

Лаборатория биоинформационных технологий
Лаборатория геоинформационных технологий (ЛГИТ)
ИМКЭС СО РАН г. Томск

ВЫДЕЛЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО СИГНАЛА К ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЯДАМ

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

Актуальность

- Изучение изменений климата является актуальной задачей для получения новых знаний и построения прогнозов.
- Актуальна разработка вычислительных технологий для получения новых знаний о пространственно-временной структуре климатических параметров с выделением регионального аспекта.
- Известно, что изменения климатических параметров и соотношений между ними в разных частях планеты неоднородно и подвержено постоянному изменению.
- Существующее районирование климата, получено для некоторых средних климатических условий, что в отдельных практических задачах имеет ограничения в использовании и требует разработки новых подходов для повышения его достоверности.

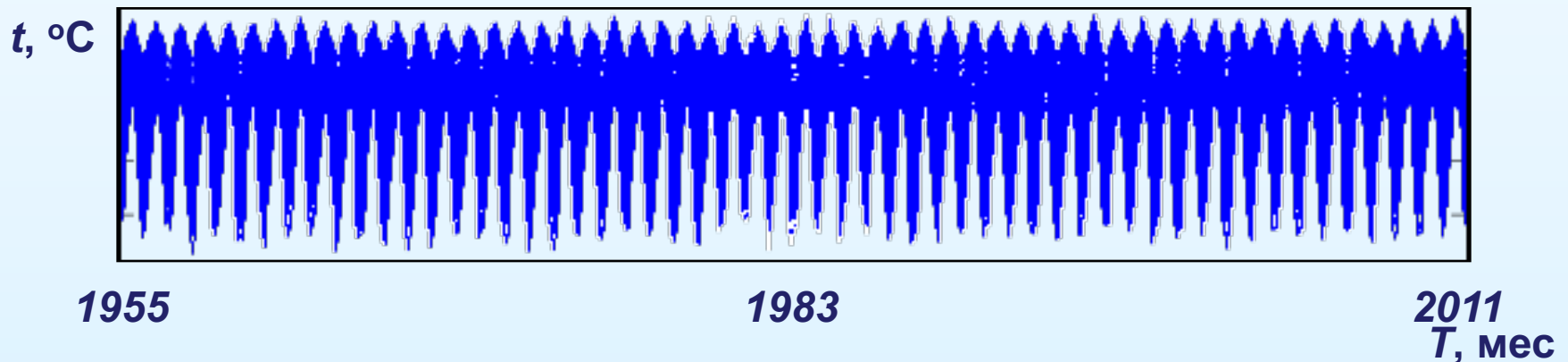
Цели и задачи исследования

Цель - разработать новый подход выделения климатических структур по степени **согласованности** изменений в динамике параметров климата

Задачи:

1. Создать численный алгоритм группировки климатических параметров
2. Построить климатическую классификацию в разных пространственных масштабах

Среднемесячные температуры



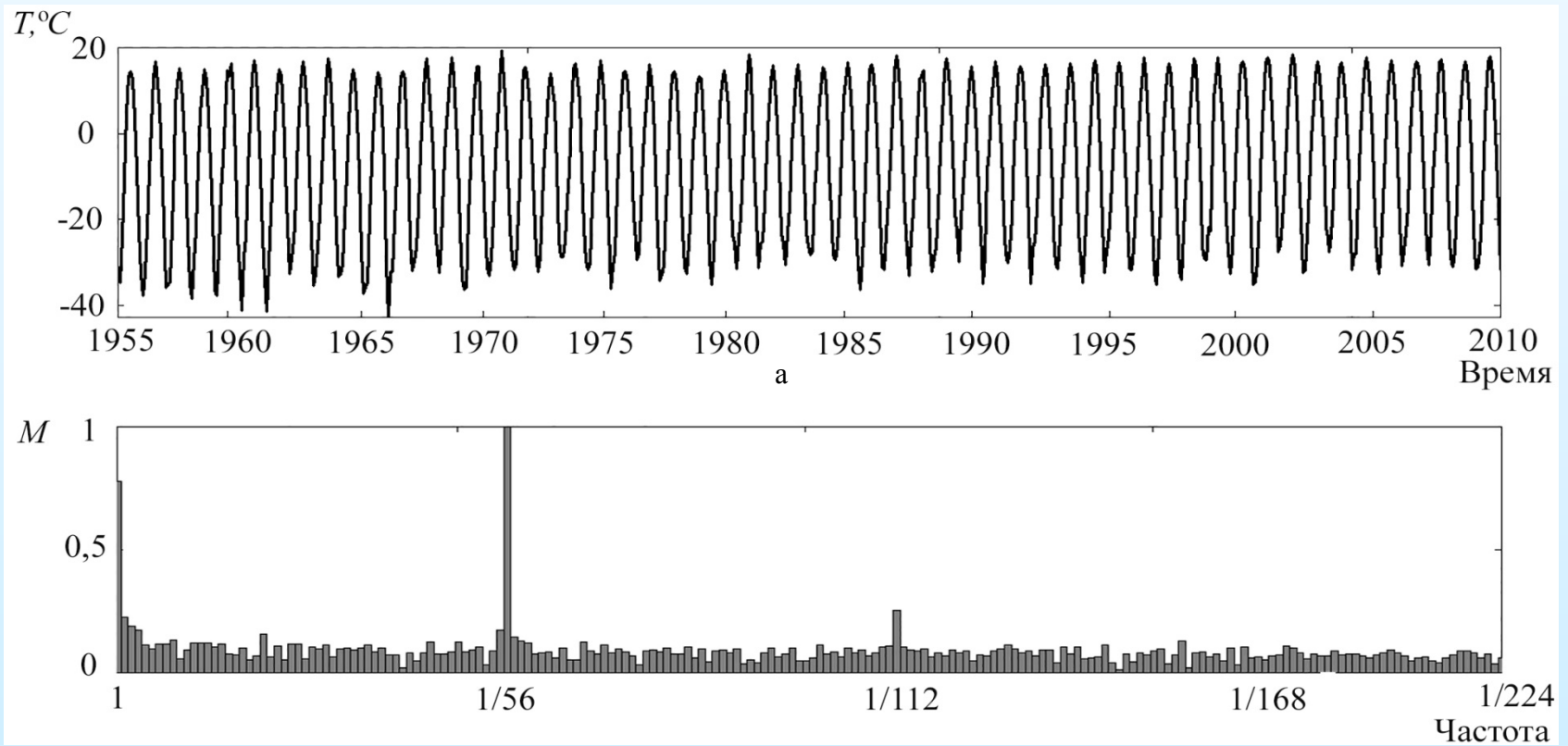
Материалом для верификации алгоритма классификации послужили ряды среднемесячных температур 818 метеостанций Северного полушария за период 1955-2011 гг..

