

КЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ПОЛЕЙ СРЕДНЕМЕСЯЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Предлагаются схемы районирования полей среднемесячной температуры воздуха на высоте 2 м в северной части Тихого океана, выполненного с помощью Универсального итерационного метода кластеризации данных. Приведен физический и статистический анализ полученных схем кластеризации, имеющий хорошее научное обоснование. Показано, что распределение среднемесячной температуры воздуха имеет в основном зональный характер, с меридиональными отклонениями в районе береговой черты Североамериканского континента.

Ключевые слова: среднемесячная температура воздуха, кластер, критерий, внутрикластерная дисперсия, евклидово расстояние.

Введение. Средняя температура является одним из основных показателей климата. Формирование её зависит как от множества факторов природного характера (солнечной радиации, альбедо, прозрачности атмосферы, потоков явного и скрытого тепла, количества тепла в глубинах океана и т.д.), так и от влияния антропогенного фактора. Особое внимание изменению температуры уделяется в свете существующих изменений климата, что особенно отмечается в докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC) [1]. Здесь же говорится о потеплении вод мирового океана, как доминирующего фактора процесса увеличения энергии, хранящейся в климатической системе [1]. Естественно, это потепление в результате турбулентного тепло и массообмена, приводит к изменению свойств приводного слоя атмосферы над океаном, в том числе и температуры воздуха в этом слое. Исследование горизонтального распределения среднемесячной температуры, как поверхности, так и воздуха в северной части Тихого океана может оказать существенную помощь в изучении изменения региональных климатов указанного региона. Для этой цели, как правило, применяются методы статистического анализа, в том числе и многомерного статистического анализа (например, факторного, кластерного и т.д.), которые позволяют не только получить поля той или иной характеристики с помощью построения соответствующих изолиний, но и определить целые однородные районы с характерной репрезентативной точкой, что помогает существенно сжать информацию (используется при формировании входных условий при моделировании), выявить границы распределения характеристики в общей пространственной совокупности и т.д.

Однако, все указанные положительные стороны предлагаемого подхода к изучению полей температуры воздуха, так же как и других характеристик, имеют место только при наличии объективных исходных данных с минимальным пространственным шагом, и отвечающим предъявляемым к статистическим рядам требованиям однородности, независимости, представительности.

Целью нашего исследования является попытка получить максимально приближённое к объективному районирование полей температуры воздуха на высоте 2 м в северной части Тихого океана в зимний период, что должно, с нашей точки зрения, найти выражение в соответствии выделенных относительно независимых температурных зон построенным среднемесячным картам основных характеристик, отражающих свойства подстилающей поверхности и условия взаимодействия в нижнем слое атмосферы в северной части Тихого океана [2,3].

Материалы и методы исследований. В качестве метода для кластеризации нами был использован Универсальный итерационный метод кластеризации данных

(УИМКД) [4]. Основанием для принятия решения по выбору данного метода послужили целевое назначение УИМКД, который был создан при разработке подхода к формированию исходных данных при решении физико-статистических задач, и наиболее подходит для осуществления климатического районирования полей гидрометеорологических величин, а так же результаты, полученные при кластеризации полей температуры подстилающей поверхности в районах Северной Атлантики и северной части Тихого океана. К тому же, данное районирование можно рассматривать как продолжение ряда экспериментов по дальнейшей апробации данного, достаточно нового метода. Как было показано в [5], температура поверхности океана обладает большой инерционностью, что в свою очередь должно найти отражение в устойчивости распределения приводной температуры воздуха. К тому же указанные характеристики достаточно хорошо исследованы для северной части Тихого океана, и это, со своей стороны, может помочь определить степень объективности нашей кластеризации с помощью УИМКД.

В УИМКД акцент поставлен на выявлении неоднородности кластеров, с помощью известных параметрических и непараметрических критериев Фишера, Крамера-Уэлча (при равенстве объёмов двух независимых выборок, он полностью совпадает с критерием Стьюдента для средних) и Лемана-Розенблатта, применение которых в математической статистике к непрерывным случайным величинам с неизвестными законами распределения является наиболее аргументированным [6-10].

Прежде чем приступить к краткому обзору алгоритма УИМКД и вышеупомянутых критериев, необходимо отметить, что гидрометеорологические величины в подавляющем большинстве случаев не подчиняются нормальному закону распределения, а так же являются непрерывными и случайными.

