

## АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ, ОПТИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КЛИМАТ

УДК 551.581.2/551.585

# Классификация климата путем анализа фазы температурных рядов

В.А. Тартаковский, В.А. Крутиков, Ю.В. Волков, Н.Н. Чередыко\*

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН  
634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3*

Поступила в редакцию 26.03.2015 г.

Анализ рядов температуры приземного слоя атмосферы, полученных на метеостанциях Евразии, выполненный с использованием аналитического сигнала, является предметом данной статьи. Климатические классы выделяются путем сравнения фазы температурного ряда с оценкой типовой фазы в итерационном процессе. Данная вычислительная технология впервые применена для изучения климатических процессов. Новый подход является информативным и соответствует известным представлениям о географии климата. Подтверждается, что фазировка и синхронность являются существенными особенностями климатических процессов на Земле.

*Ключевые слова:* аналитический сигнал, фаза температурных рядов, климатические структуры, Евразия; *analytic signal, phase of temperature series, climatic structures, Eurasia.*

### Введение

Анализ структуры климатических полей (районирование, классификация и т.п.) направлен на выявление закономерностей формирования различных типов климата в глобальной климатической системе. С другой стороны, определение территориальных границ типов климата, различных по своим свойствам, позволяет организовывать накопленные к настоящему времени значительные объемы климатических данных в небольшое число информационных структур. Мы предлагаем оригинальный метод классификации климата, позволяющий решать обе задачи в любых пространственных и временных масштабах.

Изменение элементов климата и соотношений между ними в различных регионах может приводить к пространственно-временным изменениям в структуре климатических полей. Классическое районирование климата [1–3], полученное для некоторых средних климатических условий, в период доказанных климатических изменений не в полной мере обеспечивает социально-экономические потребности населения и не способствует решению задачи повышения эффективности моделирования климатических ситуаций. Таким образом, научная и практическая значимость любой климатической классификации, позволяющей исследовать в динамике региональные особенности изменения глобального климата, — бесспорна.

В задаче классификации климата важнейшим этапом является физическое обоснование принципа ее осуществления. Одна из наиболее используемых в мире классификация Кёрпера [1] основана на количественных критериях тепловлажностного режима с учетом ландшафтных особенностей территории, классификация климата Берга [2] — на учете ландшафтно-географических зон суши. Границы климатических зон в генетической классификации Алисова [2] определяются по среднему положению климатических фронтов, т.е. путем учета условий формирования климатов в зависимости от типов воздушных масс и их циркуляции. В [3] на основе градаций характеристик тепло- и влагообеспеченности приземного воздуха и учета параметров теплового баланса деятельной поверхности построена классификация климатических режимов. Результаты районирования по признаку положительных и отрицательных тенденций разной интенсивности приведены в [4]. Авторы [5] предлагают учитывать относительный вклад каждого фактора в формирование классов климата введением весовых коэффициентов. В современных климатических классификациях активно используется математический аппарат метода главных компонент [6], корреляционного [4, 7] и кластерного анализа [8–12].

Энергия, исходящая от Солнца, создает поля различной природы и регулирует иные космические влияния, которые в совокупности формируют внешнее вынуждающее воздействие на природно-климатические процессы в геосферах. При этом движение тел в солнечной системе вносит в их протекание циклическую модуляцию, что, в частности, приводит к смене времен года, к переходу от дневного

\* Валерий Абрамович Тартаковский (trtk@list.ru); Владимир Алексеевич Крутиков (krutikov@imces.ru); Юрий Викторович Волков (yvvolkov@tpu.ru); Наталья Николаевна Чередыко (atnik3@rambler.ru).

прогрева к ночному охлаждению. Отдельные составляющие вынуждающего воздействия имеют тесные взаимосвязи. В результате наблюдений они установлены, например, для чисел Вольфа, космических лучей и радиоизлучения [13–16]. Следует признать, что синхронность является важным свойством солнечно-земных связей. Гиперболизация этого свойства [17] привела к формулировке конструктивного принципа: «по своей природе внешнее вынуждающее воздействие синхронизует инициированные им элементарные процессы в геосферах». На его основе были разработаны алгоритмы для анализа природно-климатических процессов. В настоящей статье критерием для выделения классов является синхронное поведение процессов внутри класса, а мерой синхронности – коэффициент корреляции. В качестве анализируемой характеристики впервые введена фаза рядов приземной температуры, обоснование выбора дано ниже.

## Фаза температурных рядов

Для расчетов использованы ряды среднемесячных температур 332 метеостанций Евразии из базы данных университета Восточной Англии [18] за период 1955–2010 гг. Территория исследования включает Россию и сопредельные государства, в том числе Норвегию, Швецию, Финляндию, Германию, Польшу, Украину и Беларусь. Расчеты проводились с использованием пакета Mathcad. Дискретное преобразование Фурье (базовая вычислительная процедура) представлено в пакете в виде встроенной функции. Для предотвращения нарушения теоремы отсчетов из-за расширения спектральных носителей при выполнении нелинейных операций первоначальные 672 отсчета в каждом ряду интерполировались до  $2^{12}$  отсчетов. Заметим, что соответствие процедуры дискретизации теореме отсчетов предполагает наличие финитного преобразования Фурье исходной функции [19]. Это свойство контролируется при вычислении, что в конечном итоге обеспечивает необходимую точность численных алгоритмов.