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

(дата обращения 19.06.13)

Температурный сигнал

Метеостанция г.Томск



Колебание температуры

$$T(\tau) = G(\tau) + Y(\tau) + S(\tau) + C \quad (1)$$

$$G(\tau) = A_g \cos(\omega_g \tau + \varphi_g) + y_0 \quad - \text{глобальное}$$

$$S(\tau) = A_s \cos(\omega_s \tau + \varphi_s) + y_0 \quad - \text{сезонное}$$

$$Y(\tau) = A_y \cos(\omega_y \tau + \varphi_y) + y_0 \quad - \text{годовое}$$

C - постоянная

- где
- A - амплитуда,
- φ - фаза, начальная фазы соответствующей составляющей модели (1)

Свойство согласованности (синхронности)

Синхронность или согласованное поведение природно-климатических процессов – их принципиальное свойство, важнейшее следствие солнечно-земных связей.

Процессы на Солнце, движения тел в солнечной системе вносят в изменения параметров разных геосфер Земли циклическую модуляцию, формирующую некоторую согласованность в их динамике.

Внешнее вынуждающее воздействие синхронизирует инициированные им элементарные процессы в геосферах, что позволяет использовать это свойство для разработки алгоритма выделения климатических структур.

Выбор классификационных признаков.

В качестве анализируемой характеристики в исследованиях климата использована фаза рядов данных наблюдений.

