

Структура климатических классов Евразии в периоды разных термических режимов в Северной Атлантике

Волков Ю.В., Чередыко Н.Н., Тартаковский В.А.

ИМКЭС СО РАН г. Томск

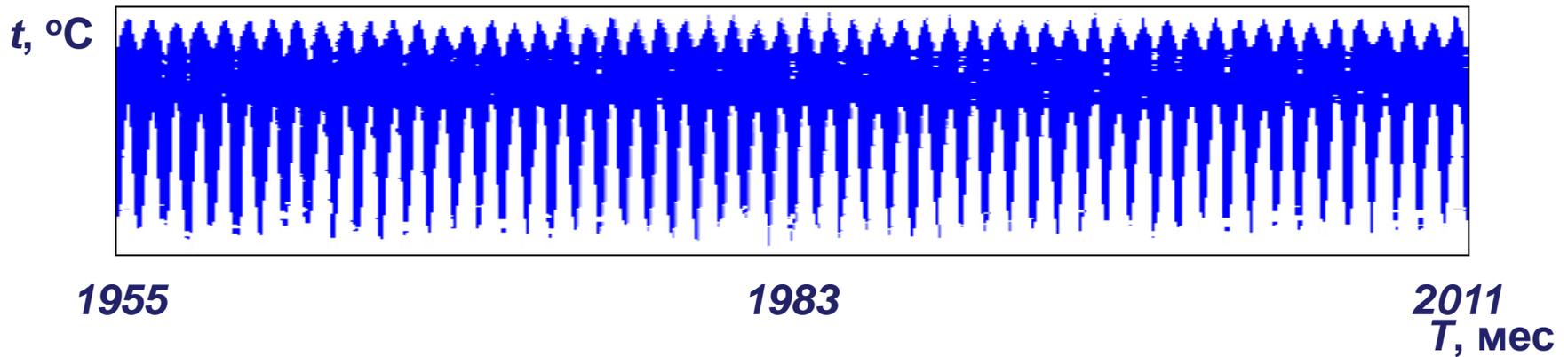
Свойство согласованности (синхронности)

- В основу исследования положен принцип синхронности, позволяющий объективно и оперативно определять границы климатических кластеров.
- Синхронность, обусловленная циклическими движениями в Солнечной системе, представляется как фундаментальное свойство климатических кластеров.

Критерием для выделения структур в полях элементов климата в данной работе выбрано согласованное поведение процессов внутри класса.

Мерой согласованности принят коэффициент корреляции.

Среднемесячные температуры



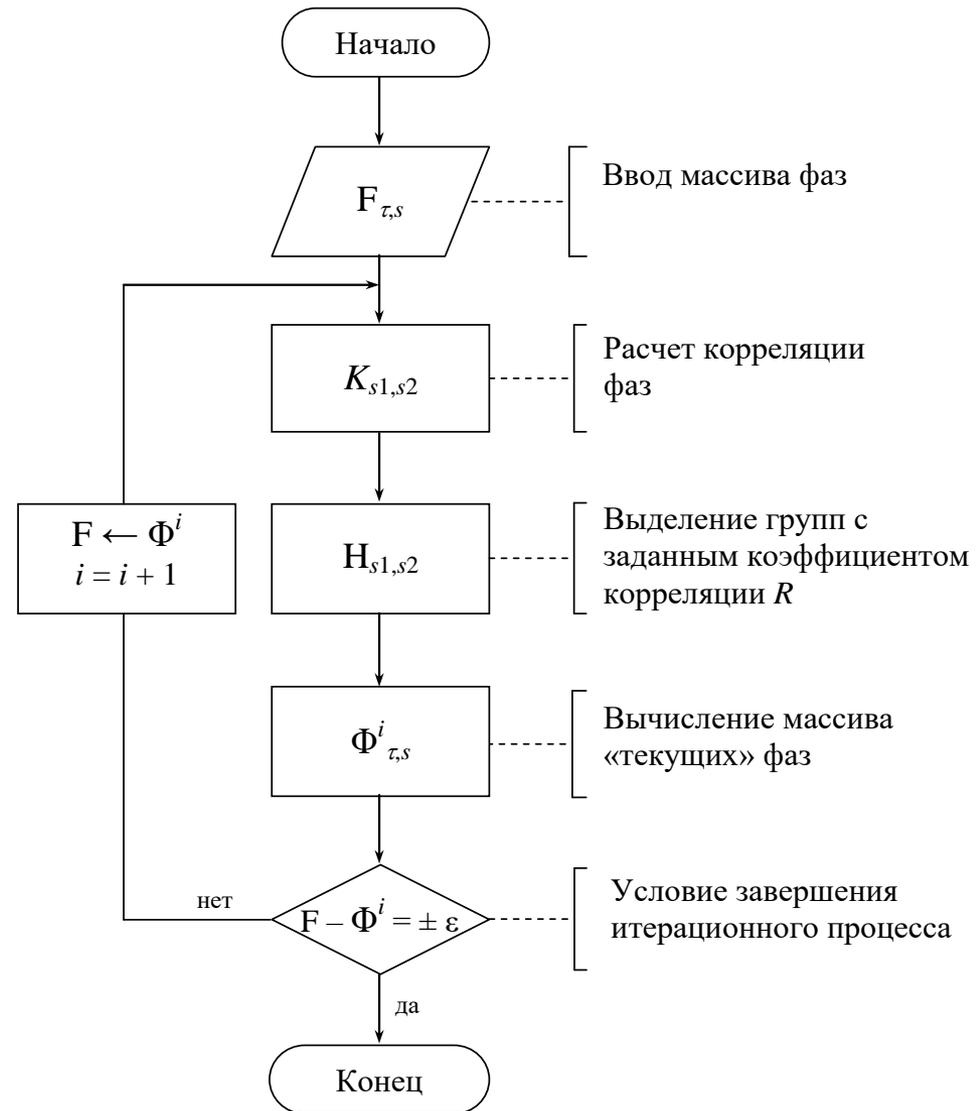
Материалом для верификации алгоритма классификации послужили ряды среднемесячных температур 818 метеостанций Северного полушария за период 1955-2011 гг..

Архив Университета Восточной Англии [Электронный ресурс]
<http://www.metoffice.gov.uk>, <http://www.cru.uea.ac.uk>

(дата обращения 19.06.13)

Алгоритм климатической группировки

- 1.Расчета взаимной корреляции
- 2.Выделение групп по коэффициенту взаимной корреляции
- 3.Построение типовых функции
- 4.Получение единого массива типовых функций
- 5.Массив типовых функций вычитается поэлементно из массива фазовых значений
- 6.Повторение итераций



Результаты численного исследования устойчивости алгоритма кластеризации

Исследовалось влияние на ошибку восстановления

- 1) Формы эталонных сигналов
- 2) Количества сигналов в выборке
- 3) Формы вида и уровня шума
- 4) Уровень корреляции

Результаты:

- 1) ошибка восстановления эталонных сигналов при шуме 60% не превышает 50%
- 2) алгоритм устойчив до уровня шума 60% (далее происходит изменение числа групп)

$$\varepsilon_{\varphi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta S_i - \bar{\Delta S})^2}{\sum_{i=1}^N (S_i^e - \bar{S}^e)^2}}$$

ΔS – разность между исходным и восстановленным сигналами,

$\bar{\Delta S}$ – среднеарифметическое значение разности сигналов,

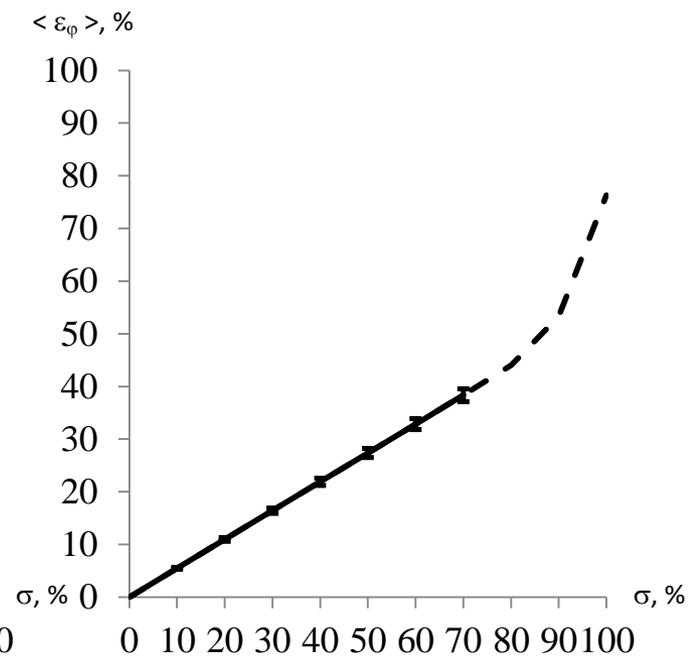
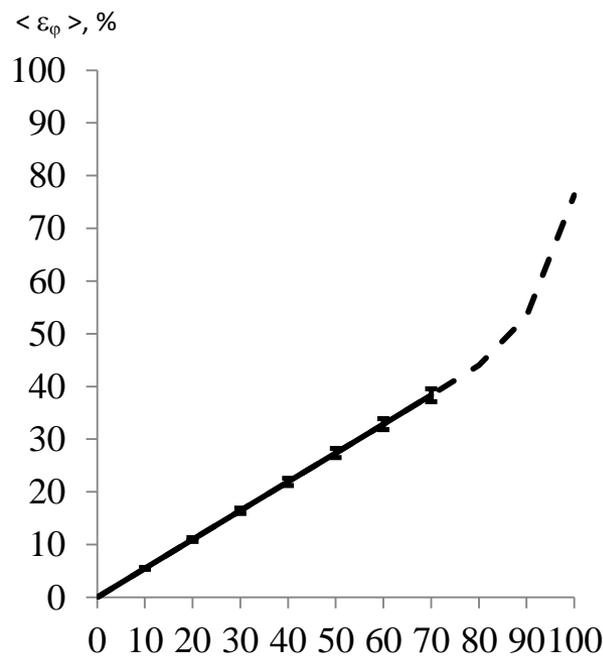
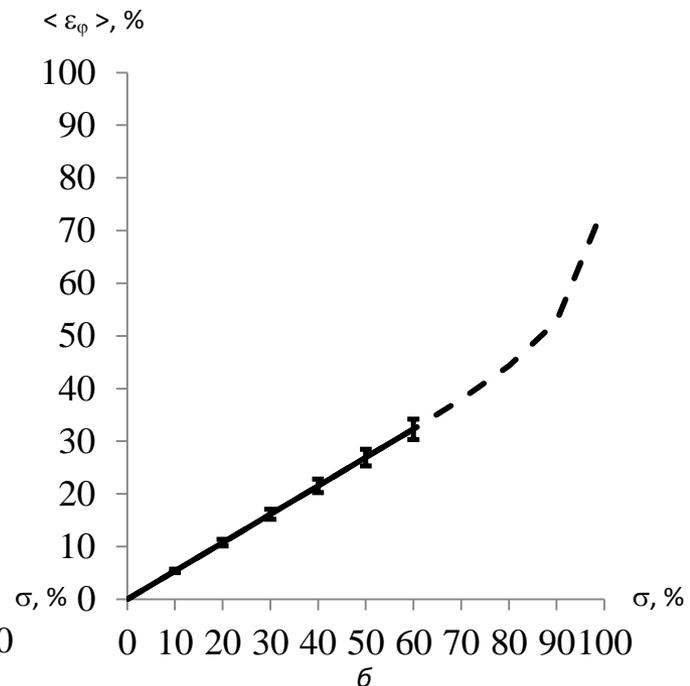
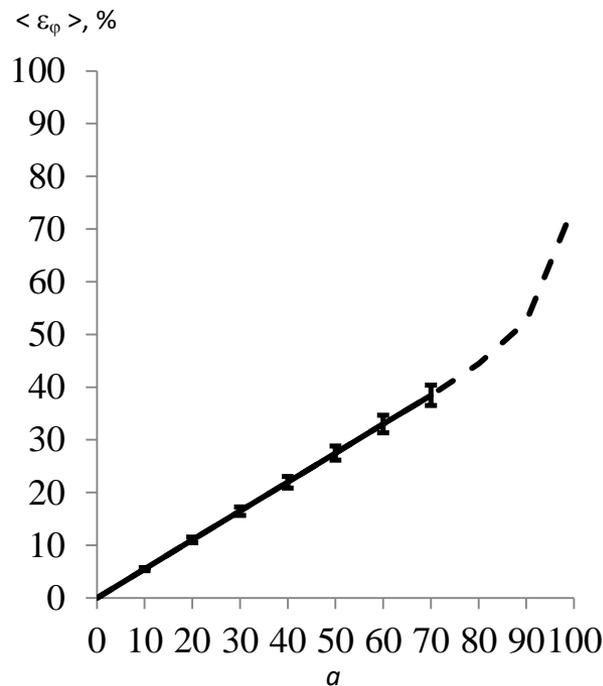
S_i^e – исходный сигнал

\bar{S}^e – среднеарифметическое значение исходного сигнала,

N – количество отсчётов.