Применяемые в УИМКД критерии Фишера и Крамера-Уэлча (критерий Стьюдента) достаточно хорошо рассмотрены в [11,12]. Поэтому приведём лишь конечные формулы их определяющие:

$$\text{а) критерий Фишера: } F = \frac{S_x^2}{S_y^2};$$

$$\text{б) критерий (статистика) Крамера-Уэлча: } T = \frac{\sqrt{mn}(\bar{x} - \bar{y})}{\sqrt{nS_x^2 + mS_y^2}},$$

где S_x^2 - несмещённая оценка дисперсии случайной величины x , S_y^2 - несмещённая оценка дисперсии случайной величины y , \bar{x} и \bar{y} - средние значения случайных величин x , y , m и n - объёмы случайных выборок x и y .

Однако, неотклонение проверяемых гипотез о равенстве средних и (или) равенстве дисперсий еще не говорит о принадлежности выборок одной и той же генеральной совокупности. Это свидетельствует лишь о возможном равенстве числовых характеристик, но не законов распределения. Поэтому, в нашем случае, для проявления наиболее полной независимости данных, формирующих тот или иной кластер (проверки различия законов распределения), в используемом методе применён критерий Лемана-Розенблатта ω^2 [13], позволяющий проверить на однородность две выборки при неизвестных законах распределения входящих в них данных.

Статистика A типа ω^2 представляется в виде [13]:

$$\omega^2 = \frac{1}{mn(m+n)} \left[m \sum_{i=1}^m (r_i - i)^2 + n \sum_{j=1}^n (s_j - j)^2 \right] - \frac{4mn-1}{6(m+n)},$$

где r_i - ранг x'_i и s_j - ранг y'_j в общем вариационном ряду, построенном по объединенной выборке.

Правила принятия решений при проверке гипотезы об однородности двух выборок с использованием статистики типа омега-квадрат (ω^2), на основе критических значений в зависимости от уровней значимости и объемов совокупностей случайных величин приведены в таблицах [14].

В самом же методе (УИМКД), в качестве исходной информации выступает матрица $X = (x_{ij})_{m \times n}$, содержащая m векторов-строк мерности n , характеризующая статистические ряды объёмом n в m пунктах, которые и должны быть кластеризованы. В качестве априорной информации задается только минимальное количество векторов τ , которые могут составить кластер.

Итерационный процесс в алгоритме УИМКД состоит из ряда шагов. Мы приведём лишь первоначальные шаги, которые определяют дальнейший алгоритм метода:

1-й шаг: Рассчитывается квадратная матрица порядка m евклидовых расстояний между всеми векторами матрицы X

$$D = (D_{ij})_{m \times m}, \quad D_{ij} = \sqrt{\sum_{s=1}^n (x_{js} - x_{is})^2}. \quad (1)$$

Матрица D является симметрической. На главной диагонали этой матрицы располагаются нули.

2-й шаг: В каждой строке матрицы D производится ранжирование её элементов, т.е. её элементы располагаются в возрастающем порядке. В результате получим матрицу D^1 вида

$$D^1 = \begin{pmatrix} 0 & d_{12}^{(p)} & d_{13}^{(p)} & d_{14}^{(p)} & \dots & d_{1m}^{(p)} \\ 0 & d_{22}^{(p)} & d_{23}^{(p)} & d_{24}^{(p)} & \dots & d_{2m}^{(p)} \\ 0 & d_{32}^{(p)} & d_{33}^{(p)} & d_{34}^{(p)} & \dots & d_{3m}^{(p)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & d_{m2}^{(p)} & d_{m3}^{(p)} & d_{m4}^{(p)} & \dots & d_{mm}^{(p)} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

В ней производится перенумерация элементов каждой строки (p - номер столбца, в котором располагается элемент каждой строки матрицы (2) в матрице D ($p = \overline{1, m}$)).

Пусть, предположим, мы условились, что минимальное число векторов, которые могут составить кластер, равно τ . Тогда анализу подвергается блок матрицы (2), состоящий из первых $\tau = 9$ столбцов (на первом этапе, например, $9 = 3$).

3-й шаг: Производится сравнение евклидовых расстояний D_{lj} ($l, j = \overline{1, m}$) с евклидовыми расстояниями $d_{l3}^{(p)}$. Если $D_{lj} \leq d_{l3}^{(p)}$ ($l = \overline{1, m}$), то j -й вектор может

рассматриваться как потенциальный центр кластера, в который входит 1-й вектор (с учетом значения индекса p).

Дальнейшие шаги позволяют сформировать кластеры, проверить их на однородность, и в случае выявления полной независимости между ними, определить наиболее оптимальную схему кластеризации независимо от возможного субъективного выбора исследователя.

Объектом для нашего исследования были выбраны поля среднемесячной температуры воздуха на высоте 2 м над поверхностью в районе северной части Тихого океана (данные ре-анализа ERA-40 [15]), заданные в узлах регулярной сетки точек $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ в секторе, ограниченном по широте от 20° до 70° северной широты и по меридиану от 160° восточной долготы до 120° западной долготы, за период с 1958 по 2002 годы, зимние месяцы (декабрь, январь, февраль). Таким образом, в каждом узле сетки был сформирован 45-ти мерный вектор среднемесячных значений температуры воздуха для указанных месяцев. Множество этих векторов и было представлено алгоритму УИМКД для разбиения полей температуры воздуха на однородные кластеры.