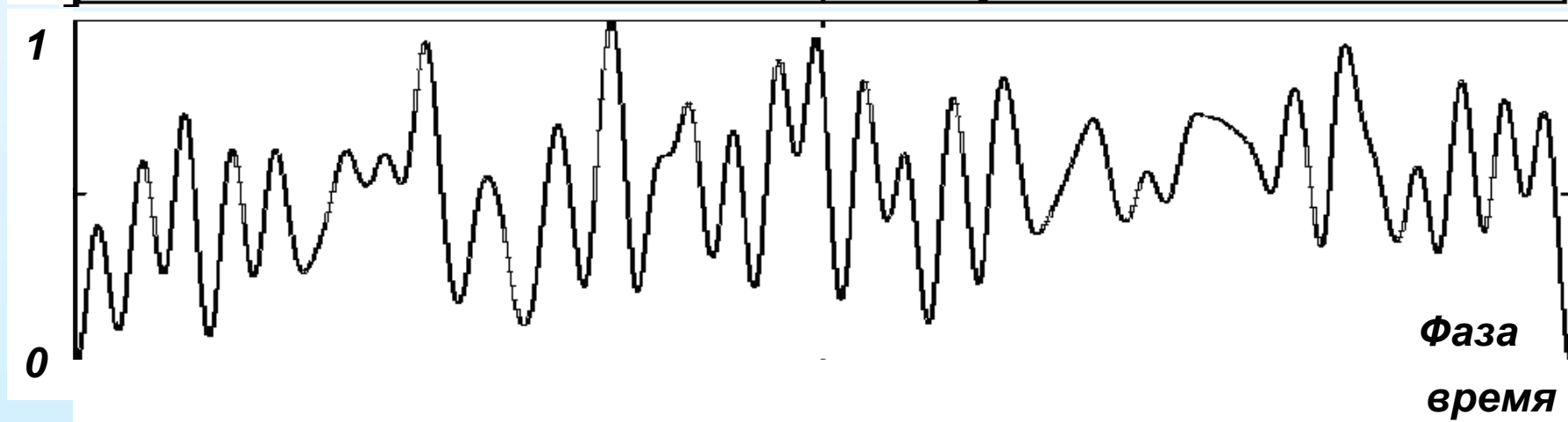
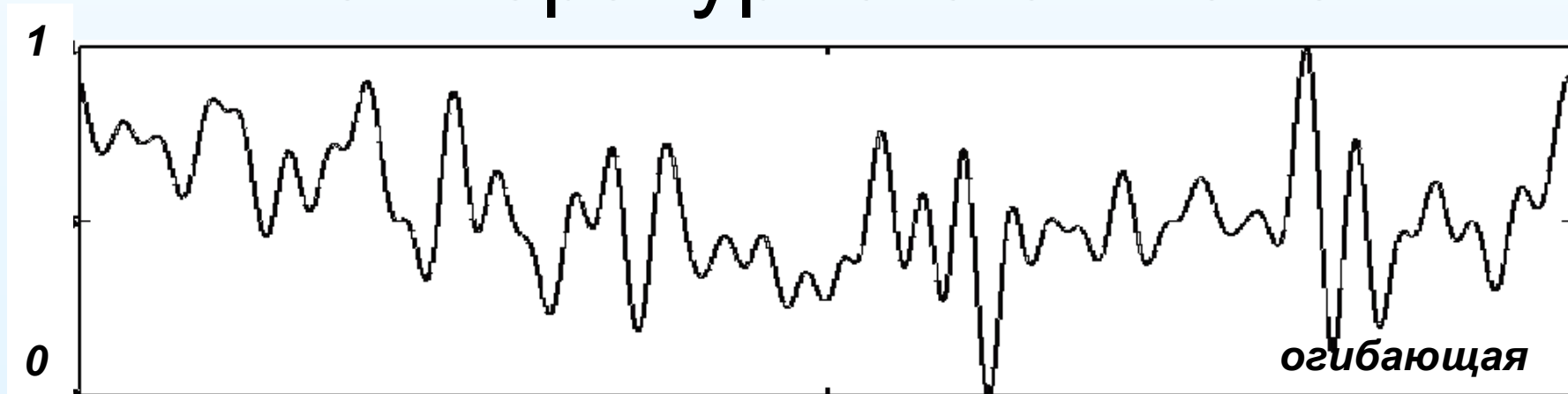
Критерием для выделения структур в полях элементов климата в данной работе выбрано согласованное поведение процессов внутри класса.

Мерой согласованности принят коэффициент корреляции.

Расчеты проводились с использованием пакета Mathcad.

Огибающая и фаза температурного сигнала

Доли



Энергия фазы выше на 1,4 %, СКО фазы выше на 12%

Разработка численного алгоритма группировки

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.

$$1. W(\omega) = T(\omega) + iV(\omega) \quad 2. V(\omega) = \frac{1}{\pi} \text{v.p.} \int \frac{T(s)}{s - \omega} ds$$