На рис. 1 представлен усредненный по данным всех 332 метеостанций модуль преобразования Фурье анализируемых температурных рядов. Из вида этого спектра (величина и положение главной моды на частоте  $1/56$  рад, наличие закономерно убывающих мод на кратных частотах) следует, что порождающие его процессы могут рассматриваться как узкополосные колебания, в большей степени модулированные по фазе, чем по амплитуде. Известно, что одночастотная фазовая модуляция порождает на кратных частотах бесконечный ряд спектральных мод, убывающих с ростом порядка  $n$  как функция Бесселя первого рода  $J_n$  [20]. В данном случае одночастотная фазовая модуляция не предполагается, модулирующая фазовая функция по своей природе имеет более сложный вид. Чтобы убедиться в естественном происхождении этой модуляции, ниже мы сопоставим климатические кластеры, полученные с применением фазы, с принятыми представлениями о географии климата.

Кратко рассмотрим известную теорию аналитического сигнала, на основе которой вводится фаза и огибающая (или амплитуда). Задача состоит в представлении температурного колебания с помощью этих двух величин. Имеется значительное количество работ [21–25], в которых рассматриваются проблемы определения амплитуды и фазы. Аналитический сигнал (АС), введенный Габора в 1946 г. [21], получил с тех пор широкое применение в радиофизике, оптике и других областях, где изучаются колебания и волны. Для климатических исследований это делается впервые.

Наиболее полный анализ различных методов определения амплитуды и фазы сделал Вакман [22, 23]. Он принял во внимание непрерывность и дифференцируемость амплитуды, независимость фазы от единиц измерения колебания, совпадение с интуитивным представлением об амплитуде и фазе гармонических колебаний. Вывод состоял в том, что непротиворечивое наиболее общее определение огибающей и фазы достигается с помощью АС.

Аналитический сигнал  $W(\tau)$  является комплексной функцией, которая представляет собой колебание

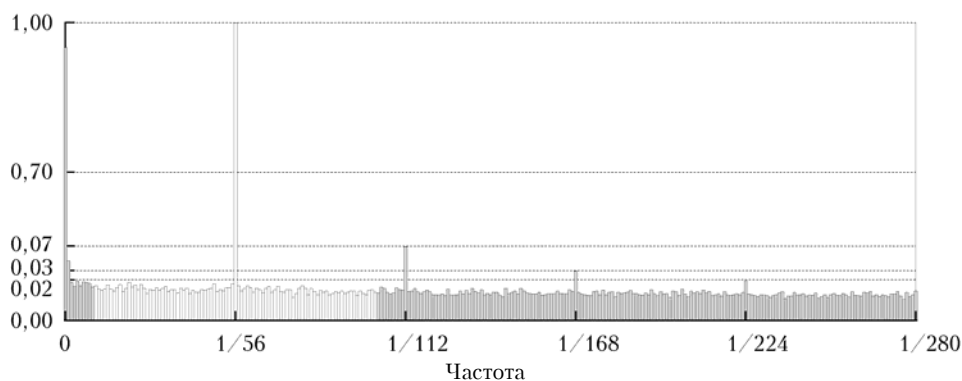


Рис. 1. Нормированный спектр мощности 332 температурных рядов по оси ординат в степенном масштабе с показателем  $1/2$ . Светлым тоном выделен интервал, используемый для вычисления фазы. По оси абсцисс на частотах, кратных  $1/56$  доли интервала наблюдений, видны четыре моды, связанные с фазовой модуляцией. Представлены начальные 280 отсчетов из 2048

температуры  $T(\tau)$  во времени  $\tau$  как естественное обобщение гармонических колебаний:

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

где несобственный интеграл (преобразование Гильберта) определен в смысле главного значения по Коши (v.p.) в тех случаях, когда  $s \rightarrow \pm \infty$  и при  $\tau = s$ . Мнимая составляющая АС —  $V(\tau)$ , таким образом, является Гильберт-трансформантой его действительной части  $T(\tau)$ .

С вычислительной точки зрения АС, соответствующий данной действительной функции  $T(\tau)$ , получается путем обнуления одной половины ее Фурье-преобразования и последующего обратного Фурье-преобразования.