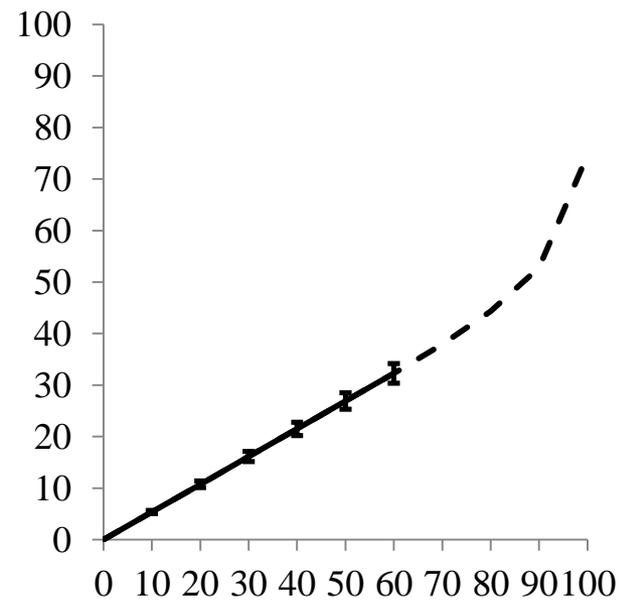
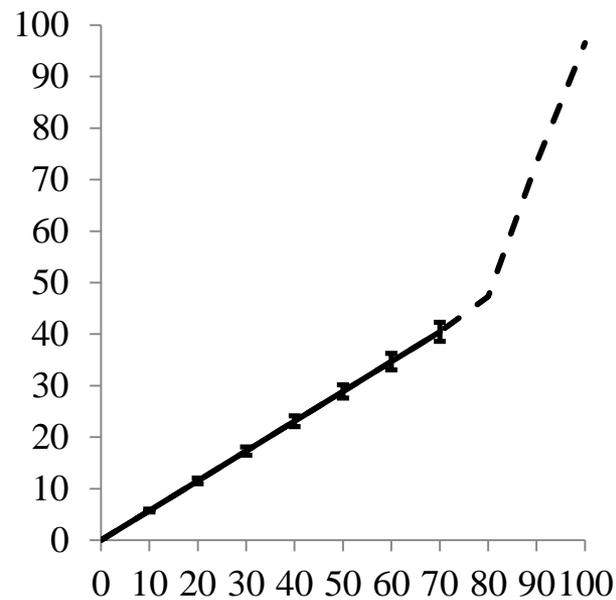
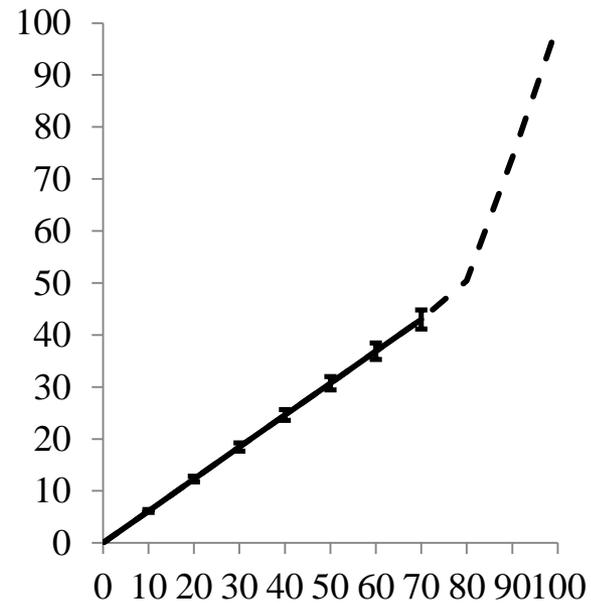
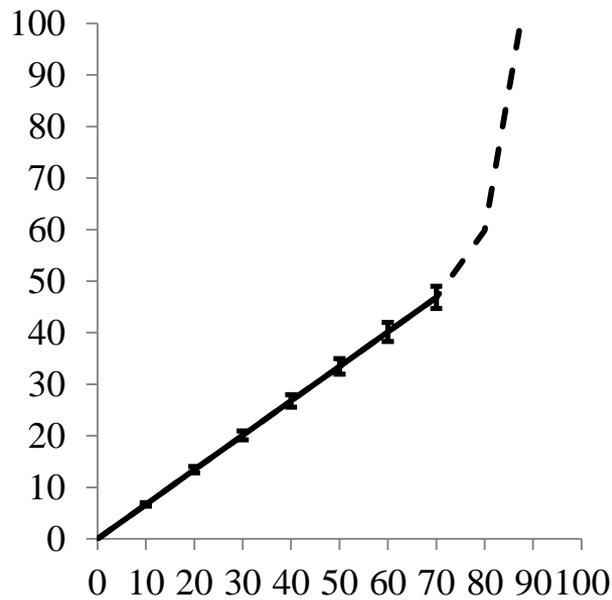
Оценки
нормированной
среднеквадратич
еской ошибки
восстановления
фаз алгоритмом
динамической
кластеризации

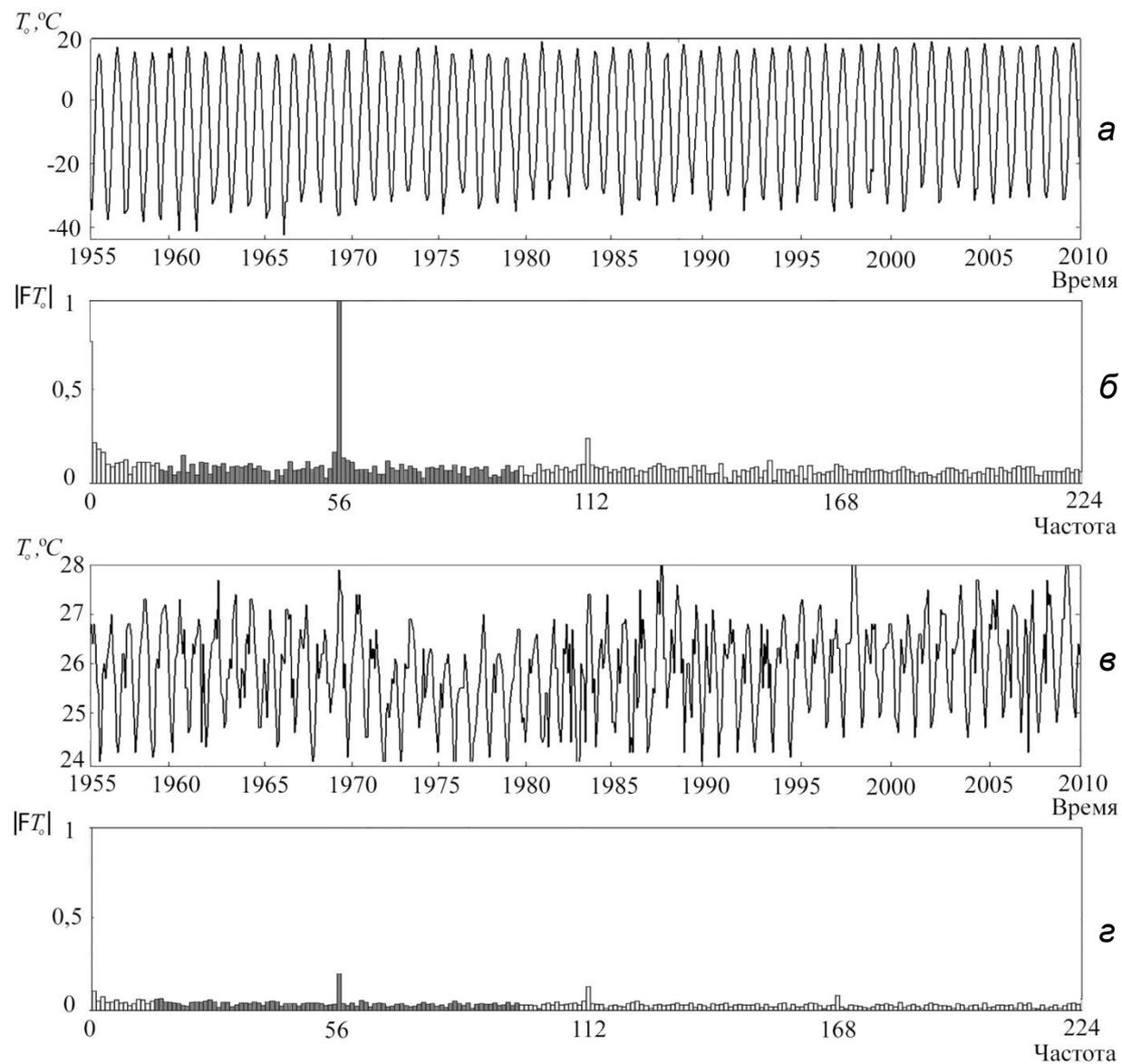
при разном
размере
выборки:
а – 20 ,
б – 40,
в – 60 ,
г – 100
сигналов с
шумом



Оценки
нормированной
среднеквадратич
еской ошибки
восстановления
фаз алгоритмом
динамической
группировки для
сигналов с
разным
количеством
гармонических
составляющих:

а – 3 ,
б – 6 ,
в – 12 ,
г – 24





Температурные сигналы и их нормированные модули преобразования Фурье за период 1955-2010 гг., полученные на метеостанциях: а, б – «Tomsk» (Россия; синоптический индекс 29430; широта $56,5^\circ\text{N}$; долгота $84,9^\circ\text{O}$; высота над уровнем моря 139м), в, г – «Douala obs.» (Камерун; синоптический индекс 64910; широта 4°N ; долгота $9,7^\circ\text{O}$; высота над уровнем моря 9м). Спектральные частоты представлены в долях интервала наблюдения, показаны первые 224 отсчета из 2048.

Модель температурного сигнала

$$T_0(\tau) = \left(a_0 + K^A a(\tau) \right) \cos \left(2\pi \nu_n \tau + \varphi_0 + I^\Phi \varphi(\tau) \right) \quad (1)$$

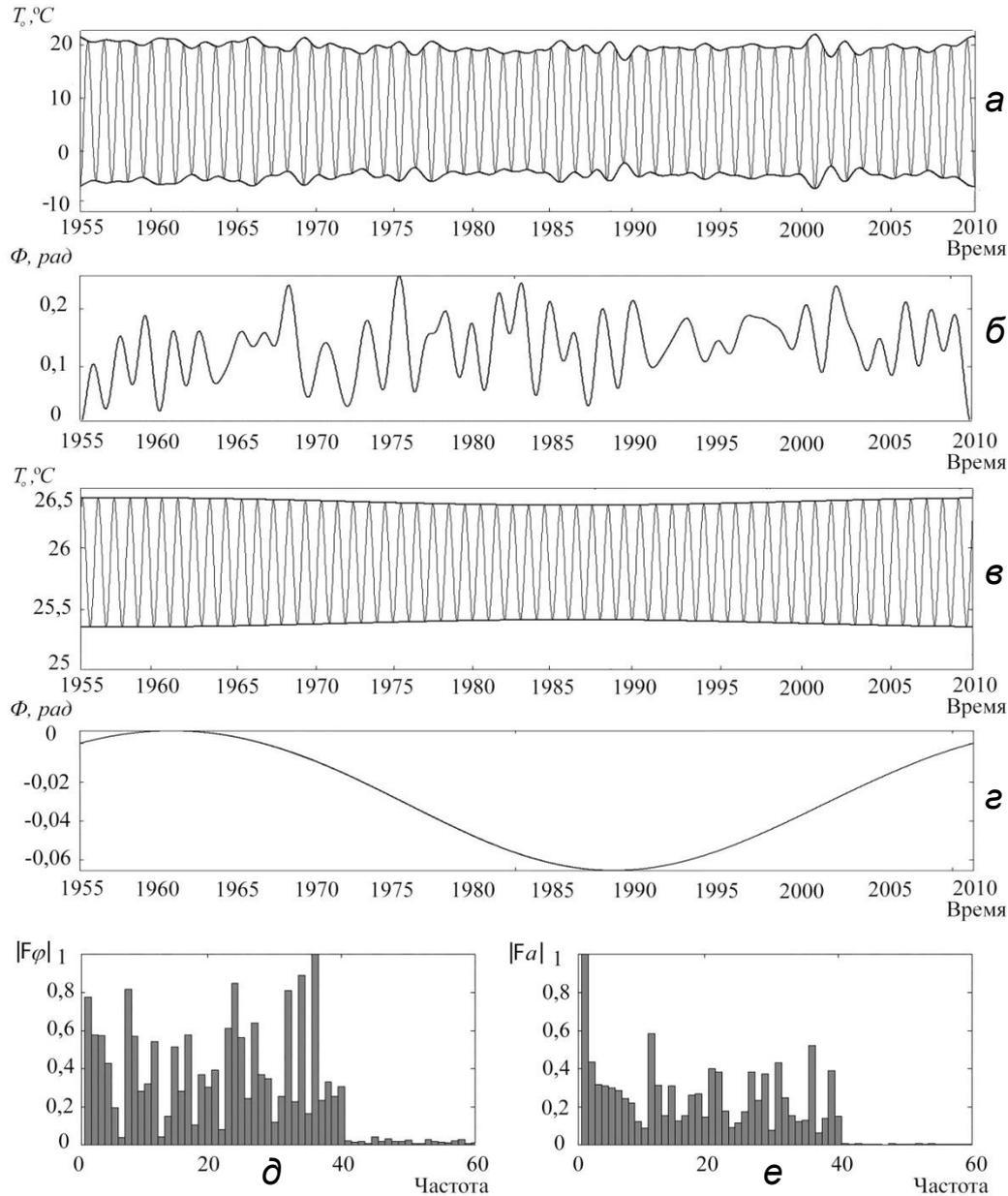
a_0	– амплитуда несущего колебания
$I^A = \frac{K^A}{a_0}$	– индексы амплитудной модуляции
I^Φ	– индекс фазовой модуляции
φ_0	– начальная фаза
$a(\tau) \quad \varphi(\tau)$	– модулирующим колебаниям
τ	– время
ν_n	– частота несущего колебания

Расчет амплитуды и фазы

Д. Е. Вакман, анализируя различные методы определения амплитуды и фазы рядов колебаний, заключил, что непротиворечивое наиболее общее их определение достигается с помощью Аналитического сигнала (АС). Введенный Д. Габором в 1946 г., АС получил широкое применение в радиофизике, оптике и других областях, где изучаются колебания и волны.

$$1. W(\tau) = T(\tau) + iV(\tau) \qquad 2. V(\tau) = \frac{1}{\pi} \text{v.p.} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{T(s)}{\tau - s} ds$$

$$3. a(\tau) = \sqrt{T^2(\tau) + V^2(\tau)}, \quad 4. \varphi(\tau) = \text{arctg} \frac{V(\tau)}{T(\tau)}$$



Фильтрованные температурные сигналы и их характеристики: а, б – огибающая и фаза сигнала, полученного на метеостанции «Tomsk» и в, г. – огибающая и фаза сигнала, полученного на метеостанции «Douala», д, е – нормированные модули преобразования Фурье для фазы и огибающей сигнала, полученного на метеостанции «Tomsk».