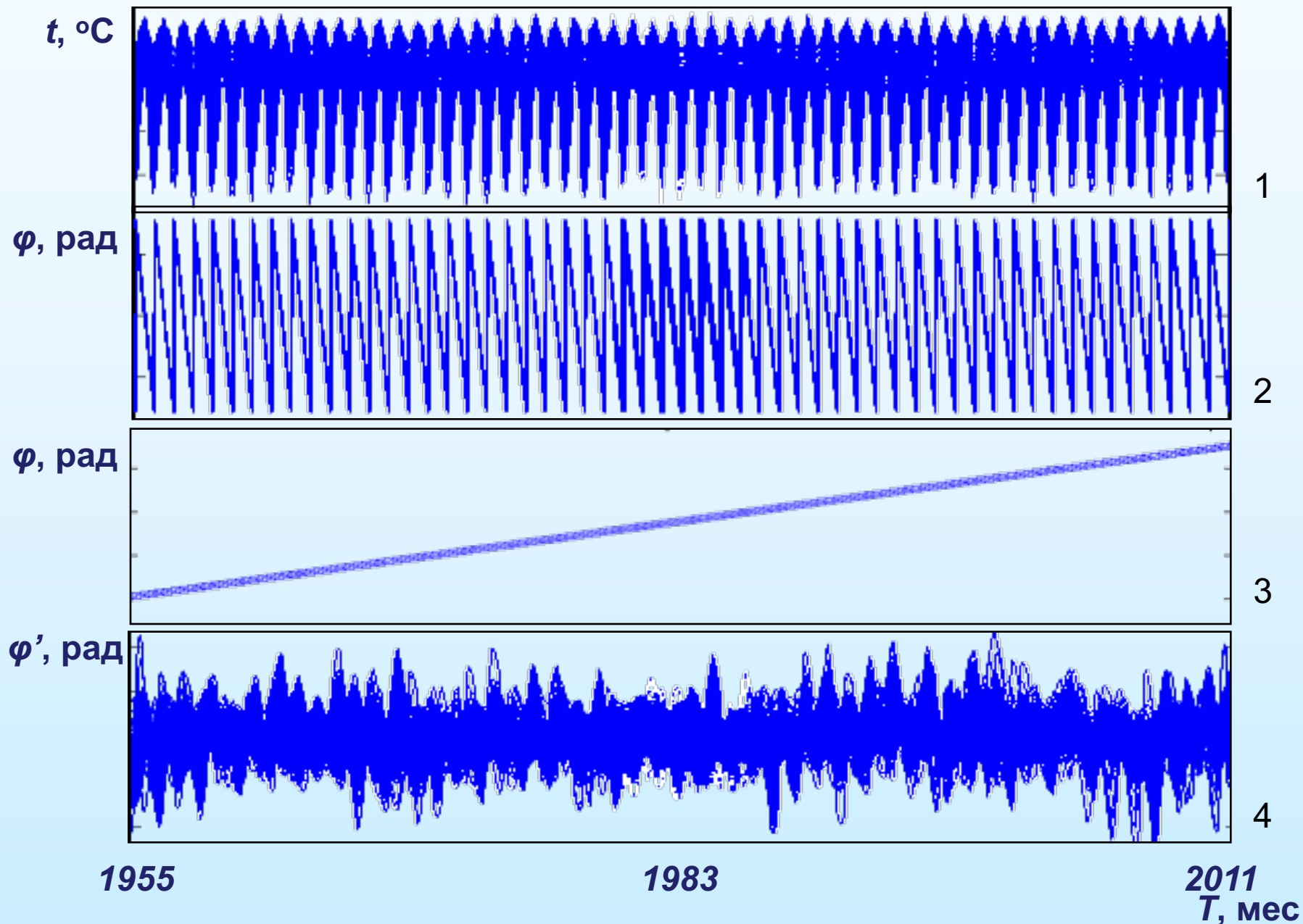
$$3. \phi(\omega) = \arctan \frac{V(\omega)}{T(\omega)}, \quad 4. \phi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{T(\omega)}$$

Нормированный спектр мощности температурного сигнала за 56 лет



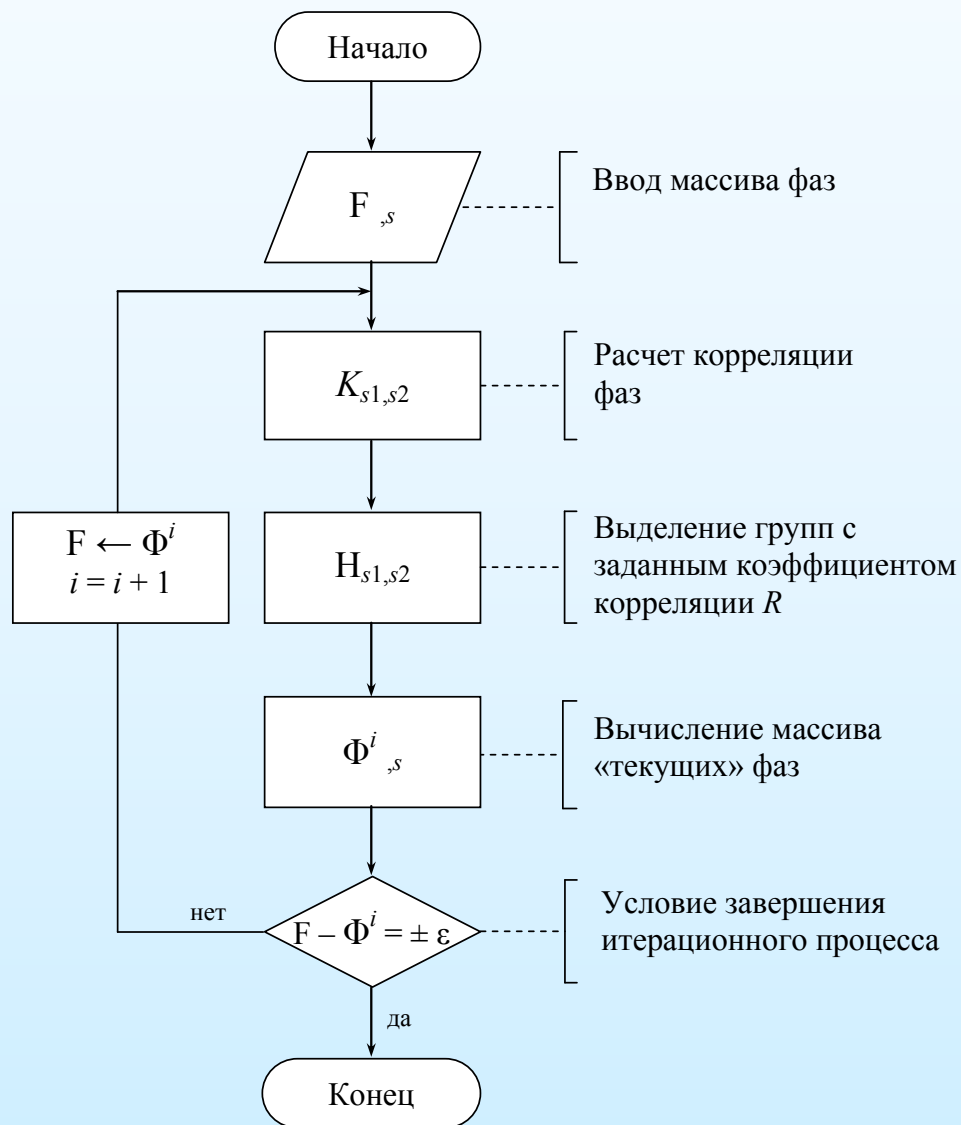
Нормированный спектр мощности 818 температурных рядов по оси ординат в степенном масштабе с показателем $1/2$. Представлены начальные 280 отсчетов из 2048. Синим цветом выделен интервал, используемый для вычисления фазы. По оси абсцисс, на частотах, кратных $1/56$ доли интервала наблюдений, различимы пять мод, связанных с фазовой модуляцией