Введение  $W(\tau)$  позволяет определить амплитуду и фазу известным способом:

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

При этом АС и само температурное колебание приобретают вид

$$W(\tau) = \varepsilon(\tau) \exp i\varphi(\tau), \quad T(\tau) = \varepsilon(\tau) \cos \varphi(\tau). \quad (3)$$

Заметим, что второй начальный момент АС, имеющий смысл среднего квадрата кинетической энергии молекул воздуха, имеет вид

$$\langle W W^* \rangle = \langle \varepsilon^2 \rangle. \quad (4)$$

Поэтому в некоторой пространственно-временной области температура  $T(\tau)$  может изменяться без притока дополнительной энергии в систему, а путем ее перераспределения внутри за счет изменения фазы  $\varphi(\tau)$ . При этом вторые моменты сохраняются. Если такой механизм реализуется в природе, то это является основанием для народной приметы «Чем лето жарче, тем зима холоднее».

### Алгоритм выделения климатических классов

В спектральной области исходный температурный ряд занимал  $2^{12}$  отсчета. Для вычисления фазы использовалась полоса частот от  $1/11$  до  $1/101$  доли длины температурного ряда. Вначале все 332 фазы получались в форме главных значений функции  $\text{arctg}$  в пределах годовичного периода. Затем для каждого ряда температур вычислялась непрерывная функция фазы на всем интервале наблюдения путем увеличения главных значений фазы последующего года на максимальное значение предыдущего. В годовом ходе все вычисленные фазы являются монотонными функциями с линейными составляющими, у которых одинаковый наклон, но различные начальные значения. Путем вычитания из функций фаз соответствующих линейных функций и центрирования остатков получались среднемесячные фазовые

флуктуации  $\varphi_m$ :  $m \in [1, M]$ , где  $M = 332$  — число метеостанций.

На первом шаге итерационного процесса для полученного набора  $\{\varphi_m\}$  рассчитывалась корреляционная матрица  $C_{m,n}$ :  $m \in [1, M]$ ;  $n \in [1, M]$ . Затем формировались группы метеостанций, фазы температурных рядов которых имели коэффициенты корреляции с фазами других метеостанций выше заданного порога  $r$ . В каждой группе определялась своя текущая фаза как среднее арифметическое фаз, попавших в группу. Для сгруппированных станций исходные фазовые функции заменялись на текущие.

Далее запускался итерационный процесс, преобразующий фазы по описанному алгоритму. При этом группы изменялись в соответствии с пороговым критерием  $r$  главным образом за счет включения элементов, не входивших в данную группу на предыдущем шаге. Как результат сходимости процесса к неподвижной точке состав групп стабилизировался, текущие фазы переставали изменяться в связи с формированием их типовых свойств.

Порог  $r$  определяет размер группы и связности исходных фаз с текущей в процессе итераций. При низких порогах  $r$  в отдельных группах реализовывалась как раз слабая связность текущих фаз с исходными, хотя и не ниже  $r$ . Чтобы оставить большие группы и исключить слабо связанные, проводился их отбор в неподвижной точке — вычислялся коэффициент корреляции этих фаз и сравнивался с еще одним пороговым значением, которое в данном случае равнялось 0,6. Фазы, преодолевшие этот порог, рассматривались как типовые фазы  $\varphi_k$  климатического класса  $k$  для порогового уровня  $r$  (рис. 2–4).

Эксперимент показал, что для анализируемых данных оказалось достаточно 15 итераций. Доказательство сходимости в общем случае на данном этапе не обсуждается, так как пока неизвестны необходимые для этого свойства температурных рядов. Важно то, что имеющиеся температурные ряды описывают климатическую ситуацию в Северной Евразии и другой их реализации не предполагается, при этом наблюдается требуемая сходимость итерационного процесса.

### Результаты исследования и обсуждение

С использованием предложенной вычислительной технологии для каждого порога  $r$  были вычислены типовые фазы различных классов и коэффициенты корреляции типовых фаз. Оказалось, что более мелкие классы связаны с более крупными порождающими классами, выделенными по меньшему порогу корреляции  $r$ . Найденная генетическая связь представлена на рис. 3.

Класс № 1, полученный при значении порога корреляции  $r = 0,4$ , распадается при повышении  $r$  до 0,6 на два: № 2 и 3. В свою очередь, при  $r = 0,8$  класс № 2 распадается на четыре: № 6, 7, 8, 9, а класс № 3 распадается на два отдельных: № 9 и 10. При этом класс № 9 сформирован из элементов