Выделенный район исследования представлен на рис.1, а результаты проведенной кластеризации - на рис.2-4. На них буквенными обозначениями латиницы выделены выявленные алгоритмом кластеры.

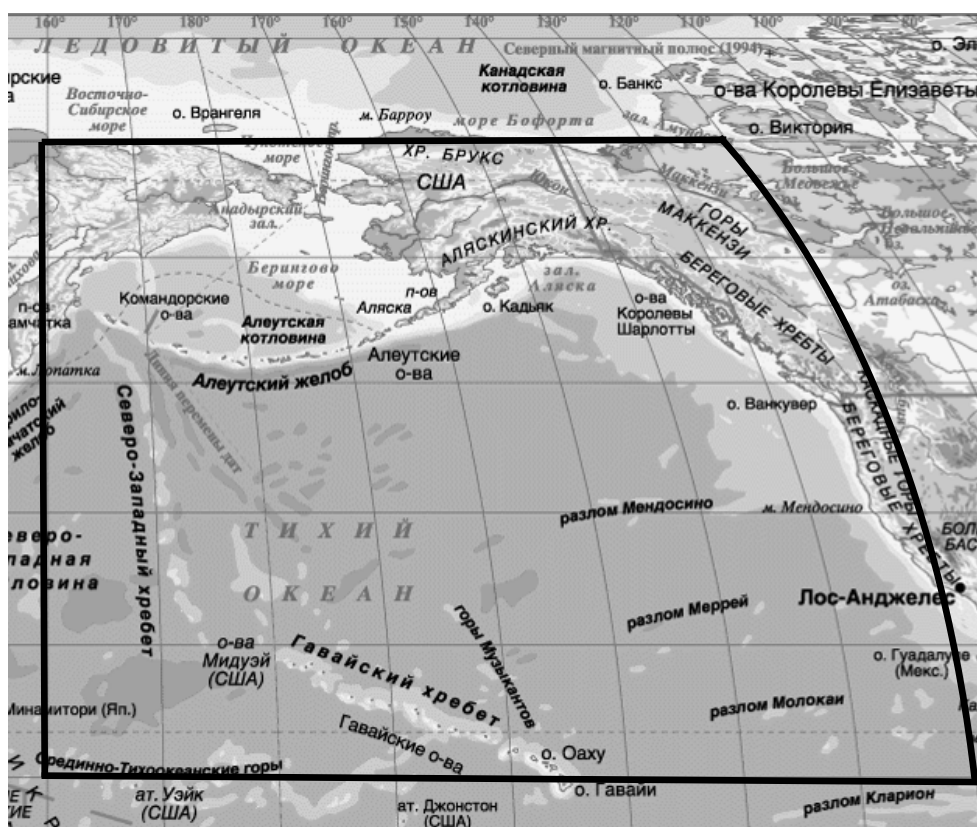


Рис. 1 – Сектор в северной части Тихого океана подлежащий исследованию (в форме криволинейной трапеции)