Типовые фазы

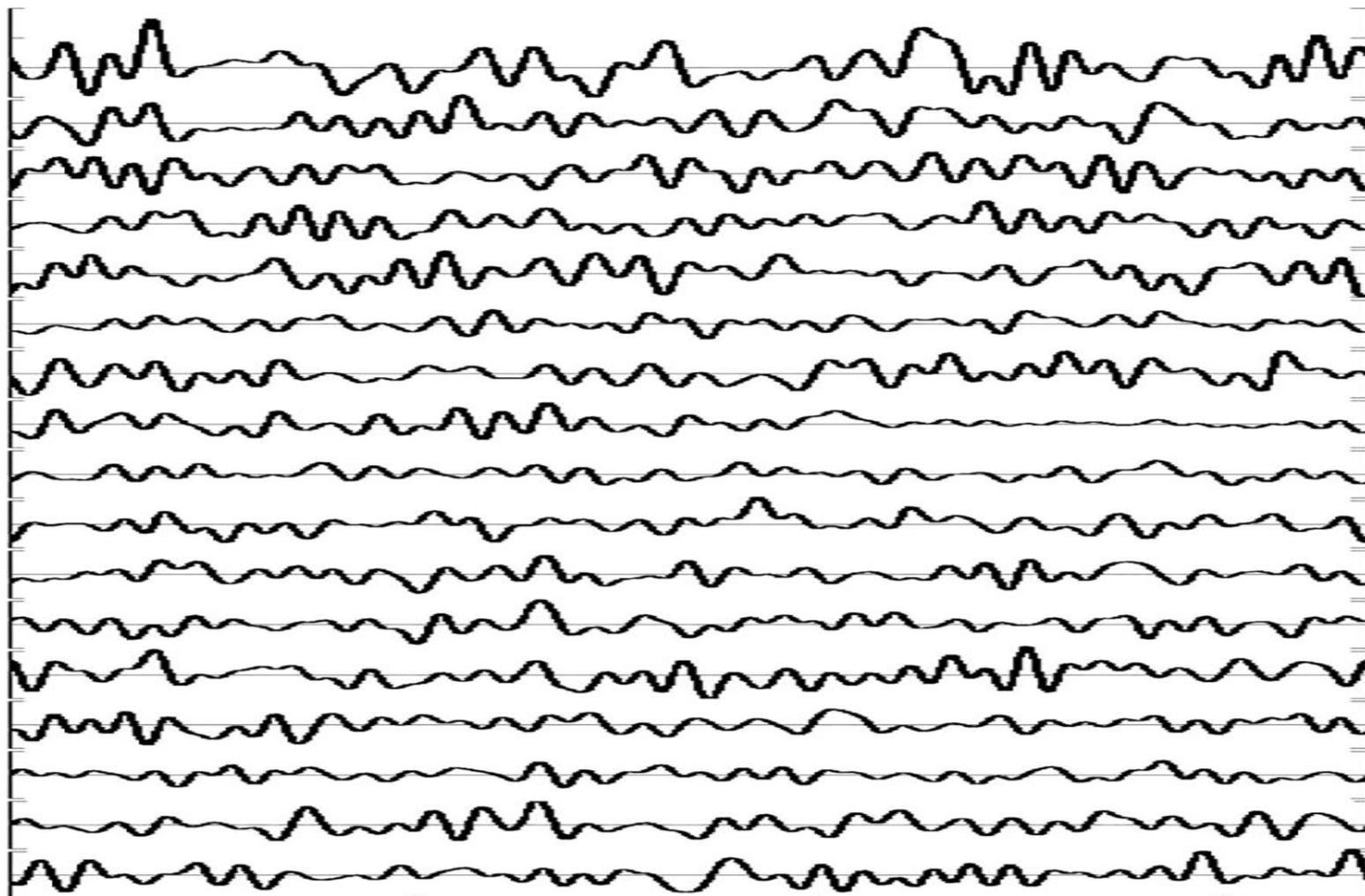


Рис. Типовые фазы, расположены сверху вниз, соответствующие 17 выделенным климатическим классам. Горизонтальные линии проведены с шагом 0,2 рад.

Типовые огибающие

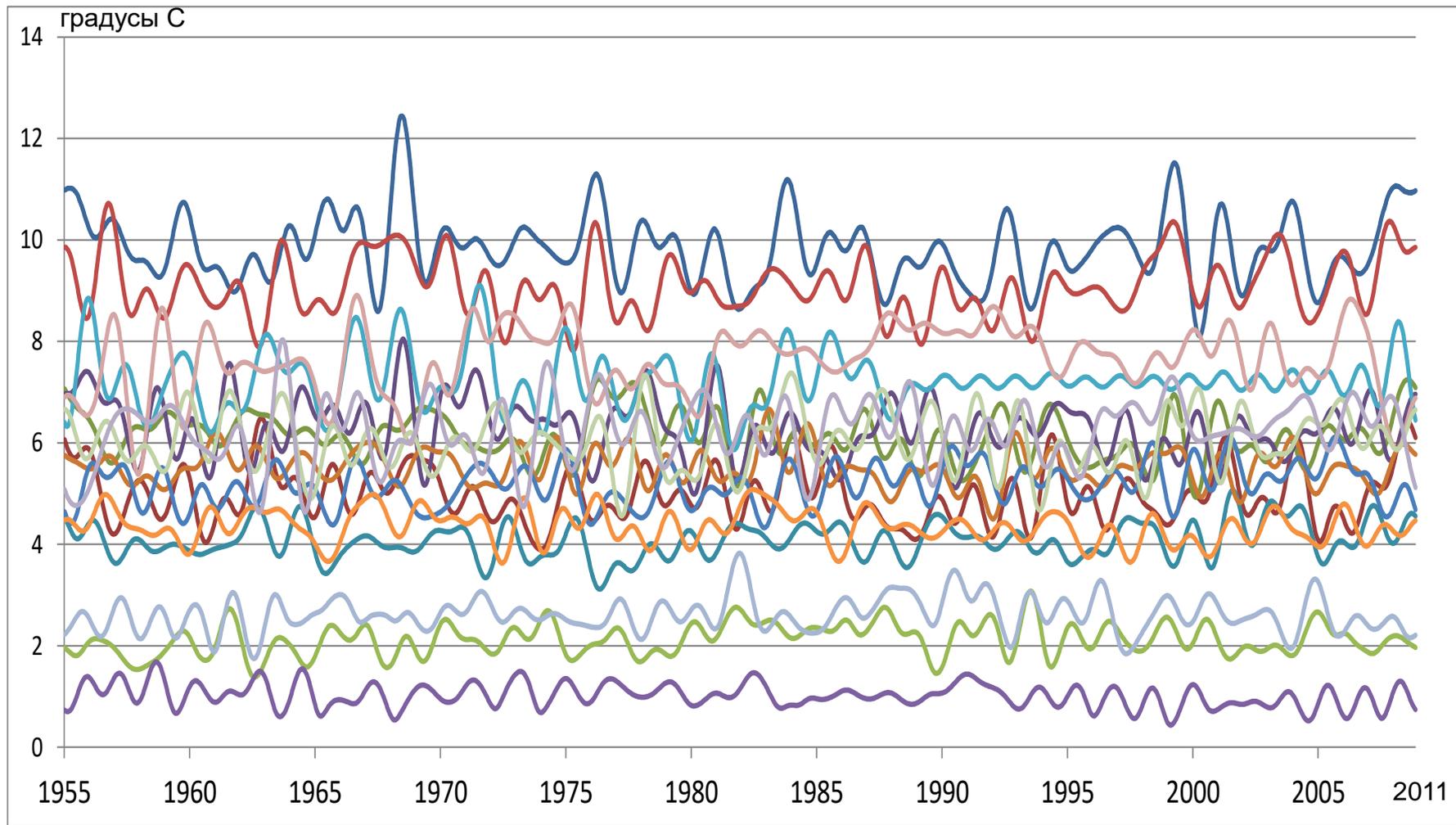


Рис. Типовые огибающие, расположены сверху вниз, соответствуют 16 выделенным климатическим кластерам.

Взаимосвязь между классами

1	1																
2	-0.24	1															
3	0.46	-0.38	1														
4	0.08	-0.02	0.15	1													
5	-0.11	0.35	-0.43	0.03	1												
6	0.06	-0.24	0.19	-0.09	-0.38	1											
7	0.13	-0.30	0.16	0.28	0.01	-0.10	1										
8	-0.07	0.52	-0.29	0.34	0.08	-0.06	-0.28	1									
9	0.02	0.17	0.04	-0.08	0.13	-0.05	0.15	-0.12	1								
10	-0.27	0.20	-0.12	0.39	0.18	-0.08	0.03	0.36	-0.13	1							
11	0.20	-0.12	0.10	0.03	0.39	-0.20	0.02	-0.13	-0.06	0.03	1						
12	0.03	0.10	0.06	-0.08	0.09	0.12	-0.25	0.12	0.29	-0.05	0.00	1					
13	-0.48	0.35	-0.41	0.13	0.36	-0.24	0.06	0.22	0.06	0.28	-0.21	-0.06	1				
14	0.28	-0.32	0.22	-0.10	-0.41	0.53	0.08	-0.14	-0.03	-0.41	-0.27	-0.08	-0.32	1			
15	0.24	-0.01	0.06	-0.01	-0.24	0.10	-0.24	0.08	-0.37	-0.03	0.10	0.08	-0.32	-0.02	1		
16	0.36	0.40	-0.05	0.09	0.39	-0.18	0.09	0.20	0.25	-0.02	-0.01	0.09	0.03	-0.08	-0.02	1	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	

Огибающие

1	1																
2	0.01	1															
3	0.3	0.14	1														
4	-0.16	-0.07	0.01	1													
5	0.33	-0.12	0.06	-0.21	1												
6	0.12	0.03	0.42	-0.05	0.27	1											
7	0.56	-0.01	0.05	-0.01	0.39	0.26	1										
8	0.39	0.13	0.4	0.29	-0.01	0.16	0.43	1									
9	0.2	-0.38	0.18	-0.14	0.1	0.39	0.18	0.06	1								
10	0.03	0.09	0.09	0.14	-0.04	0.12	0.02	0.17	0.05	1							
11	-0.12	0.03	0.62	0.14	0.14	0.51	0.07	0.34	0.31	0.13	1						
12	-0.06	-0.18	0.11	0.12	0.26	0.21	0.01	-0.02	0.18	0.09	0.21	1					
13	-0.05	-0.08	0.16	0.1	0.44	0.25	0.36	0.1	0.02	-0.08	0.39	0.05	1				
14	0.09	0.04	-0.01	0.32	-0.43	0.01	0.35	0.61	0.04	0.21	0.04	-0.14	-0.16	1			
15	0.26	-0.25	-0.13	0.03	0.17	0.05	0.26	0.03	0.48	-0.15	0.02	0.33	0.08	0.01	1		
16	-0.01	-0.18	0.08	0.01	0.11	0.22	0.01	-0.12	0.23	0.09	0.09	0.55	0.1	-0.12	0.22	1	
17	-0.03	-0.07	-0.07	-0.01	-0.09	-0.06	-0.03	-0.07	0.14	0.09	-0.01	0.09	-0.23	0.04	0.08	0.11	1
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

Фазы

КЛАССИФИКАЦИИ КЛИМАТА В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ ПО ОГИБАЮЩИМ И ФАЗАМ ТЕМПЕРАТУРНЫХ СИГНАЛОВ



Схема кластеризации поля приземной температуры Северного полушария (1955-2010 гг.) а – по фазам, б – по огибающим. Каждый климатический класс обозначен номером от 1 до 17. Станции, не вошедшие в классы, обозначены символом «+»