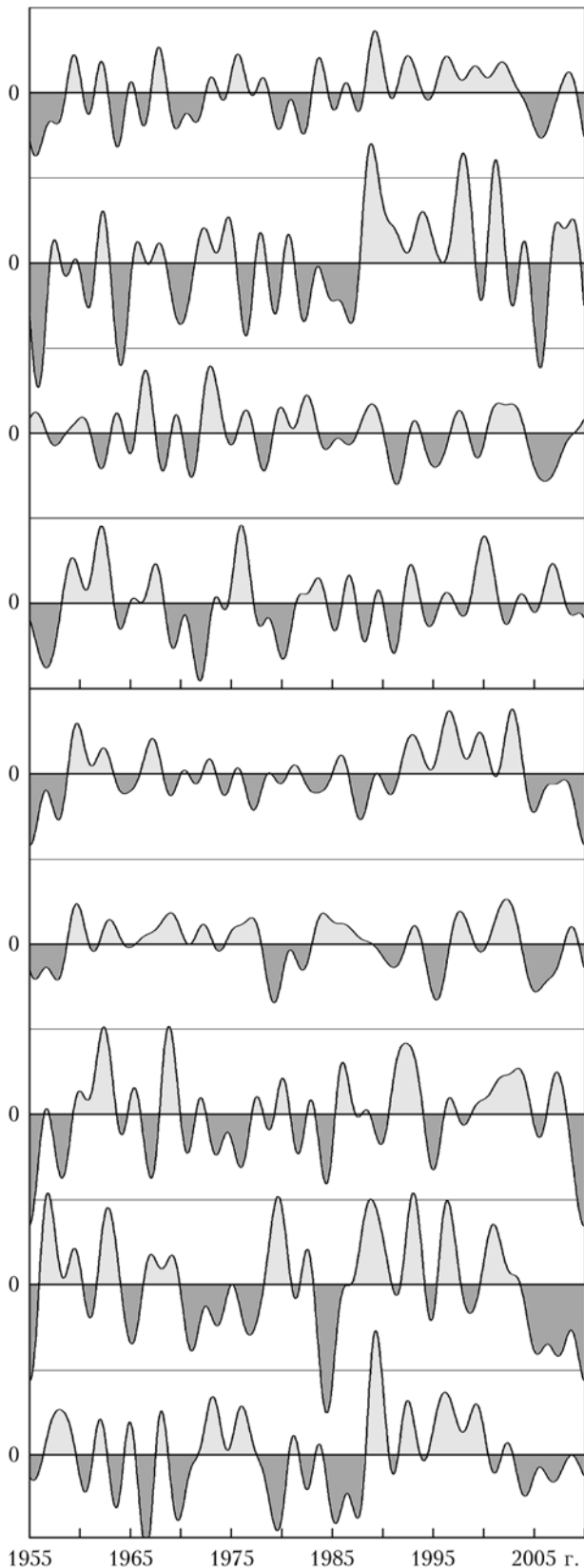


Рис. 2. Типовые фазы  $\varphi_k$  по  $k = 6, 7, 8, \dots, 14$  (см. сверху вниз) соответствуют девяти выделенным климатическим классам при  $r = 0,8$ . Горизонтальные линии проведены с шагом  $0,1$  рад. Светлым тоном обозначена положительная часть колебания, темным – отрицательная

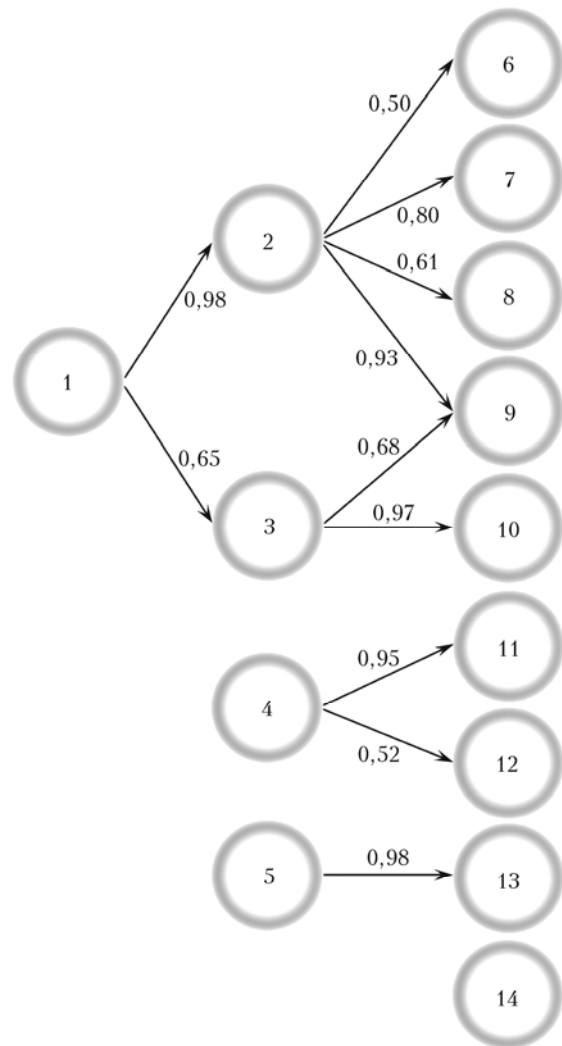


Рис. 3. Генетическая связь климатических классов при различных порогах корреляции, ряды слева направо:  $r = 0,4$  – класс № 1;  $0,6$  – классы от 2-го до 5-го;  $0,8$  – классы от 6-го до 14-го. На стрелках указаны коэффициенты корреляции между типовыми фазами соответствующих классов

классов № 2 и 3. Параллельно с процессами разделения формируются также новые уникальные классы, при значениях порога корреляции  $r = 0,6$  два класса: № 4, 5, и при значениях порога корреляции  $r = 0,8$  один класс – № 14, а классы № 11, 12 и 13 происходят от классов № 4 и 5 соответственно.