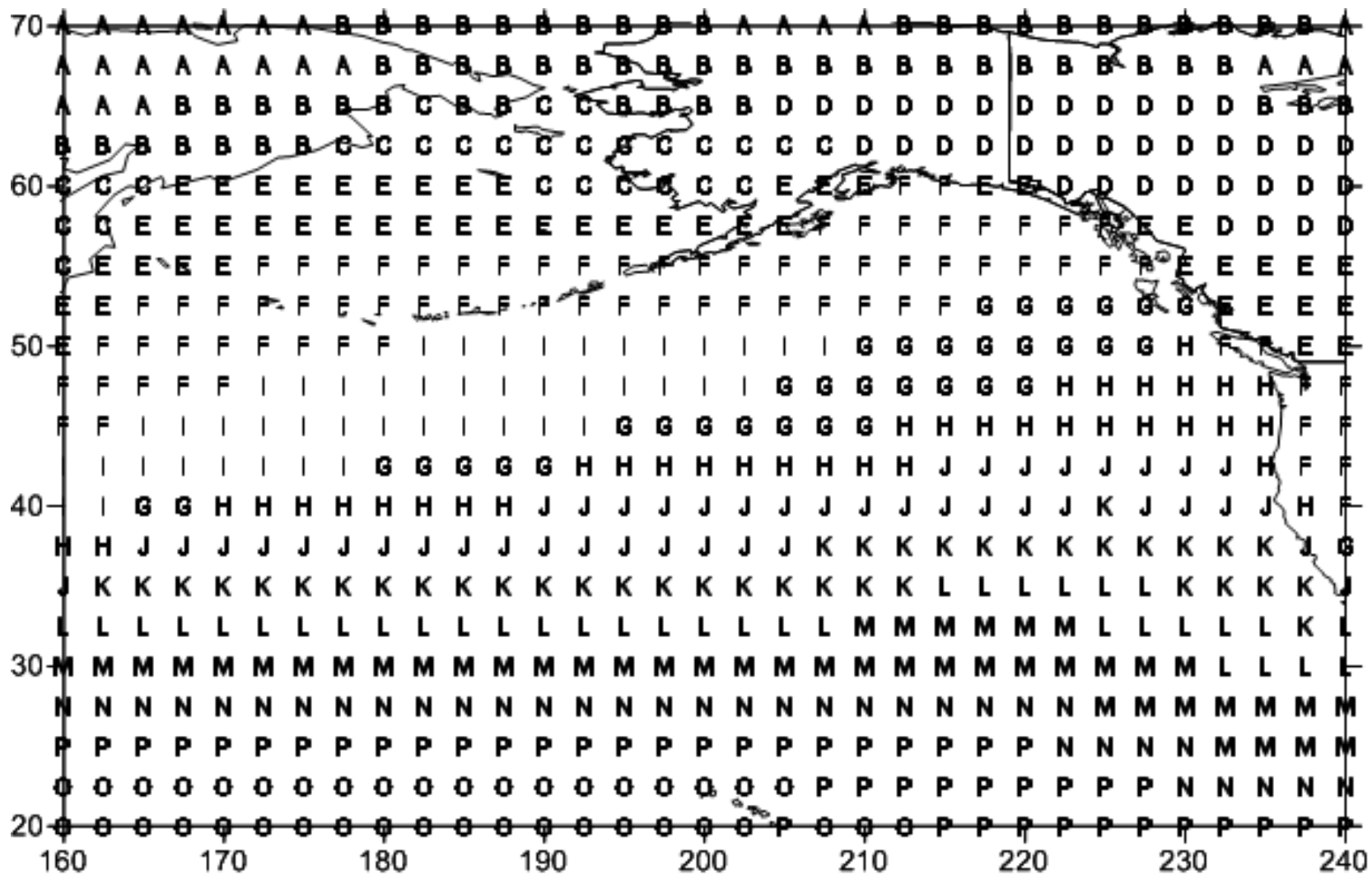


Рис. 4 - Карта распределения кластеров среднемесячной температуры воздуха на высоте 2 м в северной части Тихого океана (февраль)

Прежде чем приступить к более детальному рассмотрению полученных схем кластеризации, необходимо указать, что в общем они хорошо согласуются с климатическими картами месячных и среднемесячных гидрометеорологических характеристик, построенными на основе данных непосредственных экспедиционных гидрометеорологических измерений, таких как карты распределения суммарной солнечной радиации, радиационного баланса, затрат тепла на испарение, температуры воздуха у поверхности океана, температура воды на поверхности и т.д. [3] Эти карты представлены в виде распределений изолиний и показывают квазиширотную однородность распределения названных гидрометеорологических характеристик, что находит отражение и в нашей кластеризации полей температуры воздуха на высоте 2 м. Необходимо так же коснуться вопроса отражения сезонного фактора в горизонтальном распределении температуры воздуха в приземном слое. Так кластеризация для декабря показывает наличие большего количества кластеров (24) по сравнению с январём и февралём (соответственно 19 и 16), и проявление территориально разнесённых районов с однородной температурой (выбросов) (для декабря (рис.2) кластеры K, Q, X), что отсутствует для остальных месяцев рассматриваемого периода. Это, с нашей точки зрения, может быть связано с инерционными свойствами океана, проявляющимися через взаимодействие его с атмосферой, в результате которого зимний период в рассматриваемом районе смещён на один месяц и так же как для температуры поверхности океана включает в себя январь, февраль, март. Декабрь же является адаптационным (переходным) месяцем периода осень-зима.

Сопоставляя полученное нами районирование с картой турбулентного обмена между поверхностью океана и атмосферой, можно проследить проявление зон с максимальными значениями турбулентного обмена (декабрь кластеры (H,O,S,T), январь - (D,F,S), февраль - (E,F,M,N)) и минимальными – (декабрь кластеры (N,P,Q), январь - (M,N), февраль - (J,K)). Это, с учётом тесной зависимости температуры воздуха на данной высоте от турбулентного состояния приземного слоя воздуха, а соответственно и от интенсивности обмена теплом и влагой, подтверждает достоверность полученных результатов.