КЛАССИФИКАЦИИ КЛИМАТА В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ ПО ОГИБАЮЩИМ И ФАЗАМ ТЕМПЕРАТУРНЫХ СИГНАЛОВ

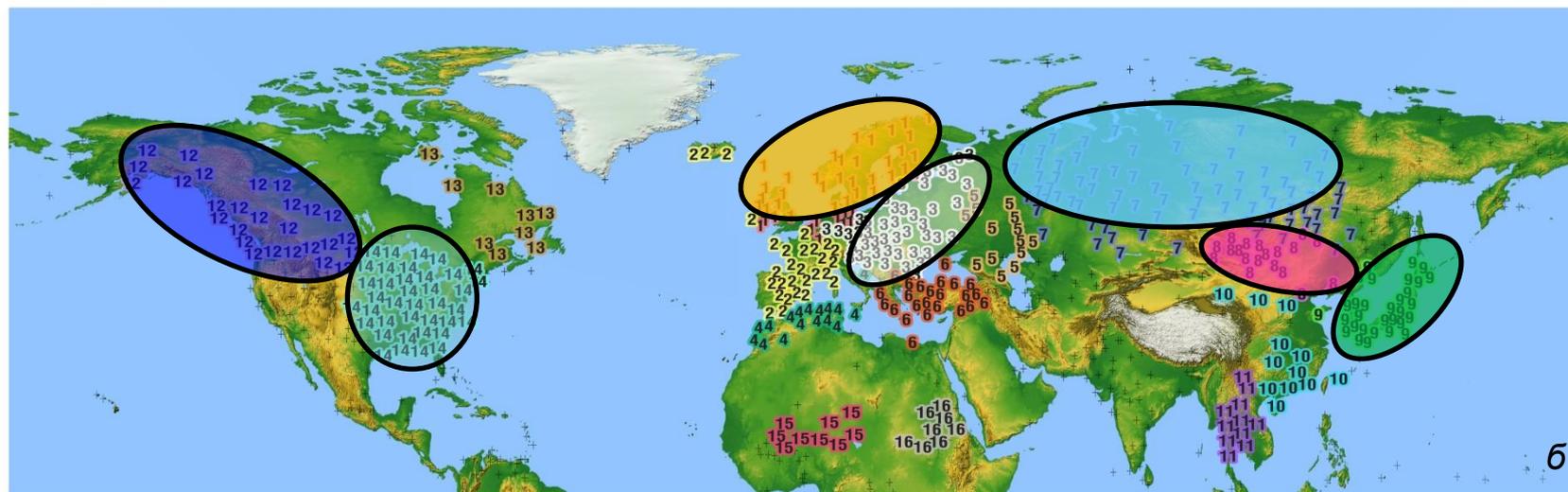
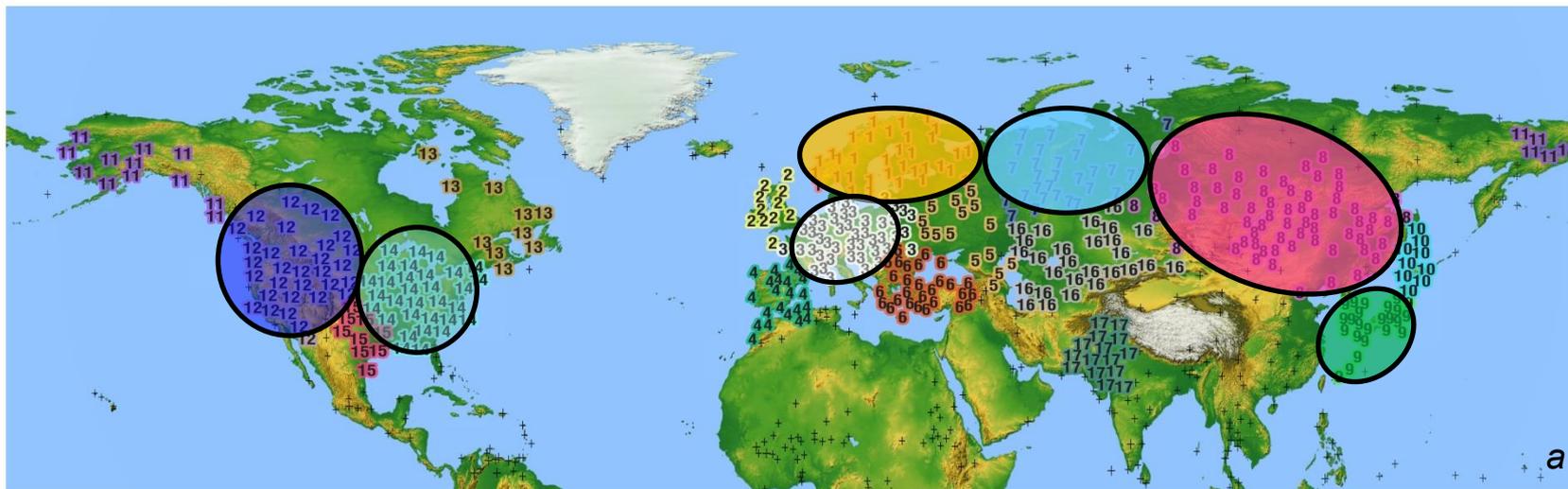
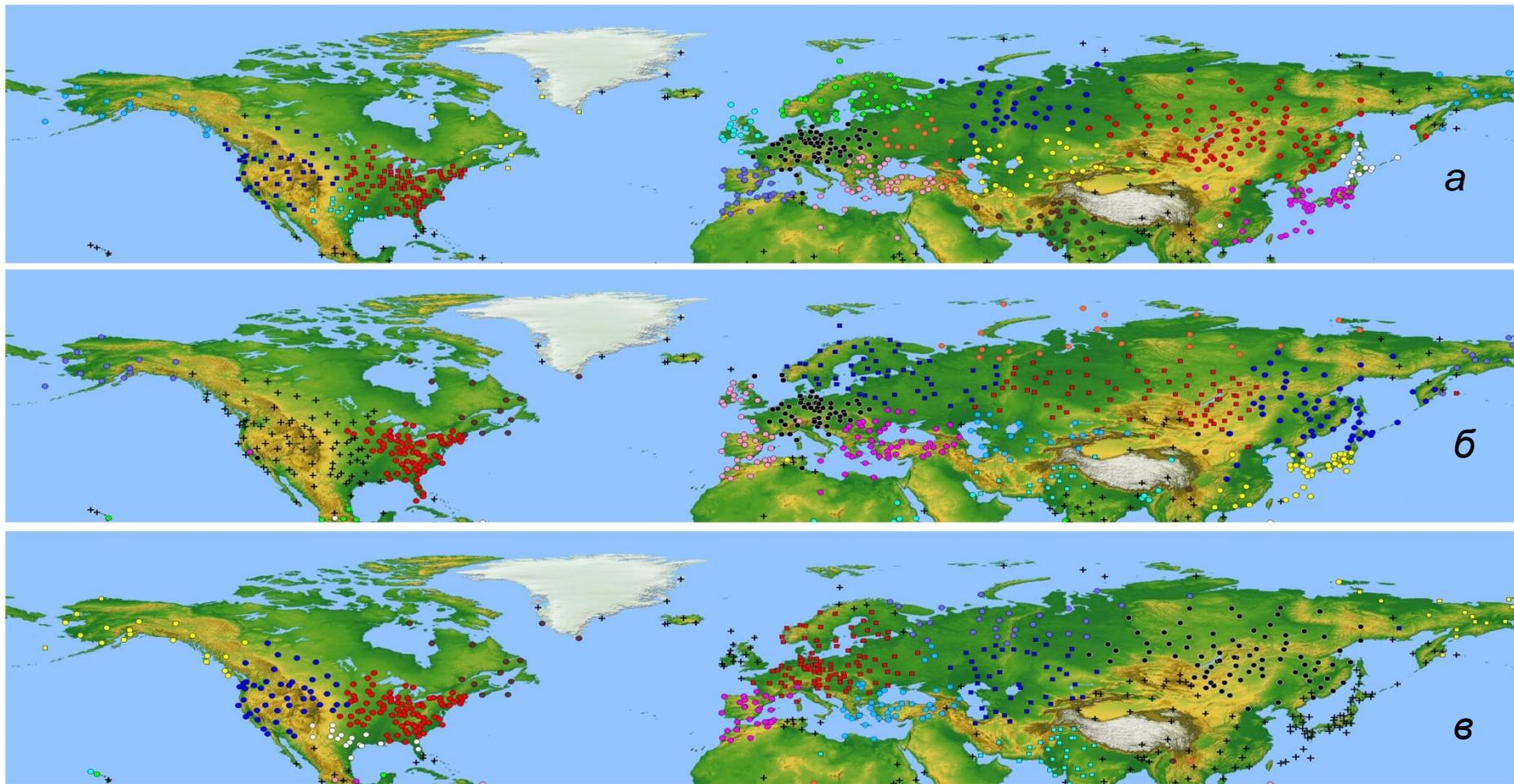


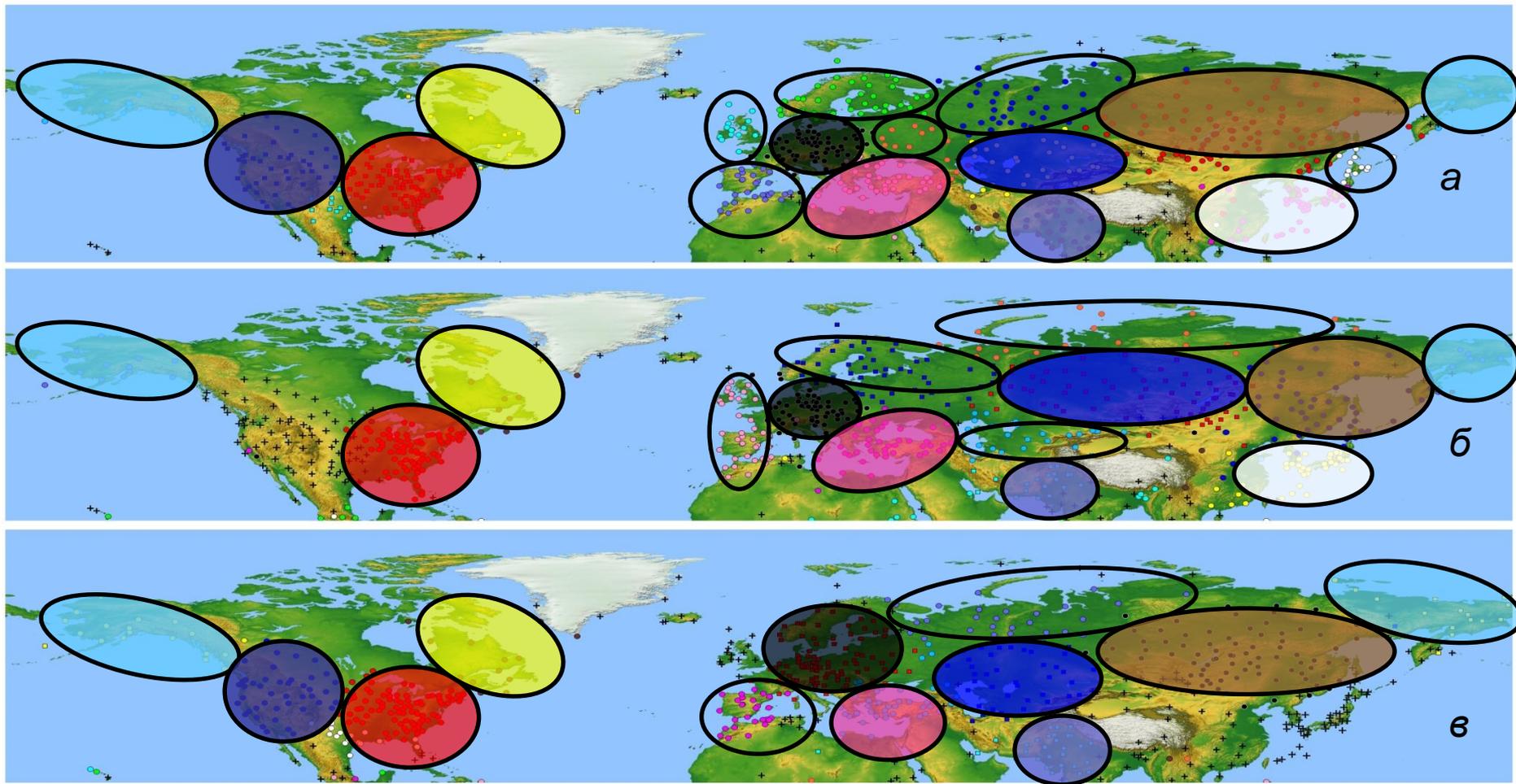
Схема кластеризации поля приземной температуры Северного полушария (1955-2010 гг.) а – по фазам, б – по огибающим. Каждый климатический класс обозначен номером от 1 до 17. Станции, не вошедшие в классы, обозначены символом «+»

Распределение климатических кластеров в разные временные интервалы (фаза)



Временное распределение климатических классов в период с 1955 по 2011 год.
а – 1955-2011 (17 группы); б – 1955-1975 (13 группы); в – 1976-2011 (12 группы)
Значения порогового коэффициента корреляции $r = 0,8$

Распределение элементов климатических кластеров в разные временные интервалы (фаза)



Временное распределение климатических классов в период с 1955 по 2010 год.
а – 1955-2010 (17 группы); б – 1955-1975 (13 группы); в – 1976-2010 (12 группы)
Значения порогового коэффициента корреляции $r = 0,8$