Пространственное распределение метеостанций, фазы температурных рядов которых  $\{\varphi_m\}$  имеют наиболее тесную корреляционную связь с найденной типовой фазой  $\varphi_k$  (в данном случае коэффициент корреляции больше  $r$  и больше  $0,6$ ), представлено на рис. 4 (цвет. вклейка). Станции, близкие по своему пространственному расположению, показывают наибольшую тесноту связи с характерной для класса типовой фазой.

В результате повышения порогового уровня взаимной корреляции  $r$  увеличивается степень дифференциации в структуре климатического поля, начиная от одного класса при  $r = 0,4$  (рис. 4, а) и до девяти

классов при  $r = 0,8$  (рис. 4, в). Этот результат позволяет оценить влияние факторов различного масштаба в формировании климатических структур.

С увеличением дробности разбиения на классы проявляется большее влияние региональных факторов, но каждый класс несет информацию о глобальных сигналах. Так, при  $r = 0,4$  (см. рис. 4, а) большинство из рассмотренных станций сформировали один класс со сходным в общих чертах типом динамики температуры приземного воздуха за рассмотренный период. Этот уровень корреляции позволил выделить основные макроструктуры (глобальные сигналы) в климатической компоненте. В данном случае определились метеостанции, характеризующие направление переноса воздушных масс на средних широтах, преобладающее в крупномасштабной циркуляции атмосферы Северного полушария. Найденный климатический класс № 1 позволяет оценивать пространственное распределение этого фактора.

Повышение порога корреляции до 0,6 (рис. 4, б) дает возможность оценивать влияние не только планетарных процессов, но и дополнительных крупномасштабных факторов. Из рис. 4, б видно, что из станций, не вошедших в класс № 1 (см. рис. 4, а), дополнительно сформировались еще три класса со своими типовыми особенностями в динамике температуры, четко локализованные географически. Выделились классы, включающие станции северо-восточного и юго-восточного побережий материка.

При повышении порога корреляции до 0,8 (см. рис. 4, в) получена высокая дифференциация классов в определенных географических локализациях, что подтверждает существование территориальных климатических закономерностей. Проявляются наиболее явные мезоклиматические особенности территорий. Так, отмечается разделение станций по разным классам на побережьях, что можно объяснить относительно менее четкими и менее стабильными связями климатических элементов в этих районах, которые стремятся обособиться при более жестких условиях классификации.

Таким образом, при наиболее высоком пороговом уровне корреляции  $r = 0,8$  с применением итерационного алгоритма выделены девять типовых фаз (см. рис. 4, в), характеризующих особенности протекания климатических процессов, отразившихся в изменении температуры. В результате исходное 332-мерное пространство температурных рядов сократилось до 9-мерного пространства типовых фаз (см. рис. 2), соответствующих климатическим особенностям территорий, где изменения температуры происходят синхронно. Анализ образовавшихся при этом классов (см. рис. 4, в) выявил соответствие их классическим генетическим климатическим поясам и областям, выделенным Алисовым [2]. Это можно считать физическим обоснованием использования предлагаемого подхода, основанного только на данных о приземной температуре, для выделения зон с генетически различающимися климатическими условиями.

Как видно из рис. 4, а, б, наибольшее число станций сохранило свою принадлежность к классу

№ 1 (красный маркер), который располагается с запада на восток на большей части умеренного пояса территории России, включая юго-западную часть Среднесибирского плоскогорья на востоке, захватывая Яблоновый хребет и Становое нагорье и спускаясь на юг до предгорий Алтая и Саян.

Четко дифференцировались юго-западная и северо-восточная части умеренно-континентальной области умеренного пояса. Так, группа европейских станций (черный маркер, рис. 4, в) с юго-запада четко вписывается в границы указанной области, на востоке распространяясь до долготы Москвы, а на севере включает равнинную южную часть Скандинавского полуострова, юг Финляндии и Санкт-Петербург. Сюда же относятся станции, расположенные в Альпах и в Карпатах с южными предгорными равнинами. Северо-восточная часть входит в первый выделенный класс станций, описанный выше.

К умеренному поясу по генетической классификации климатов относятся и станции двух классов центральной части материка (голубой и фиолетовый маркеры, рис. 4, в). Однако учет фазы температурных рядов позволил выявить обособленность этих районов и действительное отличие их климатических условий от части континентального умеренного пояса выше 55-й параллели. Особый тип климата пустынных и полупустынных равнин и предгорий Средней Азии соответствует отдельному классу станций № 10 (голубой маркер, рис. 4, в). Сформировали отдельный класс № 6 также и станции Монголии (фиолетовый маркер, рис. 4, в), территория которой представляет собой приподнятое плоскогорье с преобладанием горных степей, в среднем многолетнем – центр зарождения Азиатского антициклона.