Расчета фазы на основе теории АС



Алгоритм фазовой 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



Типовые фазы

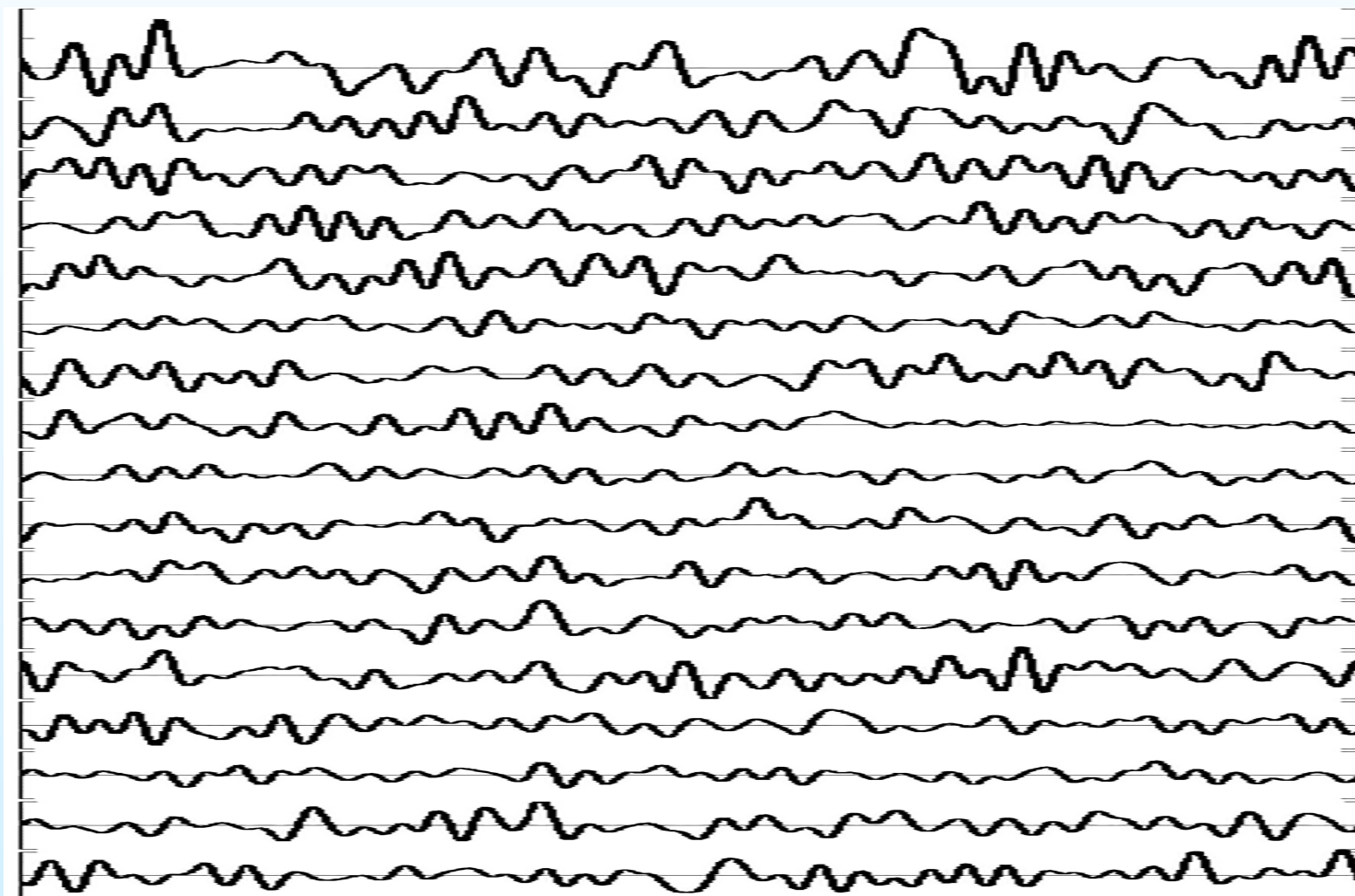
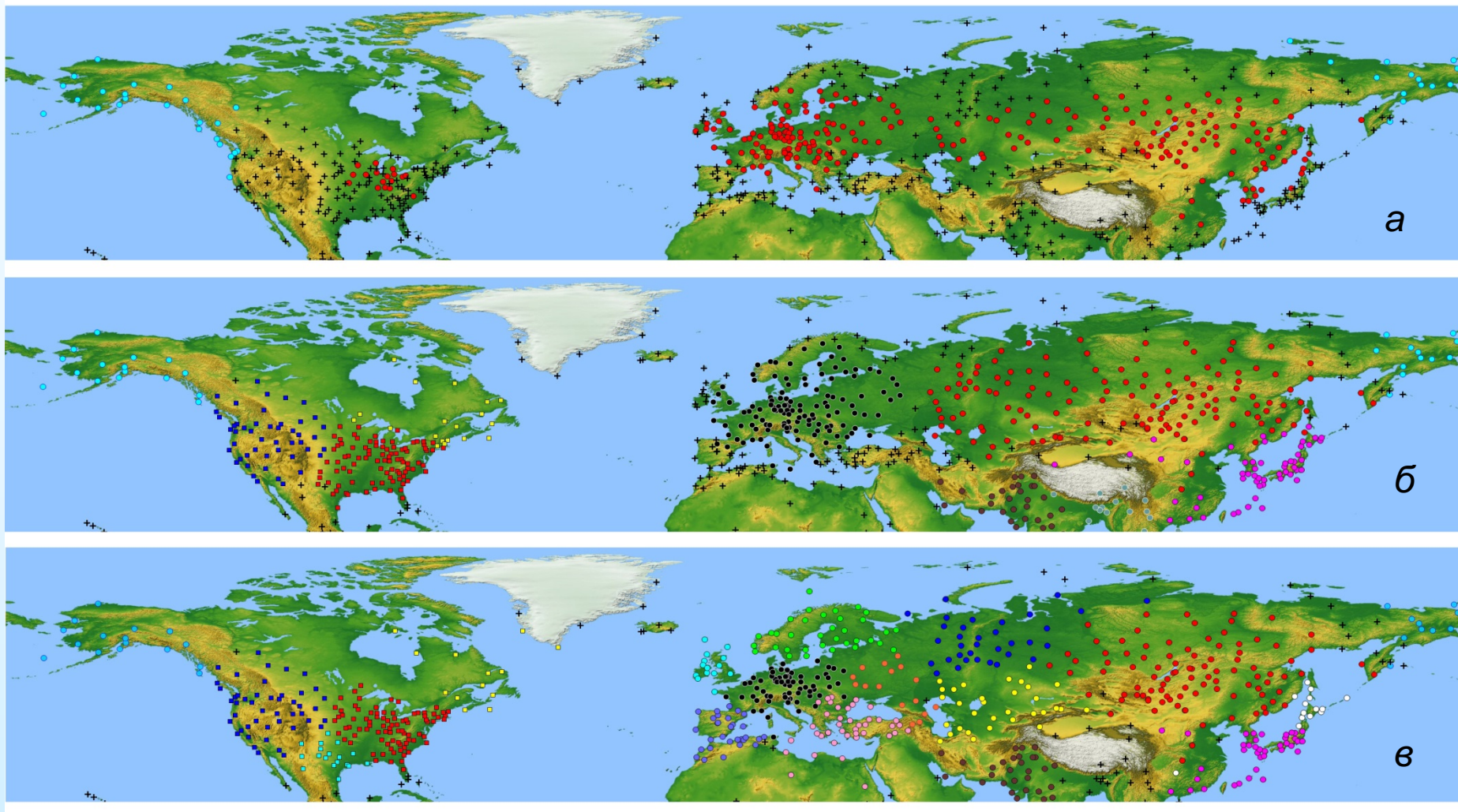


Рис. Типовые фазы, расположены сверху вниз, соответствующие 17 выделенным климатическим классам. Горизонтальные линии проведены с шагом 0,2 рад.

Карты региональной климатической группировки



Пространственное распределение климатических классов в период с 1955 по 2011 год.

Значения порогового коэффициента корреляции r фаз внутри класса:

а – 0,4 (2 группы); б – 0,6 (8 группы); в – 0,8 (17 группы).

Станции, входящие в класс, обозначены маркерами одного цвета.

Оценка структуры полей температур

Для разных пороговых значений коэффициента взаимной корреляции r получено пространственное распределение метеостанций, фазы температурных рядов которых имеют наиболее тесную связь с найденной типовой фазой т.е. выделены **искомые климатические классы**.

При повышении порогового уровня взаимной корреляции r увеличивается степень дифференциации в структуре климатического поля, начиная от **2-х** классов при $r = 0,4$ до **17-и** классов при $r = 0,8$.