Известно, что циркуляционный режим северной части Тихого океана формируется под влиянием двух глобальных центров действия атмосферы: северного субполярного циклонического (Алеутская депрессия) и северного субтропического антициклонического (Гонолульский максимум), интенсивность которых в зимний период является наибольшей. Естественно предположить, что территориальное распределение среднемесячной температуры воздуха должно быть хорошо согласовано с климатическим барическим полем атмосферы над северной частью Тихого океана, в том числе и с траекториями перемещения барических образований. Именно эти факты достаточно хорошо проявляются в настоящем исследовании: области влияния Алеутского минимума (севернее кластеров R,Q (рис.2), N (рис.3), K (рис.4)) и Гонолульского максимума (южнее кластеров P (рис.2), L (рис.3), J (рис.4)) разграничиваются линией конвергенции простирающейся с запада на восток в районе 40° с.ш. и переходящей в зону положительной горизонтальной дивергенции (кластеры R,Q,P (рис.2), N,L (рис.3), K,J (рис.4)). Интерес представляет самостоятельный кластер M (рис.3), имеющий больше меридиональную ориентацию, чем зональную и, который находит отражение, как указывалось ранее, в соответствии однородной зоны температуры воздуха очагу минимальных значений турбулентного обмена между поверхностью океана и атмосферой для января [3], для других месяцев такая определённость несколько сглажена.

Структурное расположение кластеров приземной температуры воздуха в наиболее северной части, районе Берингова моря, хорошо отражает климатические

различия между отдельными районами моря. Ближе к северу, особенно в прибрежной зоне климат более суровый, континентальный (кластеры G,E (рис.2), D,G (рис.3), C (рис.4)), южнее, где сказывается стабилизирующее влияние океана, климат более мягкий (кластеры H,O (рис.2), F (рис.3), F (рис.4)). Здесь же видно распространение площади ледового покрова от декабря к февралю (кластеры G,E (рис.2), D,G (рис.3), C,E (рис.4)), подтверждаемое отрицательными средними значениями репрезентативных векторов по кластерам (табл.1).

Данные для статистического анализа проведенной кластеризации, представлены в виде таблиц 1-5б. Согласно полученным результатам внутрикластерные дисперсии (табл.1) для исследуемой территории во все месяцы имеют чёткое разделение на две части. Большие дисперсии – характеризующие кластеры, покрывающие материковую поверхность и поверхность моря, покрытую льдом, связаны, на наш взгляд, с особенностями характера этих поверхностей и взаимодействия с нижележащим слоем атмосферы, и незначительные дисперсии, характеризующие кластеры океанической части территории и определяемые в большей степени инерционными свойствами океана. Средние значения температуры поверхности имеют в основном меридиональную направленность, уменьшаясь с юга на север, и только на материковой части наблюдаются различия между береговыми частями и более удалёнными от воды. Причём минимальные средние значения наблюдаются в кластере территориально расположенном на полуострове Чукотка, а максимальные - в крайней юго-западной части, находящейся под влиянием тёплого Северо-Пассатного течения.

Таблица 1 - Внутрикластерные дисперсии и средние значения среднемесячной температуры воздуха на высоте 2 м в полученных кластерах северной части Тихого океана (декабрь-февраль)

| №№ п/п | Обозначение кластеров | Внутрикластерные Дисперсии | | | Средние значения | | |
|-----------|--------------------------|-------------------------------|---------------|--------------|------------------|----------------|----------------|
| | | декабрь | январь | февраль | декабрь | январь | февраль |
| 1 | A | 12.657 | 12.209 | 13.621 | 247.239 | 243.777 | 244.621 |
| 2 | B | 9.747 | 12.731 | 14.731 | 249.385 | 251.864 | 249.932 |
| 3 | C | 12.918 | 18.042 | 13.304 | 253.401 | 248.22 | 259.978 |
| 4 | D | 15.909 | 8.51 | 16.52 | 241.422 | 262.208 | 257.095 |
| 5 | E | 11.759 | 23.075 | 1.65 | 260.342 | 257.039 | 268.638 |
| 6 | F | 19.321 | 0.4 | 0.38 | 256.661 | 274.456 | 274.722 |
| 7 | G | 5.164 | 2.049 | 0.284 | 267.829 | 268.833 | 279.266 |
| 8 | H | 0.344 | 1.209 | 0.192 | 276.586 | 278.652 | 281.44 |
| 9 | I | 8.989 | 0.352 | 0.458 | 264.61 | 281.422 | 276.842 |
| 10 | J | 1.026 | 0.478 | 0.178 | 279.211 | 276.871 | 283.857 |
| 11 | K | 0.354 | 0.685 | 0.106 | 282.083 | 279.62 | 286.267 |
| 12 | L | 0.413 | 0.484 | 0.073 | 278.162 | 283.722 | 288.254 |
| 13 | M | 0.508 | 0.54 | 0.083 | 280.624 | 285.101 | 290.273 |
| 14 | N | 0.219 | 0.202 | 0.12 | 283.978 | 286.854 | 292.294 |
| 15 | O | 0.49 | 0.061 | 0.246 | 273.21 | 288.99 | 296.441 |
| 16 | P | 0.22 | 0.061 | 0.106 | 286.232 | 291.145 | 294.166 |
| 17 | Q | 0.178 | 0.122 | - | 288.08 | 294.794 | - |
| 18 | R | 0.211 | 0.234 | - | 289.305 | 296.831 | - |
| 19 | S | 0.062 | 0.082 | - | 291.029 | 293.217 | - |