Предложенный способ выделения климатических классов также уловил особенности генетически разных климатов: муссонного умеренного и муссонного субтропического (оранжевые и сиреневые маркеры соответственно, рис. 4, в).

Нужно отметить, что границы районов однотипных колебаний климата совпадают с генетической классификацией не в полной мере, что закономерно вследствие колебания климата и, соответственно, изменения соотношений вклада различных климатообразующих факторов.

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.

Апробация алгоритма на данных метеостанций Евразии позволила получить естественные таксоны, уточняющие иерархию классических генетических климатических структур в условиях изменения климата. Предложенную технологию можно использовать для эффективного и физически обоснованного выделения классов в полях климатических характеристик в задачах разного уровня.

## Заклучение

Впервые в задаче классификации климата введена в рассмотрение фаза температурных рядов как фактор их общей изменчивости. Естественное происхождение установленной фазовой модуляции подтверждено совпадением известных представлений о географии климата с климатическими классами, выделенными путем формирования типовых фаз в итерационном процессе. Таким образом, фазировка и синхронность являются существенными особенностями климатических процессов на Земле.

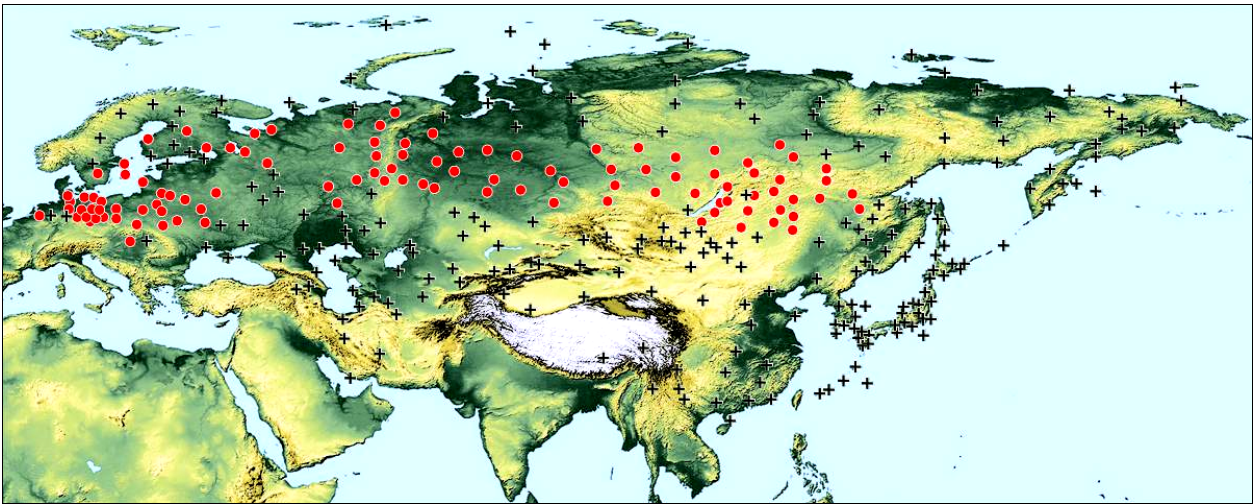
Основные неопределенности в вопросах климатического районирования возникают при выделении границ климатических зон и областей. Разные классификации дают сходные, но не идентичные границы. Так, ответ на вопрос «возможно ли считать эти границы однозначно четко определенными и постоянными» скорее отрицательный, чем положительный в условиях меняющегося климата. По нашему мнению, карты климатических поясов и областей для теоретических и соответствующих практических задач (проектирование, теплоснабжение, моделирование и т.п.) необходимо регулярно обновлять. Для этой цели вполне оправдан предложенный объективный метод выделения структур в полях элементов климата. Большинство известных классических схем климатических классификаций ориентировано на глобальный климат. Предложенный алгоритм позволяет проводить районирование территории любого размера до заданного исследователем качественного уровня и получать на выходе основу для освоения природного потенциала в соответствии с экономическими или научными задачами, что существенно расширяет возможности использования метода.