Этот результат позволяет отслеживать влияние факторов различного масштаба в формировании климатических структур.

Внутри мелких групп остается связь с более крупными структурами, выделенными по меньшему порогу взаимной корреляции.

С увеличением подробности разбиения на классы проявляется большее влияние региональных факторов, но каждый класс несет информацию и глобальных составляющих сигнала.

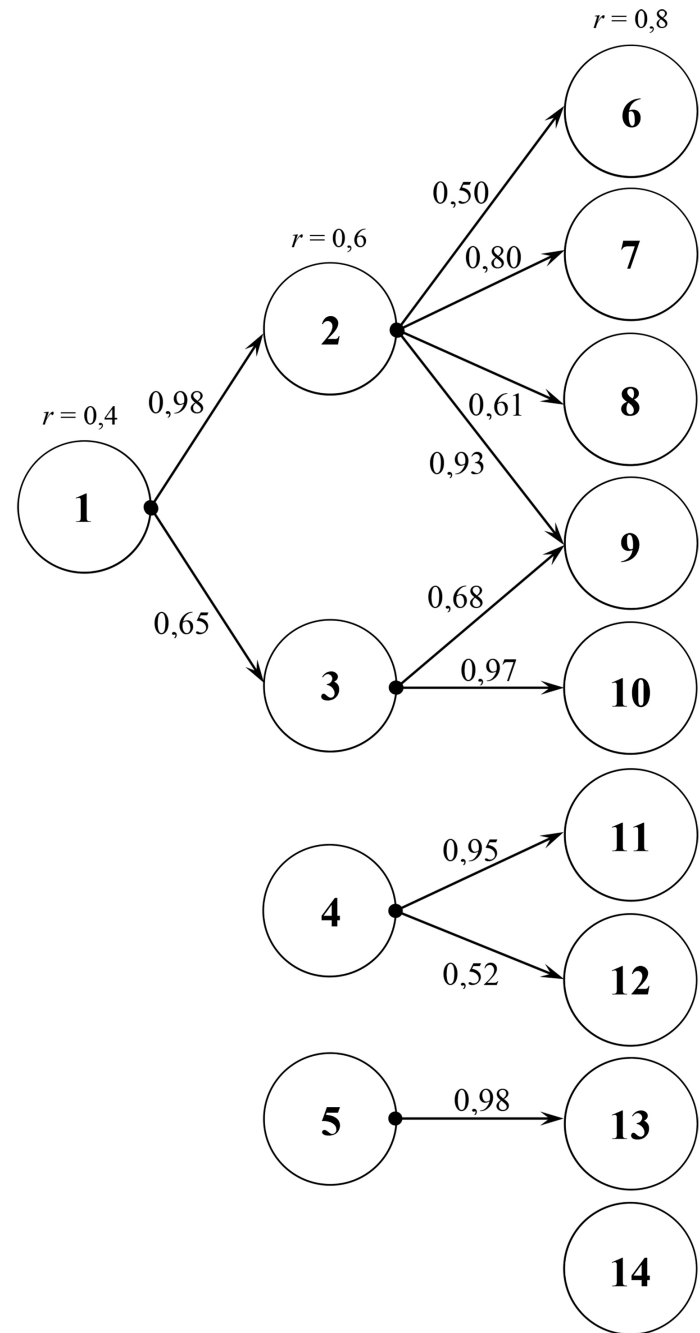
Проведенный анализ показал, что синхронное поведение фаз температурных рядов в пределах выделенных зон поддерживается в значительной степени общегеографическими факторами: особенностями ландшафтной структуры подстилающей поверхности согласно закономерностям климатической компоненты разной степени дифференциации.