Продолжение табл. 1

| №№ п/п | Обозначение кластеров | Внутрикластерные Дисперсии | | | Средние значения | | |
|-----------|--------------------------|-------------------------------|--------|---------|------------------|--------|---------|
| | | декабрь | январь | февраль | декабрь | январь | февраль |
| 20 | T | 0.078 | - | - | 292.879 | - | - |
| 21 | U | 0.375 | - | - | 294.346 | - | - |
| 22 | V | 0.196 | - | - | 296.428 | - | - |
| 23 | W | 0.202 | - | - | 298.198 | - | - |
| 24 | X | 0.16 | - | - | 295.024 | - | - |

Экстремальные значения евклидовых расстояний, между кластерами, представленные в табл.2 полностью соответствуют кластерам с максимальными и минимальными средними значениями (табл.1).

Таблица 2 - Экстремальные значения евклидовых расстояний между кластерами среднемесячной температуры воздуха на высоте 2 м в северной части Тихого океана (декабрь-февраль)

| Декабрь | | Январь | | Февраль | |
|---------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| max | min | max | min | max | min |
| 381.82 | 6.989 | 356.73 | 10.791 | 348.523 | 12.639 |
| D-W (4-23) | U-X (21-24) | A-R (1-18) | Q-S (17-19) | A-S (1-15) | N-P (14-16) |

Для более детального анализа, в таблицах 3а-5б нами частично представлены значения евклидовых расстояний (с пропуском промежуточных значений, занимающих большой объём) между полученными кластерами среднемесячной температуры воздуха исследуемой территории для декабря, января и февраля, которые, в том числе, могут позволить более наглядно представить картину зонирования рассмотренной физической характеристики.

Таблица 3а - Матрица ранжированных значений евклидовых расстояний между кластерами среднемесячной температуры воздуха на высоте 2 м в северной части Тихого океана (декабрь)

| Кластеры | Порядковый номер ранжированных евклидовых расстояний | | | | | | | | |
|----------|--|-------|-------|--------|------|--------|--------|--------|-------------|
| | 2 (min) | 3 | 4 | 5 | ... | 21 | 22 | 23 | 24 (max) |
| 1 | 30.36 | 40.39 | 43.94 | 74.52 | .... | 316.97 | 321.38 | 330.86 | 342.68 |
| 2 | 30.36 | 34.03 | 53.64 | 62.58 | .... | 302.39 | 306.81 | 316.28 | 328.09 |
| 3 | 34.03 | 40.85 | 43.94 | 48.04 | .... | 275.84 | 280.19 | 289.69 | 301.48 |
| 4 | 40.39 | 62.58 | 83.31 | 111.79 | .... | 356.09 | 360.52 | 369.99 | 381.82 |
| 5 | 38.70 | 42.03 | 48.04 | 51.42 | .... | 229.36 | 233.72 | 243.19 | 254.97 |
| 6 | 38.70 | 40.85 | 53.64 | 55.92 | .... | 254.53 | 258.94 | 268.34 | 280.10 |
| 7 | 35.08 | 37.97 | 51.42 | 60.04 | .... | 178.68 | 183.01 | 192.52 | 204.32 |

