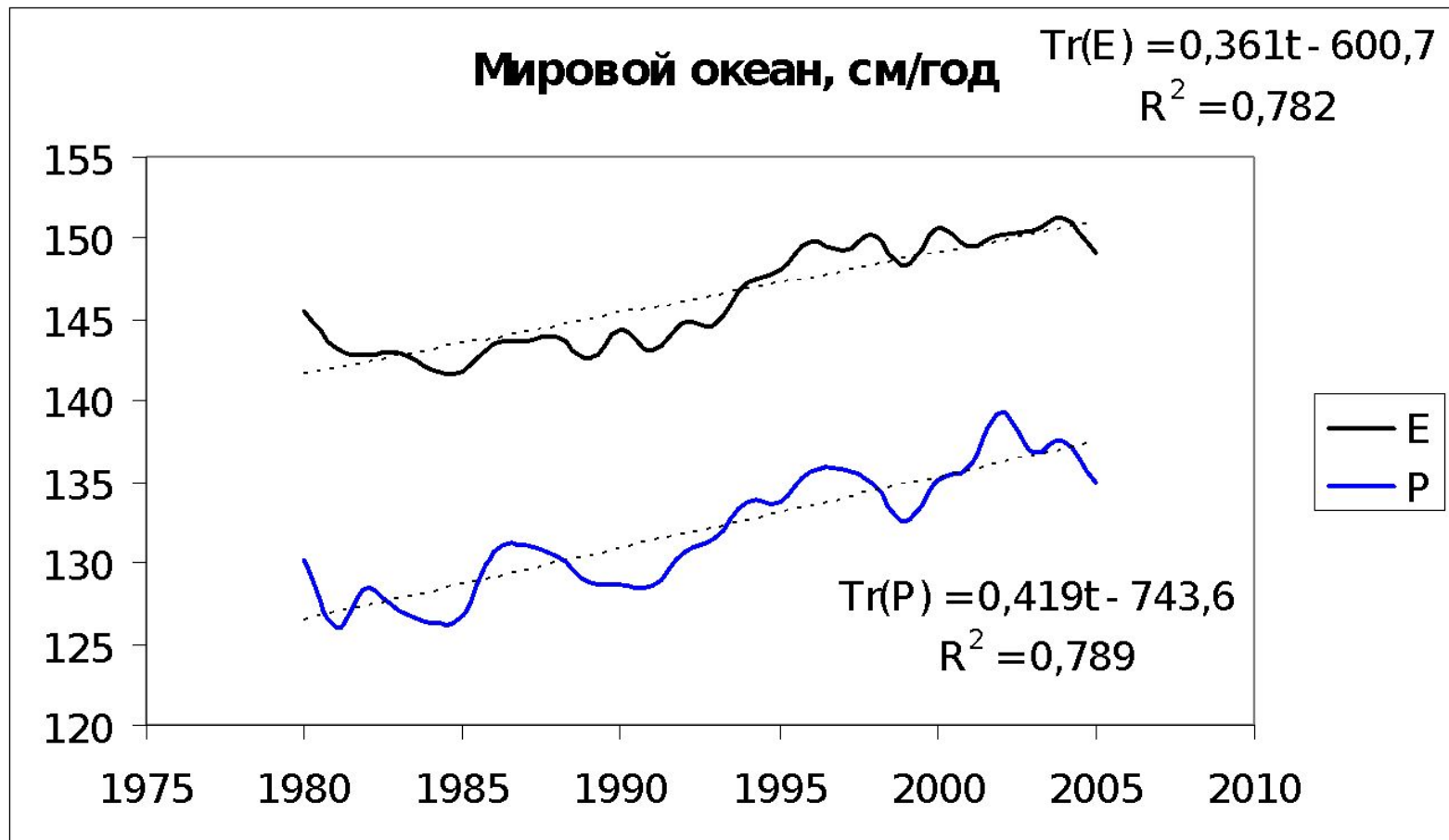
- значения испарения и осадков заданы в узлах первичной широтно-долготной сетки $1.875^\circ \times 1.875^\circ$ с 1949 г. Общее число узлов составило 15965;
- осуществлено осреднение исходных данных по пятиградусным трапециям Мирового океана, в результате число узлов сократилось до 1305;
- Основным периодом исследования принят 1980-2005 гг., характеризующийся особенно резким потеплением глобального климата.
- Использован глобальный гидрометеорологический архив CDAS (Climate Data Assimilation System), являющийся частью системы NOAA NCEP/NCAR Reanalysis;

Среднемноголетние значения компонент влагообмена для отдельных океанов и Мирового океана в целом

Океан	Испарение		Осадки		Эффективное испарение	
	см/год	$\times 10^3$, км ³ /год	см/год	$\times 10^3$, км ³ /год	см/год	$\times 10^3$, км ³ /год
Атлантический	135	123	105	96	30	27
Индийский	149	114	134	101	15	13
Тихий	150	268	145	259	5	9
Северный Ледовитый	22	3	36	5	-14	-2
Мировой	141	508	128	461	13	47

Что происходит с климатом Земли?

Межгодовой ход испарения и осадков над Мировым океаном за период 1980-2006 гг. в см/год



Что происходит с климатом Земли?