1. *Köppen W.* Das geographische System der Klimate. Berlin: Verlag von Gebrüder Bornträger, 1936. 44 s.
2. *Хромов С.П., Петросянци М.А.* Метеорология и климатология: учебник. 6-е изд., перераб. доп. М.: Колос, 2004. 582 с.
3. *Григорьев А.А., Будыко М.И.* Классификация климатов СССР // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1959. № 3. С. 3–19.
4. *Салугашвили Р.С.* Колебания климата на территории первого естественного синоптического района и климатическое районирование // Учен. зап. Казан. ун-та. 2012. Т. 154, кн. 3. С. 216–227.
5. *Коробов В.Б., Васильев Л.Ю.* Климатическое районирование территорий экспертно-статистическими методами. Постановка задачи // Метеорол. и гидрол. 2004. № 6. С. 38–48.
6. *Нгонголо Х.К., Смышляев С.П.* Классификация климатологических регионов Восточной Африки на основе данных о режиме осадков // Учен. зап. РГГМИ. 2010. № 13. С. 40–51.
7. *Чередыко Н.Н., Журавлев Г.Г., Кусков А.И.* Оценка современных климатических тенденций и синхронности их проявления в Алтайском регионе // Вестн. Том. гос. ун-та. 2014. № 379. С. 200–208.

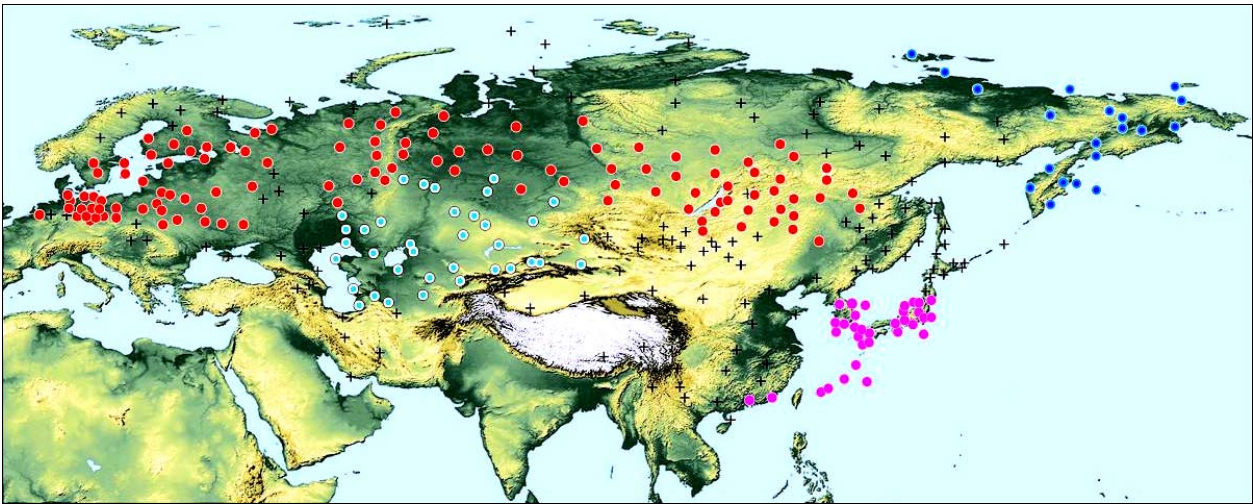
8. *Fovell R., Fovell M.-Y.* Climate Zones of the Continental United States Defined Using Cluster Analysis // J. Climate. 1993. V. 6, iss. 11. P. 2103–2135.
9. *Шатилина Т.А., Кравченко Р.Б.* Результаты классификации временного ряда температуры воды в Южно-Курильском районе и связь с региональными атмосферными индексами // Изв. ТИНРО. 2013. Т. 172, № 1. С. 208–223.
10. *Lee W.Sh., Kung Ch.-K.* Using climate classification to evaluate building energy performance // Energy. 2011. V. 36, iss. 3. P. 1797–1801.
11. *Bieniek P.A., Bhatt U.S., Thoman R.L., Angeloff H., Partain J., Papineau J., Fritsch F., Holloway E., Walsh J.E., Daly Ch., Shulski M., Hufford G., Hill D.F., Calos S., Gens R.* Climate Divisions for Alaska Based on Objective Methods // J. Appl. Meteorol. Climatol. 2012. V. 51, iss. 8. P. 1276–1289.
12. *Волкова М.А., Чередыко Н.Н., Соколов К.И., Огурцов Л.А.* Современная пространственно-временная структура поля экстремальных осадков на территории Западной Сибири // Вестн. Том. гос. ун-та. 2015. № 390. С. 202–210.
13. *Будовый В.И., Хорозов С.В., Инацио М.М., Медведев В.А., Белоголов В.С.* К вопросу о характере и механизмах влияния солнечной активности и космических лучей на годовое количество осадков в различных регионах планеты. URL: [www.irc.phys.spbu.ru/msar06/rep1.doc](http://www.irc.phys.spbu.ru/msar06/rep1.doc) (дата обращения 25.06.14).
14. *Куклин Г.В.* О связи чисел Вольфа и потока радиоизлучения Солнца на частоте 2800 МГц // Солнечные данные. 1984. № 1. С. 87–95.
15. *Бухаров М.В.* Изучение взаимосвязи между изменениями погоды и космическими факторами // Исслед. Земли из космоса. 1993. № 4. С. 3–11.
16. *Алексеев Г.В., Лукьянова Р.Ю., Иванов Т.Е.* Влияние флуктуаций и изменений солнечной активности на характеристики климата высоких и умеренных широт // Солнечно-земная физика. 2012. Вып. 21. С. 28–32.
17. *Тартаковский В.А.* Синхронный анализ рядов чисел Вольфа и температуры с метеостанций Северного полушария Земли // Оптика атмосф. и океана. 2015. Т. 28, № 2. С. 182–188.
18. *Архив* Университета Восточной Англии. URL: <http://www.metoffice.gov.uk>, <http://www.cru.uea.ac.uk> (дата обращения 19.06.13).
19. *Макс Ж.* Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: В 2-х т. Пер. с франц. М.: Мир, 1983. Т. 1. 312 с.
20. *Гоноровский И.С.* Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1986. 512 с.
21. *Gabor D.* Theory of communication // J. IEE. 1946. V. 3, pt. 3. P. 429–441.
22. *Вакман Д.Е., Вайнштейн Л.А.* Амплитуда, фаза, частота — основные понятия теории колебаний // Успехи физ. наук. 1977. Т. 123, вып. 4. С. 657–682.
23. *Вайнштейн Л.А., Вакман Д.Е.* Разделение частот в теории колебаний и волн. М.: Наука, 1983. 287 с.
24. *Витриченко Э.А., Лукин В.П., Пушиной Л.А., Тартаковский В.А.* Проблемы оптического контроля. Новосибирск: Наука, 1990. 351 с.
25. *Тартаковский В.А.* Условия причинности и демодуляция оптических сигналов с монотонной фазой // Оптика атмосф. и океана. 2002. Т. 15, № 1. С. 91–100.