Продолжение табл.3а

| Кластеры | Порядковый номер ранжированных евклидовых расстояний | | | | | | | | |
|----------|--|-------|-------|-------|------|--------|--------|--------|---------------|
| | 2 (min) | 3 | 4 | 5 | ... | 21 | 22 | 23 | 24 (max) |
| 8 | 11.86 | 18.39 | 22.89 | 27.71 | .... | 157.01 | 183.52 | 198.14 | 237.30 |
| 9 | 35.08 | 42.03 | 55.92 | 61.39 | .... | 200.45 | 204.96 | 214.32 | 226.12 |
| 10 | 11.89 | 13.34 | 18.39 | 19.74 | .... | 174.71 | 200.99 | 215.84 | 255.01 |
| 11 | 11.71 | 13.20 | 19.74 | 27.09 | .... | 193.91 | 220.35 | 234.94 | 274.04 |
| 12 | 11.86 | 11.89 | 16.68 | 27.09 | .... | 167.83 | 194.33 | 208.79 | 247.86 |
| 13 | 11.71 | 13.34 | 16.68 | 22.76 | .... | 184.29 | 210.81 | 225.29 | 264.36 |
| 14 | 13.20 | 15.22 | 22.76 | 27.74 | .... | 206.62 | 233.13 | 247.61 | 286.68 |
| 15 | 22.89 | 33.66 | 37.97 | 40.89 | .... | 161.08 | 167.71 | 175.46 | 214.58 |
| 16 | 13.11 | 15.22 | 20.75 | 28.24 | .... | 221.66 | 248.18 | 262.69 | 301.77 |
| 17 | 9.21 | 13.11 | 19.91 | 27.74 | .... | 233.86 | 260.42 | 274.94 | 314.04 |
| 18 | 9.21 | 11.90 | 20.75 | 24.12 | .... | 242.14 | 268.71 | 283.20 | 322.30 |
| 19 | 11.90 | 12.45 | 19.91 | 22.56 | .... | 253.56 | 280.13 | 294.68 | 333.80 |
| 20 | 10.28 | 12.45 | 14.62 | 23.89 | .... | 265.92 | 292.50 | 307.07 | 346.20 |
| 21 | 6.99 | 10.28 | 14.10 | 22.56 | .... | 275.84 | 302.39 | 316.97 | 356.09 |
| 22 | 10.14 | 11.96 | 14.10 | 23.89 | .... | 289.69 | 316.28 | 330.86 | 369.99 |
| 23 | 11.96 | 21.59 | 26.00 | 35.76 | .... | 301.48 | 328.09 | 342.68 | 381.82 |
| 24 | 6.99 | 10.14 | 14.62 | 21.59 | .... | 280.19 | 306.81 | 321.38 | 360.52 |

Таблица 3б - Матрица номеров кластеров соответствующих ранжированным значениям евклидовых расстояний между кластерами среднемесячной температуры воздуха на высоте 2 м в северной части Тихого океана (декабрь)

| Кластеры | Порядковый номер ранжированных евклидовых расстояний | | | | | | | | |
|----------|--|----|----|----|------|----|----|----|-------------|
| | 2 (min) | 3 | 4 | 5 | ... | 21 | 22 | 23 | 24 (max) |
| 1 | 2 | 4 | 3 | 6 | .... | 21 | 24 | 22 | 23 |
| 2 | 1 | 3 | 6 | 4 | .... | 21 | 24 | 22 | 23 |
| 3 | 2 | 6 | 1 | 5 | .... | 21 | 24 | 22 | 23 |
| 4 | 1 | 2 | 3 | 6 | .... | 21 | 24 | 22 | 23 |
| 5 | 6 | 9 | 3 | 7 | .... | 21 | 24 | 22 | 23 |
| 6 | 5 | 3 | 2 | 9 | .... | 21 | 24 | 22 | 23 |
| 7 | 9 | 15 | 5 | 8 | .... | 21 | 24 | 22 | 23 |
| 8 | 12 | 10 | 15 | 13 | .... | 3 | 2 | 1 | 4 |
| 9 | 7 | 5 | 6 | 15 | .... | 21 | 24 | 22 | 23 |
| 10 | 12 | 13 | 8 | 11 | .... | 3 | 2 | 1 | 4 |
| 11 | 13 | 14 | 10 | 12 | .... | 3 | 2 | 1 | 4 |
| 12 | 8 | 10 | 13 | 11 | .... | 3 | 2 | 1 | 4 |
| 13 | 11 | 10 | 12 | 14 | .... | 3 | 2 | 1 | 4 |

Продолжение табл.3б

| Кластеры | Порядковый номер ранжированных евклидовых расстояний | | | | | | | | |
|----------|--|----|----|----|------|----|----|----|-------------|
| | 2 (min) | 3 | 4 | 5 | ... | 21 | 22 | 23 | 24 (max) |
| 14 | 11 | 16 | 13 | 17 | .... | 3 | 2 | 1 | 4 |
| 15 | 8 | 12 | 7 | 10 | .... | 2 | 23 | 1 | 4 |
| 16 | 17 | 14 | 18 | 11 | .... | 3 | 2 | 1 | 4 |
| 17 | 18 | 16 | 19 | 14 | .... | 3 | 2 | 1 | 4 |
| 18 | 17 | 19 | 16 | 20 | .... | 3 | 2 | 1 | 4 |
| 19 | 18 | 20 | 17 | 21 | .... | 3 | 2 | 1 | 4 |
| 20 | 21 | 19 | 24 | 22 | .... | 3 | 2 | 1 | 4 |
| 21 | 24 | 20 | 22 | 19 | .... | 3 | 2 | 1 | 4 |
| 22 | 24 | 23 | 21 | 20 | .... | 3 | 2 | 1 | 4 |
| 23 | 22 | 24 | 21 | 20 | .... | 3 | 2 | 1 | 4 |
| 24 | 21 | 22 | 20 | 23 | .... | 3 | 2 | 1 | 4 |