Взаимосвязь между классами

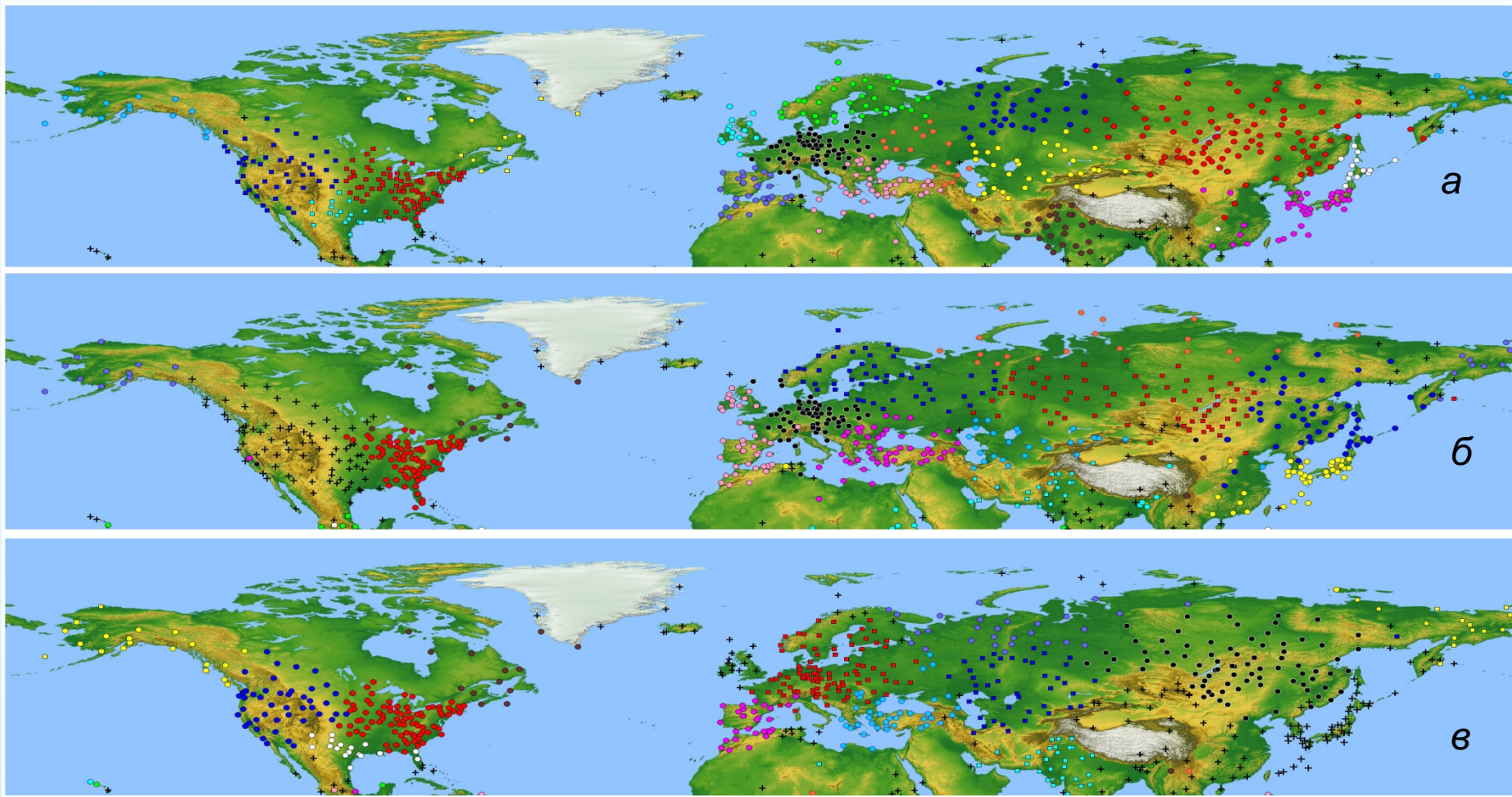
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	1																
2	0.01	1															
3	0.30	0.14	1														
4	-0.16	-0.07	0.01	1													
5	0.33	-0.12	0.06	-0.21	1												
6	0.12	0.03	0.42	-0.05	0.27	1											
7	0.56	-0.01	0.05	-0.01	0.39	0.26	1										
8	0.39	0.13	0.40	0.29	-0.01	0.16	0.43	1									
9	0.20	-0.38	0.18	-0.14	0.10	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	0.10	0.44	0.25	0.36	0.10	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	0.10	-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

Схема генетической связи климатических классов

Генетическая связь климатических классов при различных порогах корреляции: $r = 0,4$ – класс №1, $r = 0,6$ – классы №2 – №5, $r = 0,8$ – классы №6 – №14. На стрелках указаны коэффициенты корреляции между типовыми фазами соответствующих классов



Временное распределение климатических классов



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 $r = 0,8$

Индекс фазовой модуляции

Малая величина ошибки обусловлена модуляцией, близкой к гармонической. Большое значение ошибки может говорить о наличии более сложного закона фазовой модуляции и особенностях подстилающей поверхности.

Модуляция, наиболее близкая к гармонической, выявлена в районе Североатлантического термогалинного конвейера (классы №№ **16, 13**) – центральная линзообразная масса теплой соленой воды (Саргассово море)

Средняя широта климатического класса	n	m	Ошибка, %
30.15	17	0.7762	15,40
30.91	16	0.3372	10,85
34.41	15	0.4295	55,49
38.39	14	0.3346	30,54
38.85	13	0.6406	9,45
39.23	12	0.2893	37,16
45.05	11	0.3380	55,12
45.56	10	0.4843	22,98
46.34	9	0.4795	33,94
49.34	8	0.5053	62,27
49.44	7	0.2390	45,21
53.82	6	0.3278	32,72
55.15	5	0.3801	20,72
56.16	4	0.3617	57,79
59.67	3	0.3325	57,28
61.16	2	0.4330	39,46
63.28	1	0.2643	40,77

Заключение:

- Впервые введена в рассмотрение фаза температурных рядов.
- Разработан алгоритм фазовой группировки позволяющий проводить районирование территории с разным пространственным масштабом.
- Естественное происхождение фазовой модуляции подтверждено совпадением известных представлений о географии климата с климатическими классами, выделенными путем формирования типовых фаз в итерационном процессе.

Спасибо за внимание!