*V.A. Tartakovsky, V.A. Krutikov, Yu.V. Volkov, N.N. Cheredko.* **Climate classification by analysis of the phases of temperature series.**

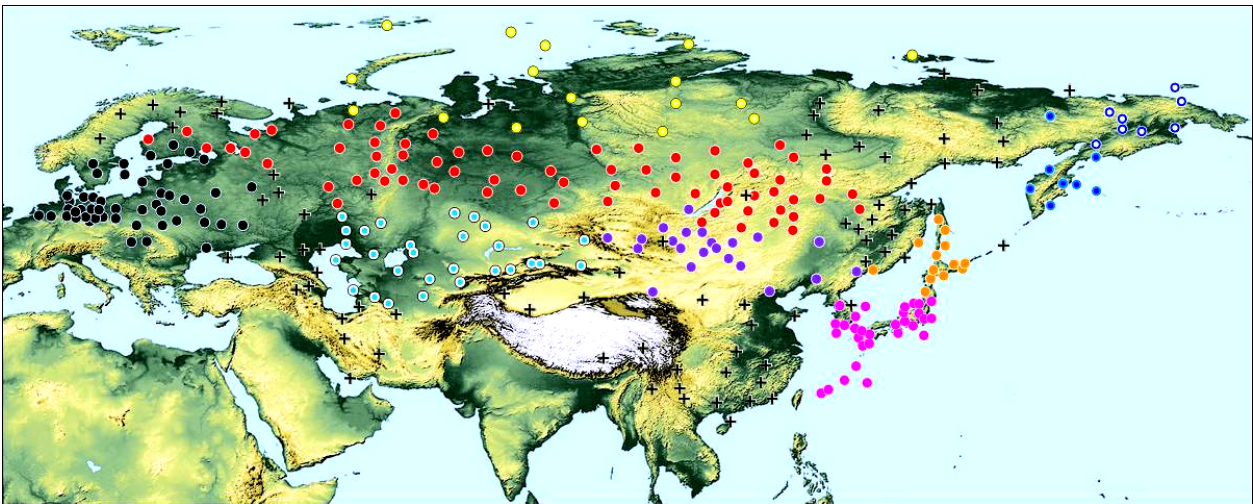
Analysis of the data series of the surface temperature from weather stations of Eurasia have been performed with use of analytic signals. The climatic classes are allocated by comparing the phase of the temperature series with an estimated phase during iterations. This computing technology is first applied to the study of climate processes. The new approach is informative and corresponds to the known concepts of the climate geography. It follows that phasing and synchronicity are essential features of climate processes on the Earth.



*a*



*б*



*в*

Рис. 4. Пространственное распределение климатических классов в период с 1955 по 2010 г. Значения порогового коэффициента корреляции  $r$  фаз внутри класса: *a* – 0,4; *б* – 0,6; *в* – 0,8. Станции, входящие в класс, обозначены маркерами одного цвета, не входящие – знаком «+». Номера классов: *a*: ● – 1; *б*: ● – 2, ○ – 3, ● – 4, ● – 5; *в*: ● – 6, ● – 7, ● – 8, ● – 9, ○ – 10, ● – 11, ● – 12, ● – 13, ● – 14