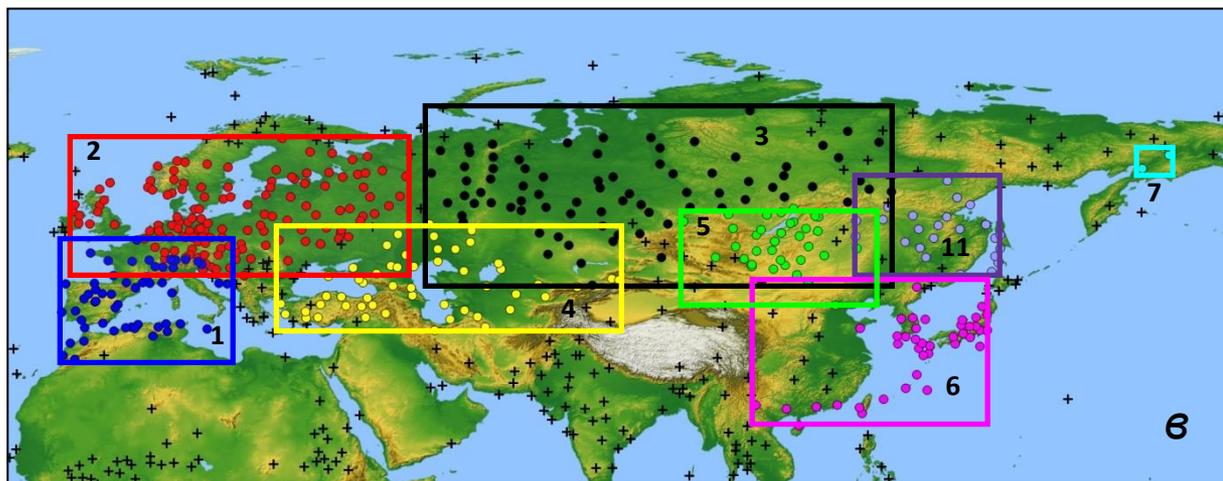
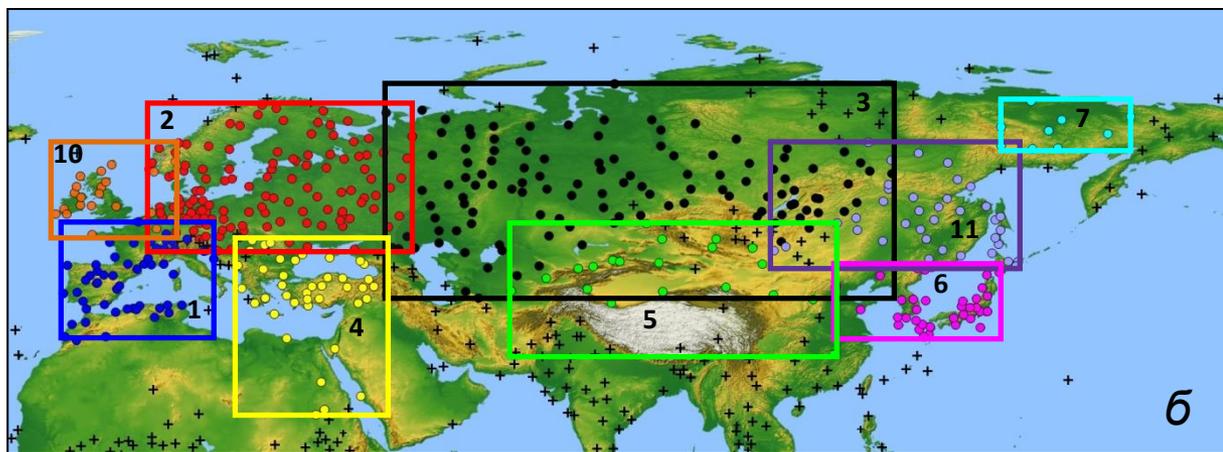
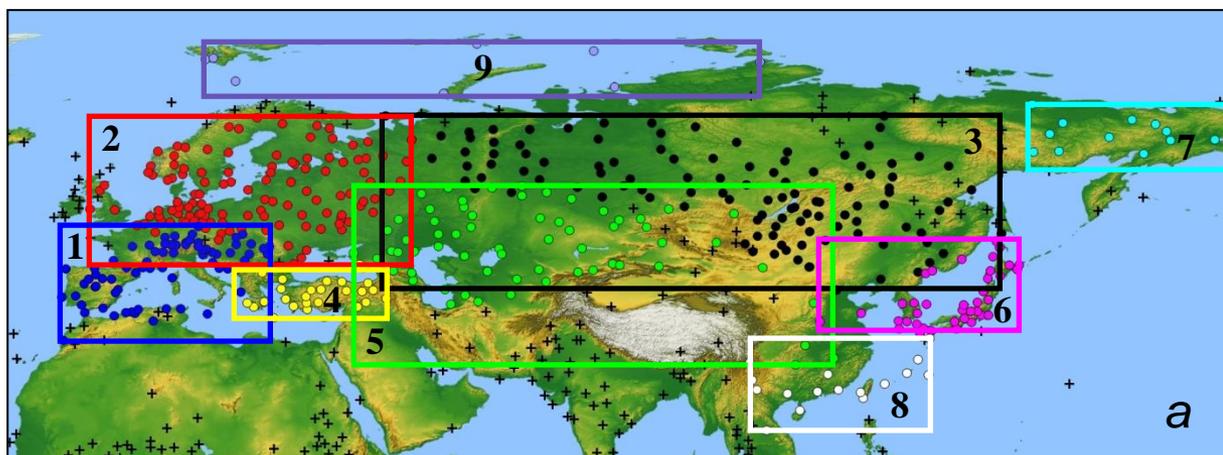
Изменение границ
климатических кластеров
в разные временные
интервалы (огибающая)

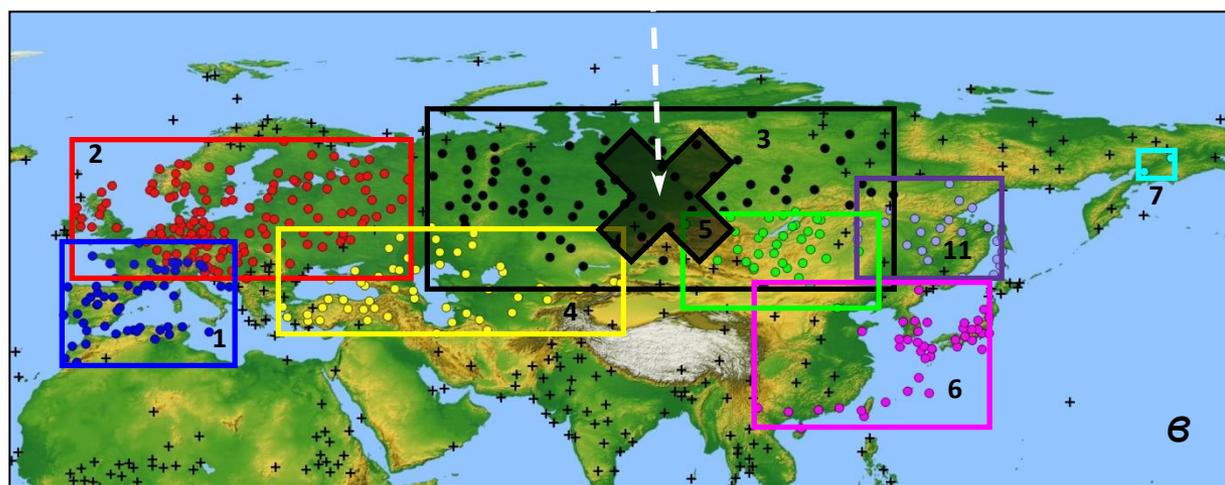
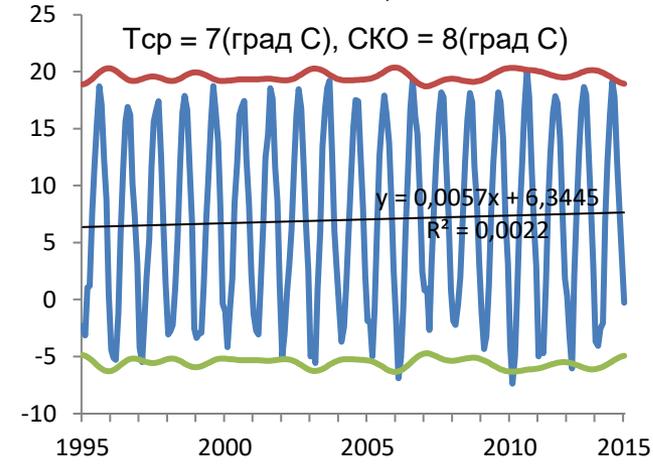
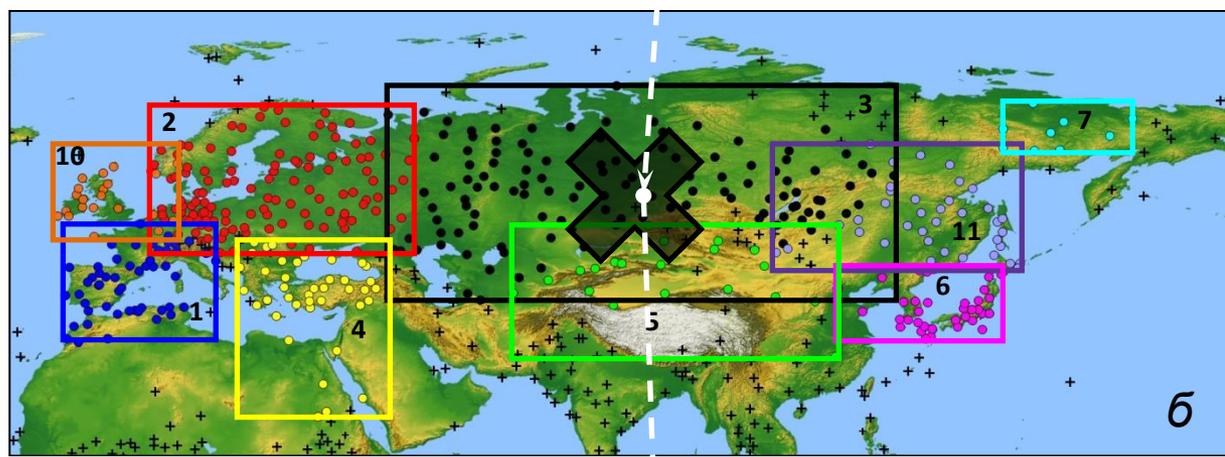
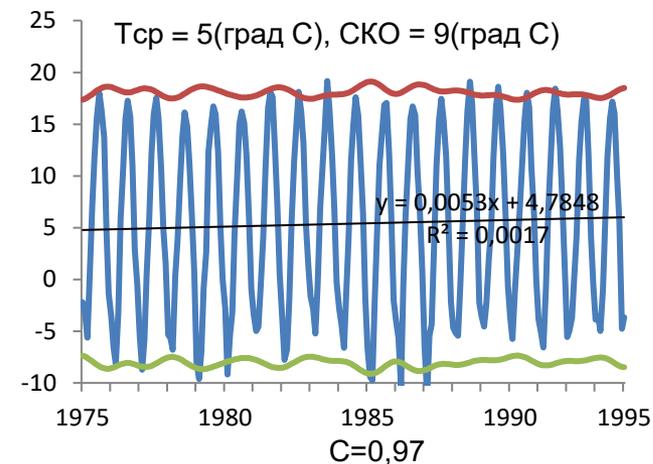
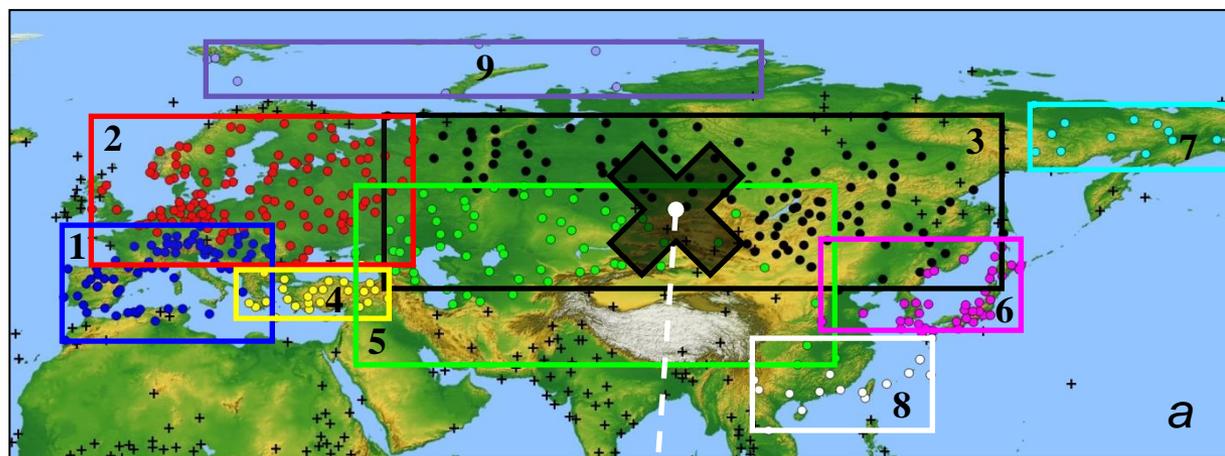
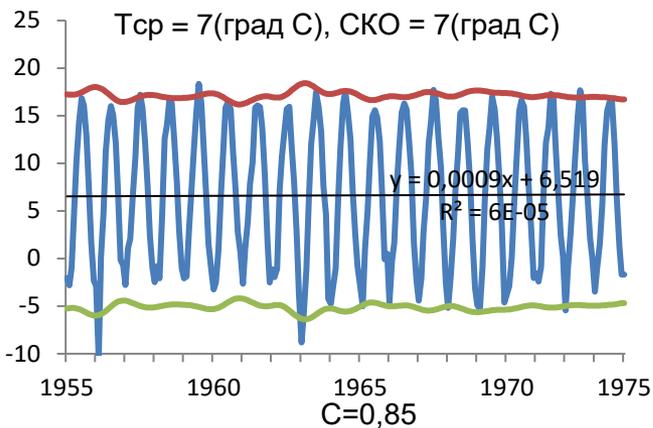
временные периоды:

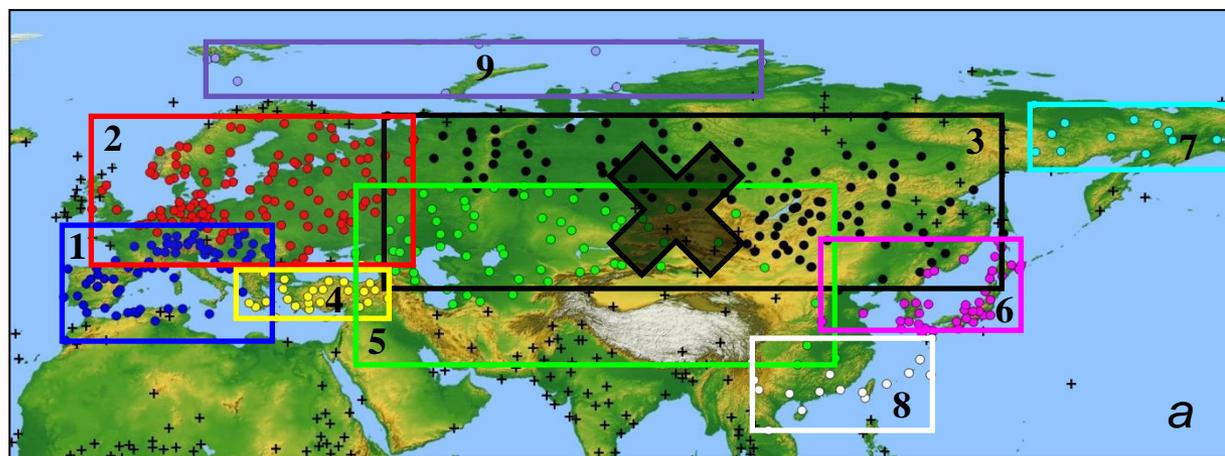
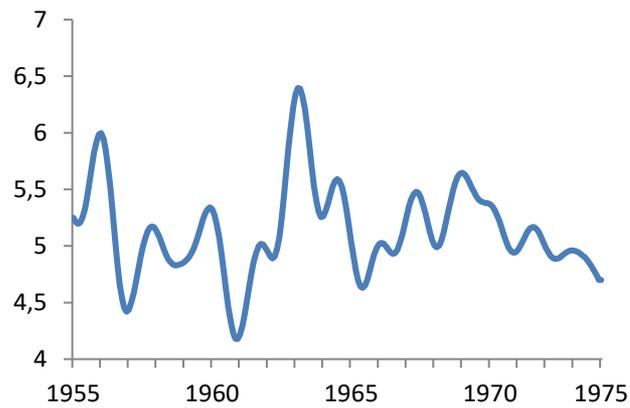
а - с 1955 по 1974 годы

б - с 1975 по 1994 годы

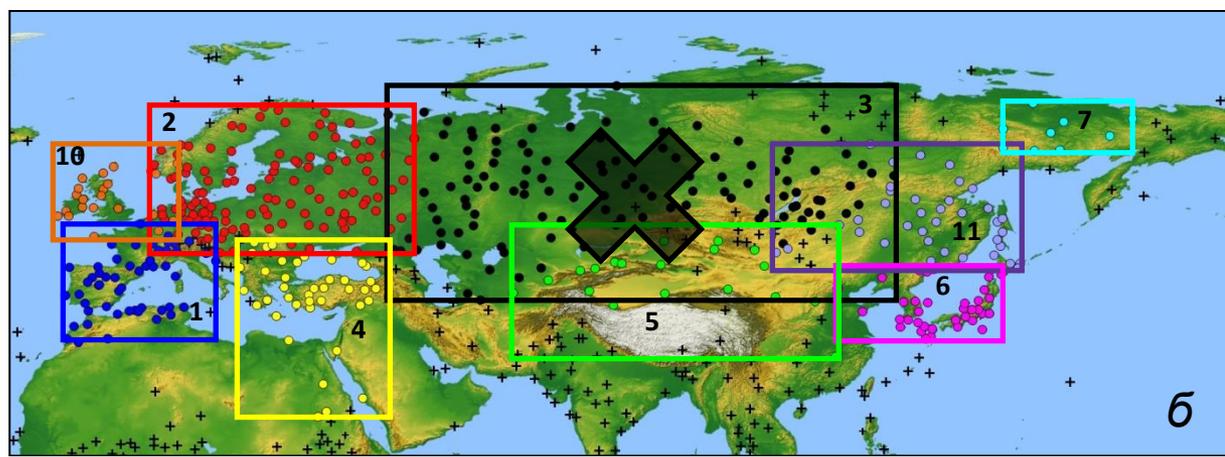
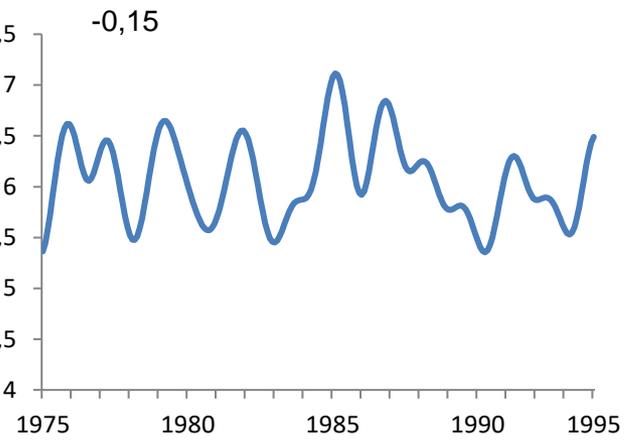
в - с 1995 по 2015 годы



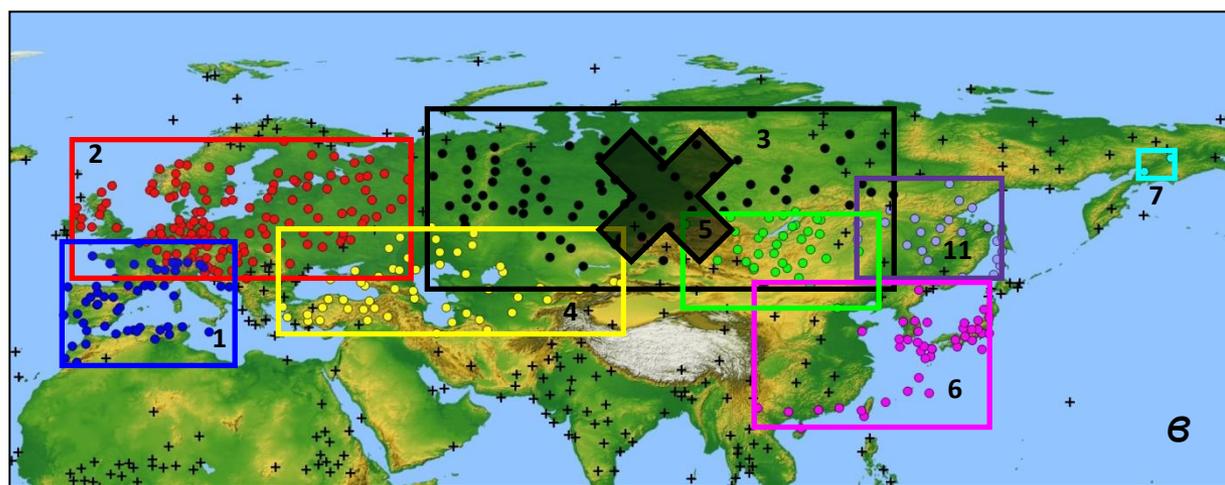
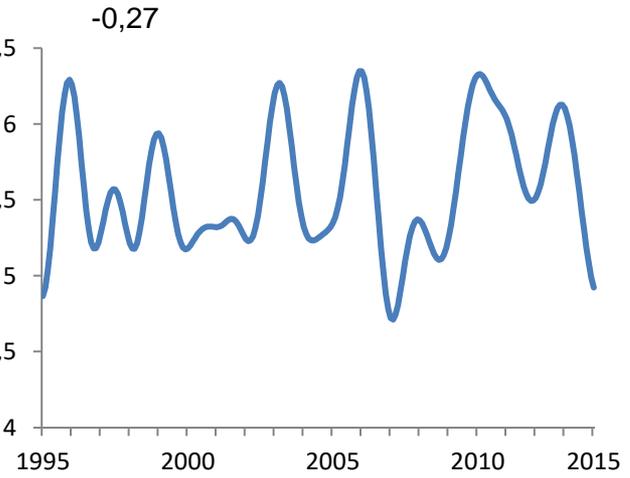




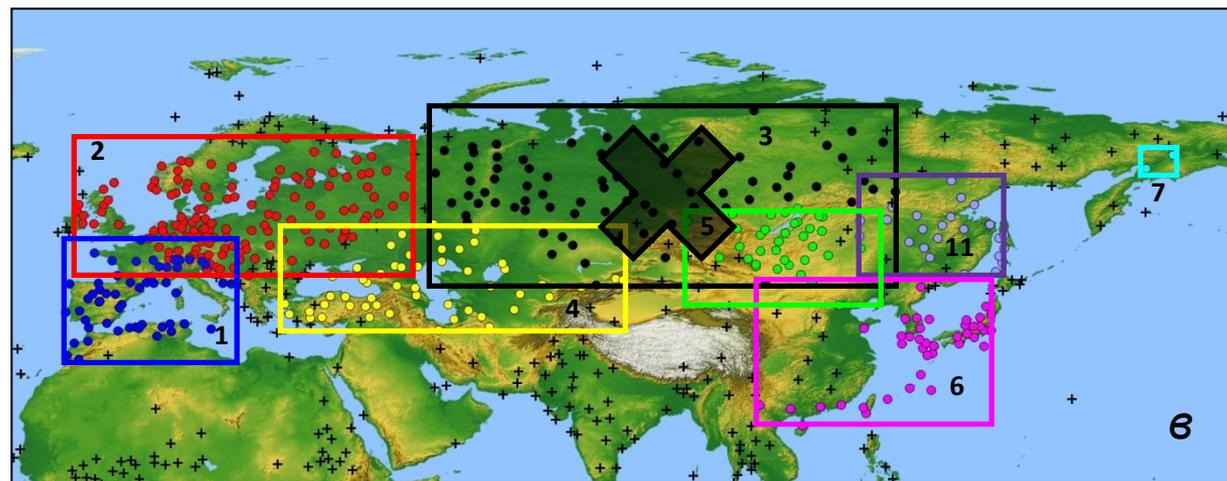
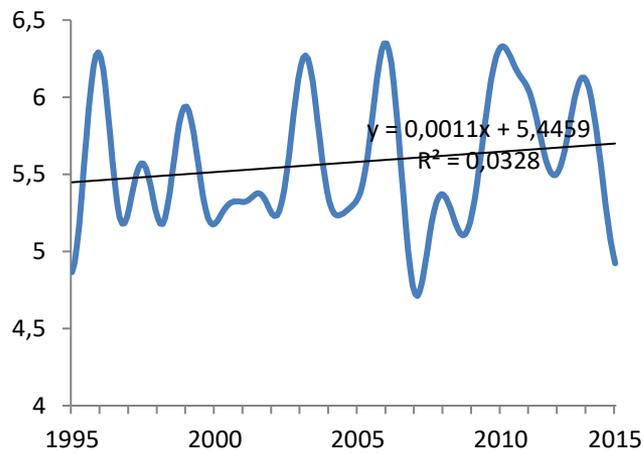
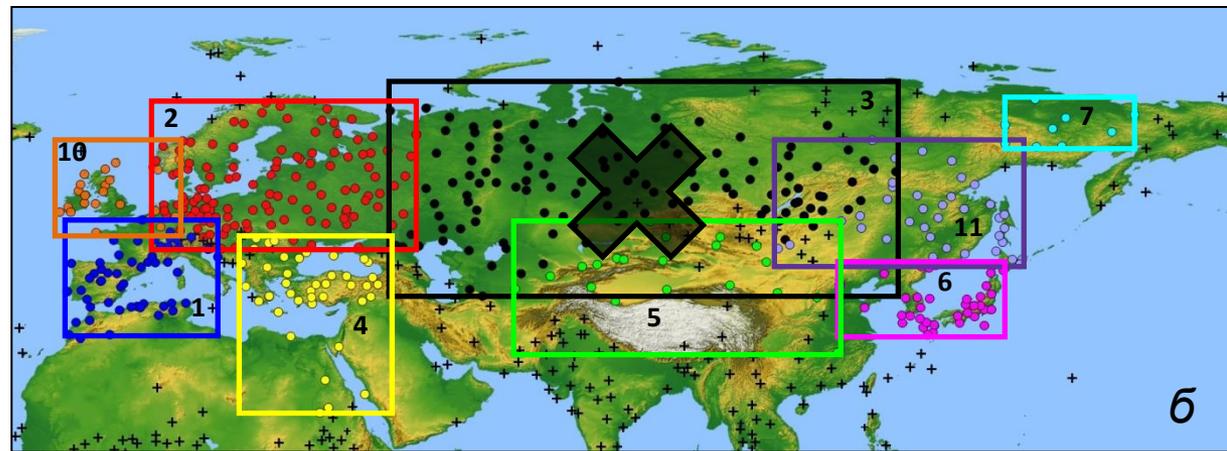
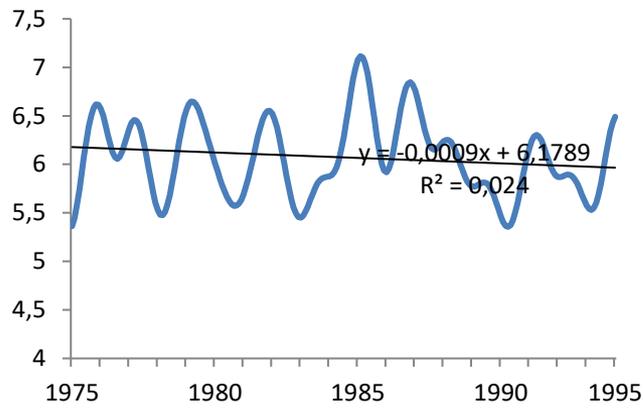
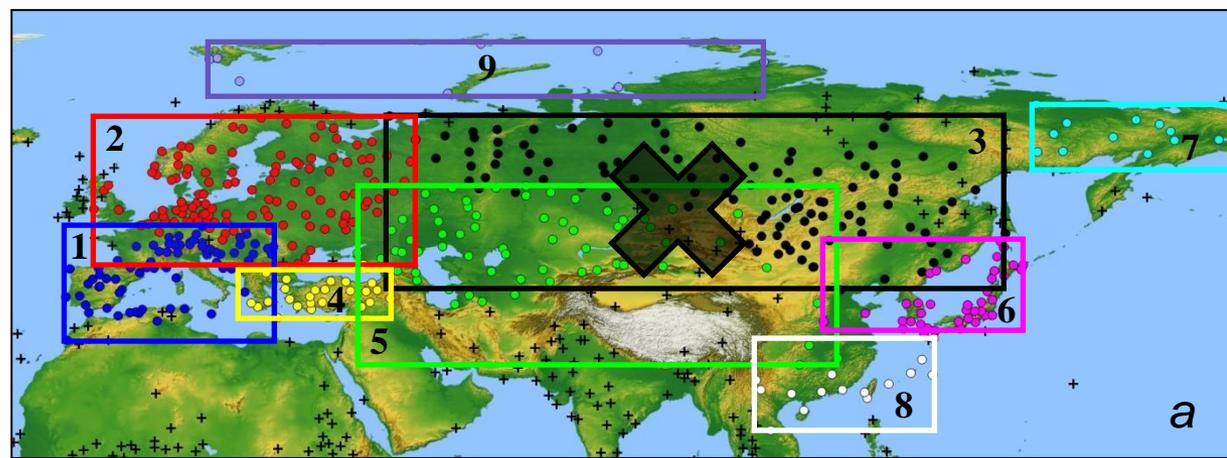
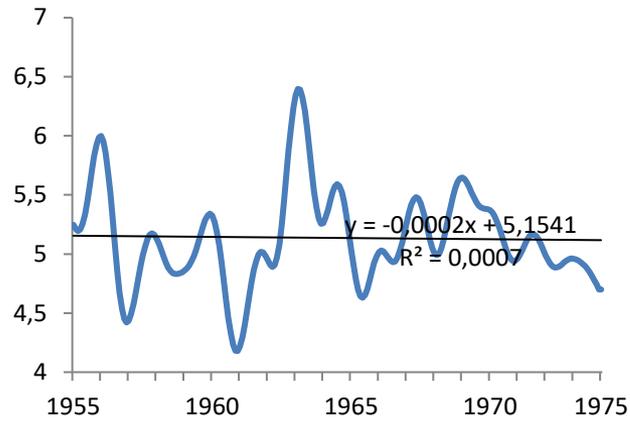
a