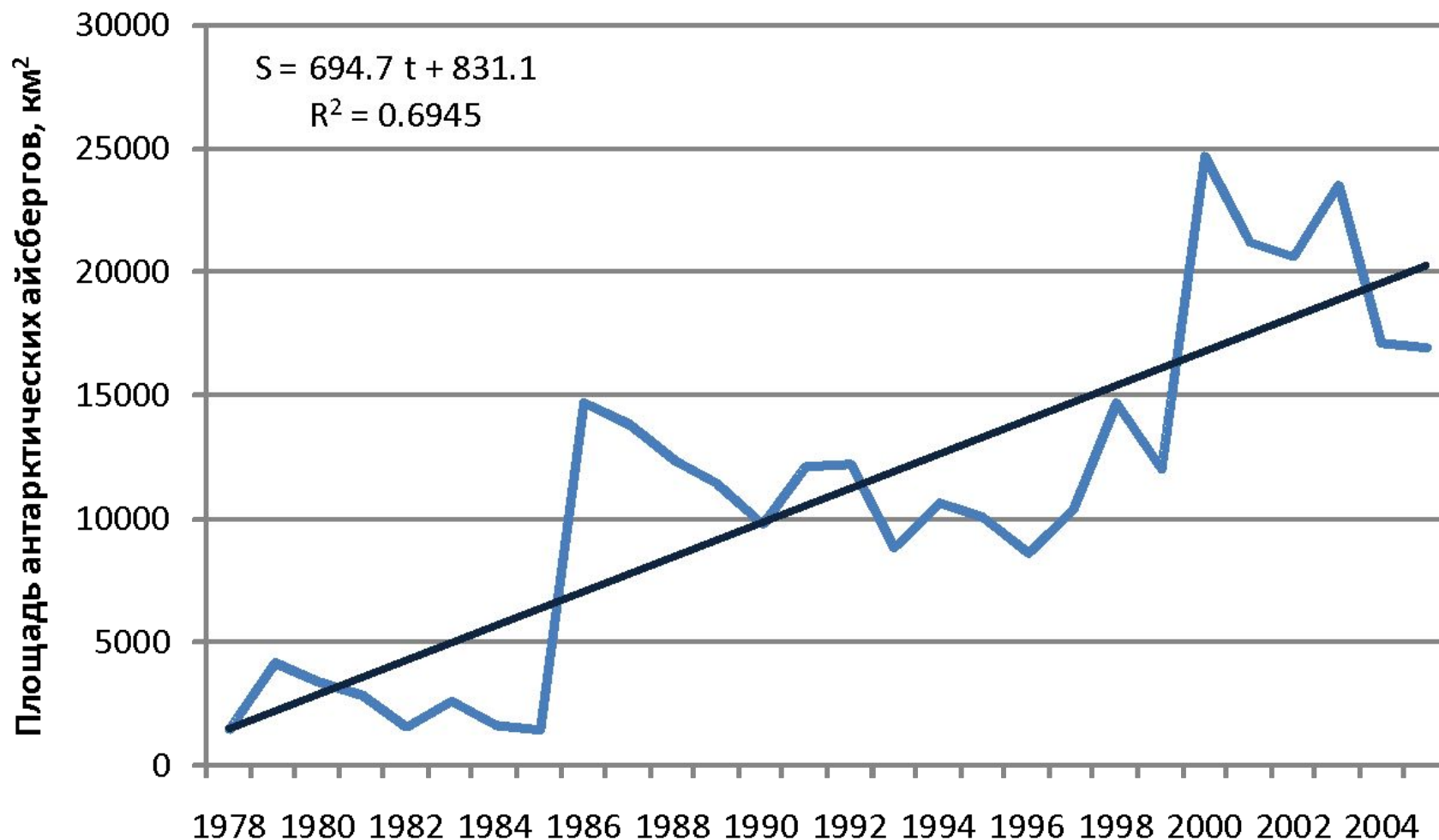
Характеристики линейного тренда в межгодовых колебаниях испарения и осадков над отдельными океанами и Мировым океаном в целом

Океан	Испарение		Осадки		Эффективное испарение	
	R ²	Tr, мм/год	R ²	Tr, мм/год	R ²	Tr, мм/год
Атлантический	0,56	3,5	0,58	4,4	0,11	-0,9
Индийский	0,58	4,5	0,55	5,3	0,10	-0,9
Тихий	0,63	3,3	0,47	3,7	0,03	-0,4
Мировой	0,78	3,6	0,79	4,2	0,16	-0,6

Водный баланс Антарктиды и Гренландии в XX-м столетии (1910-1990 гг.) на основе данных МГЭИК в км³/год

Компонента баланса	ЛП Антарктиды			ЛП Гренландии		
	Min	Сред.	Max	Min	Сред.	Max
Аккумуляция	2000	2246	2344	461	520	547
Твердый сток	1800	2072	2400	205	235	280
Жидкий сток	-	-	-	256	297	347
Донное таяние	320	540	736	-	-	-
Баланс	-120	-366	-792	0	-12	-80

Межгодовые изменения площади антарктических айсбергов в км²



Что происходит с климатом Земли?