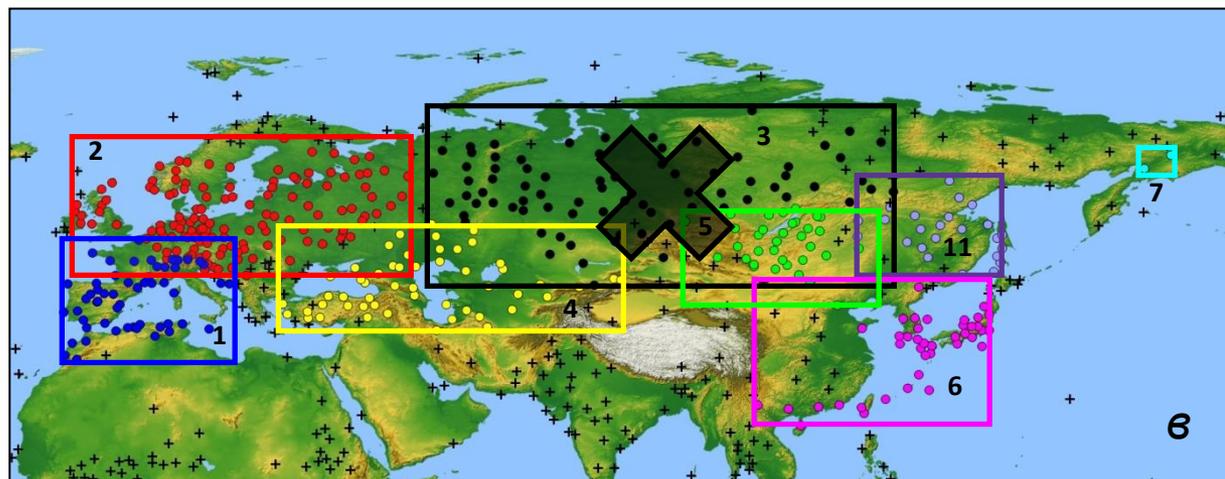
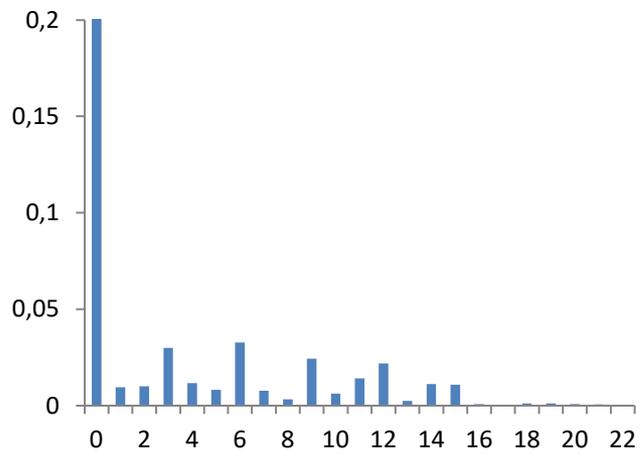
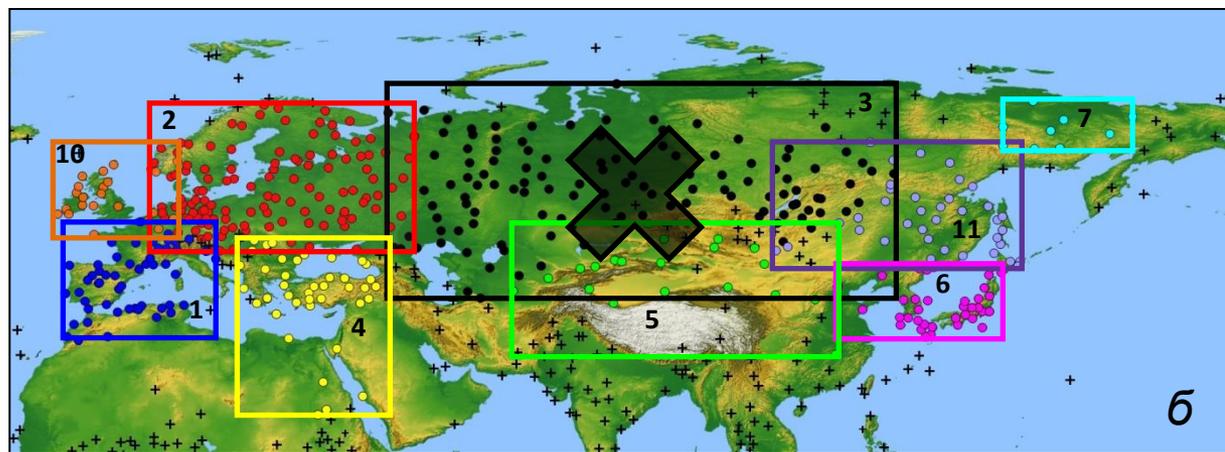
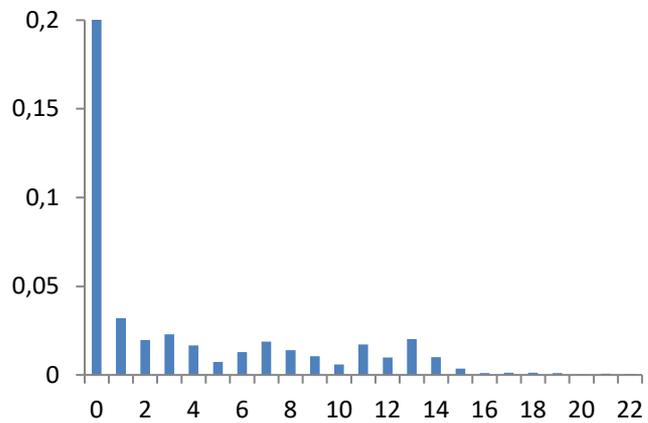
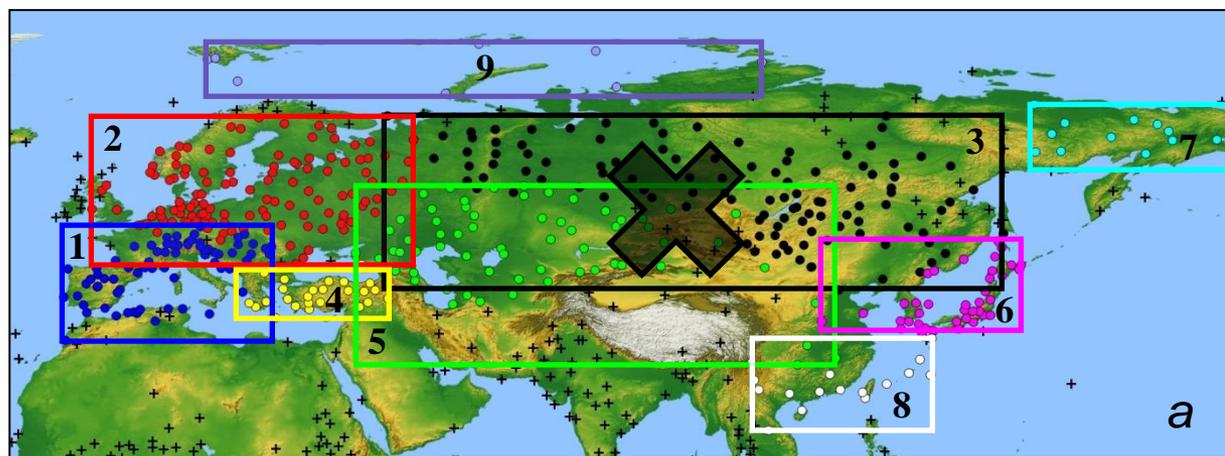
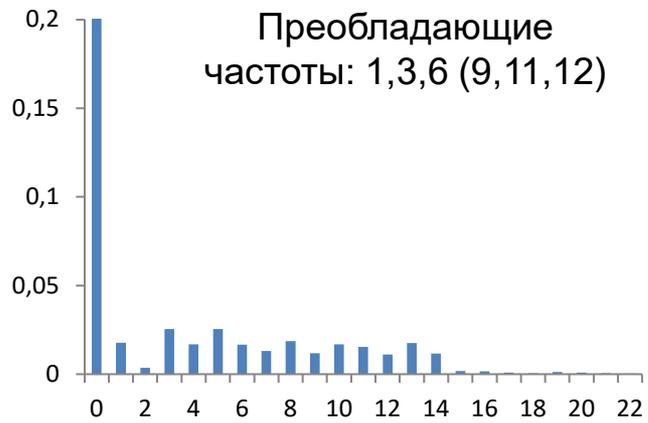
b



b



Преобладающие частоты: 1,3,6 (9,11,12)

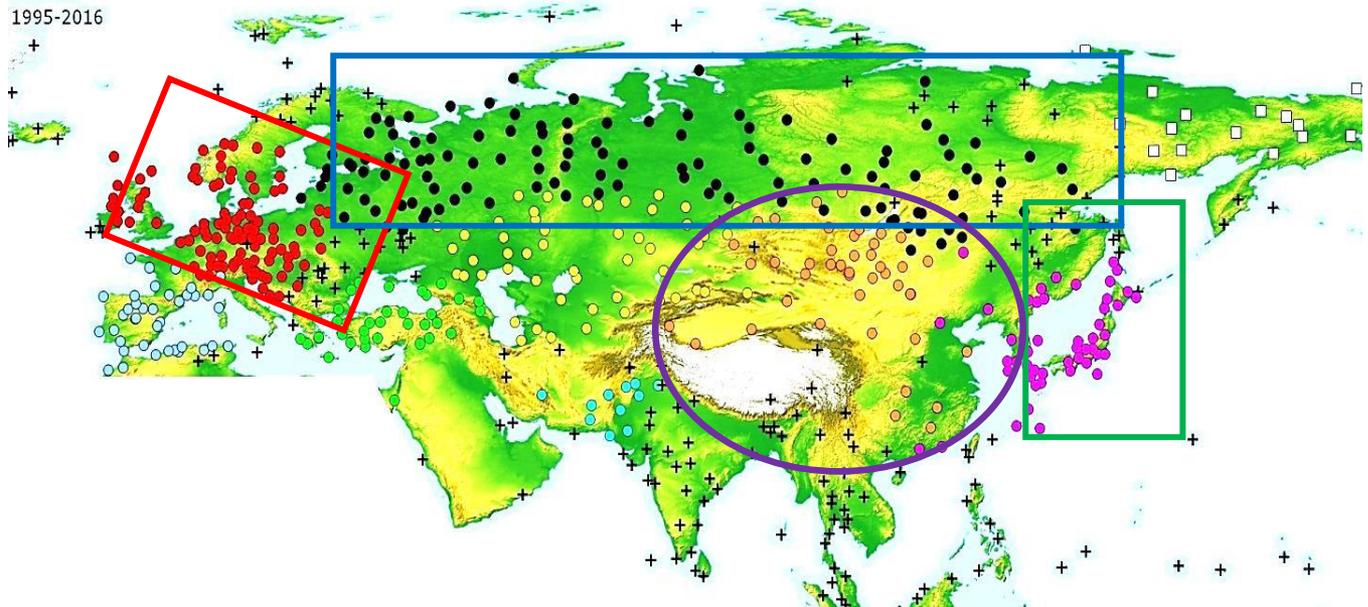
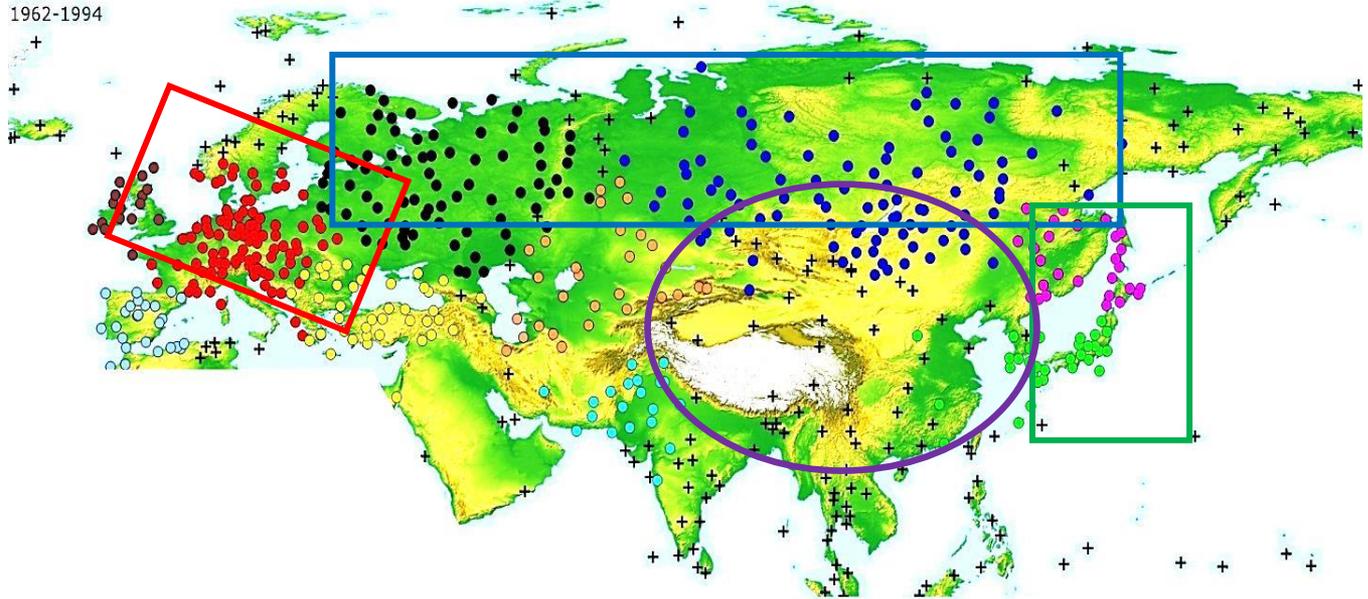


Выводы:

- Предложен формализованный подход климатической кластеризации. Определены ограничения к его применению .
- Различия в климатических кластерах, полученное для разных временных периодов связано с процессами, влияющими на изменениями климатических параметров. Что подтверждает актуальность кластеризации.
- Отклик температурного поля Евразии на особенности теплового режима Северной Атлантики отслеживается в особенностях трансформации структуры климатических классов. Закономерности таких перестроек необходимо исследовать глубже. Возможно, это расширит наше понимание механизмов влияния и реагирования в климатической системе.

Спасибо за внимание!

Климатическая кластеризация для двух периодов устойчивых положительных (1995-2016 гг.) и устойчивых отрицательных (1962-1994 гг.) аномалий температуры поверхности океана в Северной Атлантике



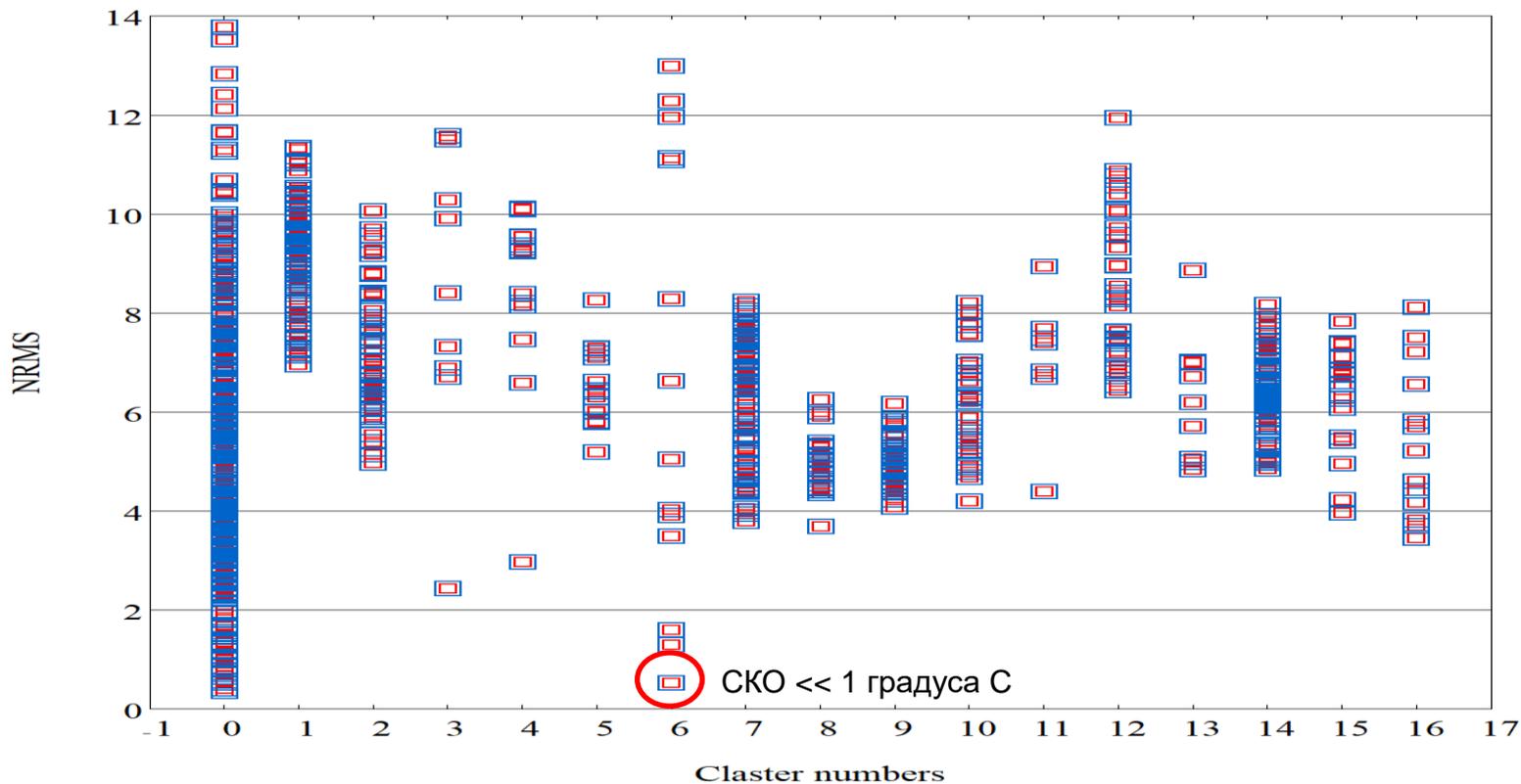
в период устойчивых положительных аномалий температуры поверхности океана Северной Атлантики произошла трансформация, согласованность колебаний приземной температуры увеличилась, произошло укрупнение большинства выделенных классов станций

Результаты расчета стандартного отклонения для каждой группы

Распределение результатов по физико-географическим районам

	Африка		Северная Америка				Европа			Северная Азия				Восточная Азия		
Номер группы:	3	4	12	13	14	15	1	2	5	6	7	8	10	11	9	16
СКО огибающих, °C	0.93	0.82	2.55	1.53	1.16	0.94	1.32	0.88	1.16	0.68	1.76	1.27	1.10	1.72	1.05	1.81

СКО огибающих по кластерам, %

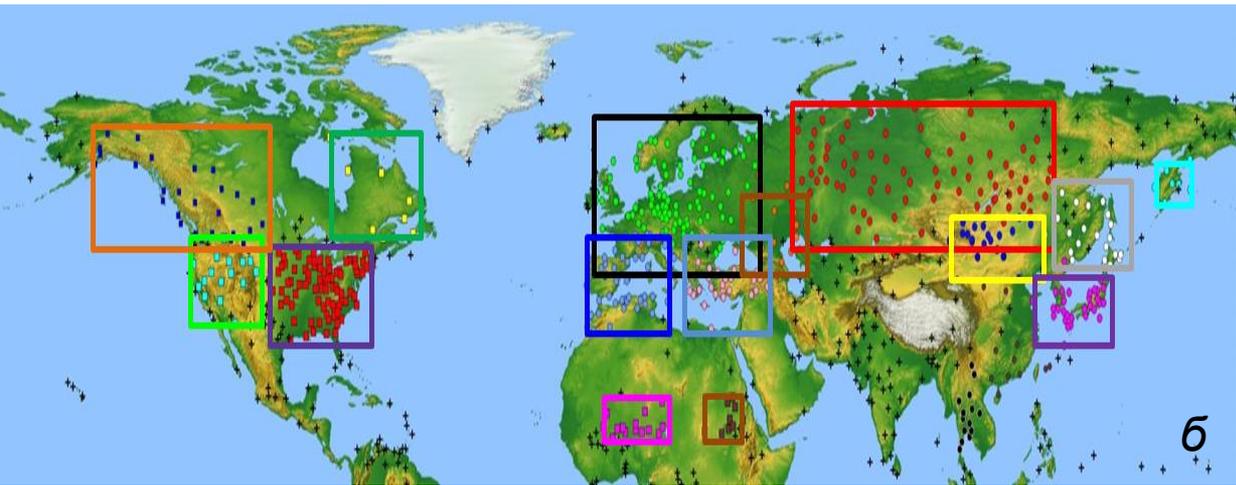
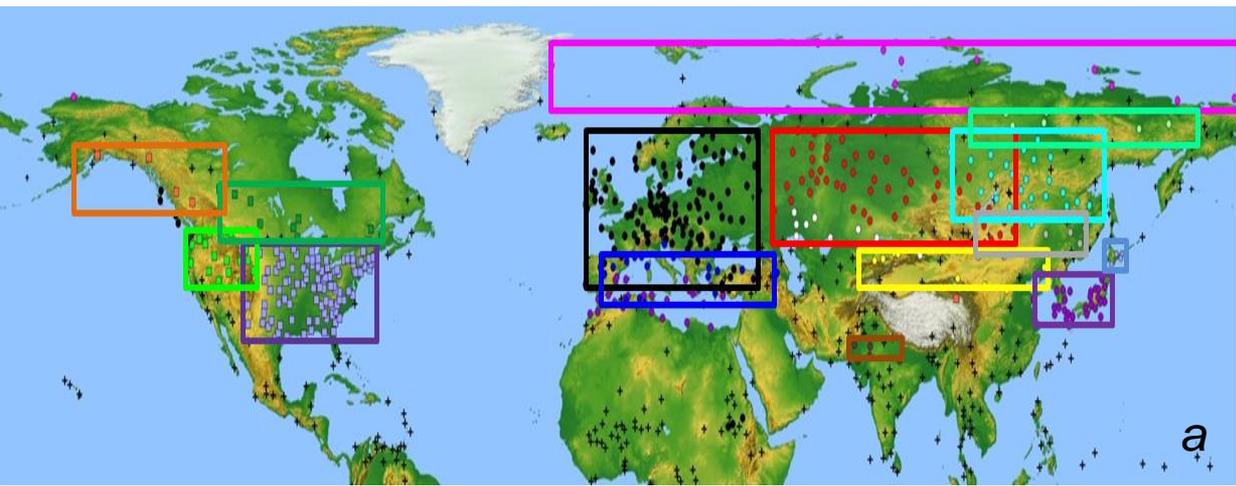


Сравнение результатов двух методов климатической кластеризации

методы:

- а – метод выделения структур
- б – алгоритм динамической кластеризации

Кластеризация выполнена на основе данных по амплитуде температурного сигнала для 818 станций. Временной период с 1955 по 2010 годы



Актуальность

Информация о пространственно-временной изменчивости границ климатических классов востребована в сферах экономики и рационального природопользования.

Цели и задачи исследования

Цель работы – получение и исследование новых климатических характеристик на основе новых подходов в кластеризации климатических данных

Задачи:

1. Выделение из температурных сигналов характеристики пригодных для климатической кластеризации.
2. Исследование особенностей климатической кластеризации и оценки ее устойчивости.
3. Определение границ климатических классов.