Таблица 4а - Матрица ранжированных значений евклидовых расстояний между кластерами среднемесячной температуры воздуха на высоте 2 м в северной части Тихого океана (январь)

| Кластеры | Порядковый номер ранжированных евклидовых расстояний | | | | | | | | |
|----------|--|-------|-------|--------|------|--------|--------|--------|---------------|
| | 2 (min) | 3 | 4 | 5 | ... | 16 | 17 | 18 | 19 (max) |
| 1 | 45.93 | 56.15 | 97.80 | 124.94 | .... | 318.61 | 332.46 | 343.06 | 356.73 |
| 2 | 41.01 | 52.43 | 56.15 | 70.11 | .... | 264.60 | 278.42 | 288.99 | 302.64 |
| 3 | 41.01 | 45.93 | 61.26 | 98.33 | .... | 289.32 | 303.12 | 313.66 | 327.24 |
| 4 | 47.79 | 48.69 | 70.11 | 83.85 | .... | 195.10 | 208.90 | 219.47 | 233.10 |
| 5 | 48.69 | 52.43 | 61.26 | 83.07 | .... | 231.00 | 244.72 | 255.19 | 268.70 |
| 6 | 17.11 | 28.74 | 35.33 | 38.39 | .... | 150.18 | 153.11 | 178.09 | 206.94 |
| 7 | 38.39 | 47.79 | 55.24 | 66.10 | .... | 163.84 | 169.73 | 174.40 | 188.04 |
| 8 | 12.76 | 15.58 | 19.09 | 28.74 | .... | 147.41 | 181.33 | 205.61 | 235.17 |
| 9 | 14.04 | 16.57 | 19.09 | 24.95 | .... | 166.29 | 199.70 | 224.34 | 253.62 |
| 10 | 15.58 | 17.11 | 18.57 | 31.17 | .... | 137.53 | 169.36 | 194.58 | 223.15 |
| 11 | 12.76 | 14.04 | 18.57 | 27.63 | .... | 155.62 | 187.72 | 212.92 | 241.59 |
| 12 | 12.43 | 16.57 | 21.12 | 27.63 | .... | 182.27 | 215.08 | 240.07 | 269.06 |
| 13 | 12.43 | 13.59 | 24.95 | 26.57 | .... | 190.56 | 224.23 | 248.82 | 278.15 |
| 14 | 13.59 | 14.51 | 21.12 | 28.95 | .... | 202.74 | 235.98 | 260.82 | 289.98 |
| 15 | 14.49 | 14.51 | 26.57 | 28.42 | .... | 216.73 | 250.21 | 274.96 | 304.21 |
| 16 | 13.94 | 14.49 | 24.56 | 28.95 | .... | 231.00 | 264.60 | 289.32 | 318.61 |
| 17 | 10.79 | 13.76 | 24.56 | 39.01 | .... | 255.19 | 288.99 | 313.66 | 343.06 |
| 18 | 13.76 | 24.44 | 38.27 | 52.71 | .... | 268.70 | 302.64 | 327.24 | 356.73 |
| 19 | 10.79 | 13.94 | 24.44 | 28.42 | .... | 244.72 | 278.42 | 303.12 | 332.46 |

Таблица 4б - Матрица номеров кластеров соответствующих ранжированным значениям евклидовых расстояний между кластерами среднемесячной температуры воздуха на высоте 2 м в северной части Тихого океана (январь)

| Кластеры | Порядковый номер ранжированных евклидовых расстояний | | | | | | | | |
|----------|--|----|----|----|------|----|----|----|-------------|
| | 2 (min) | 3 | 4 | 5 | ... | 16 | 17 | 18 | 19 (max) |
| 1 | 3 | 2 | 5 | 4 | .... | 16 | 19 | 17 | 18 |
| 2 | 3 | 5 | 1 | 4 | .... | 16 | 19 | 17 | 18 |
| 3 | 2 | 1 | 5 | 4 | .... | 16 | 19 | 17 | 18 |
| 4 | 7 | 5 | 2 | 6 | .... | 16 | 19 | 17 | 18 |
| 5 | 4 | 2 | 3 | 7 | .... | 16 | 19 | 17 | 18 |
| 6 | 10 | 8 | 11 | 7 | .... | 18 | 2 | 3 | 1 |
| 7 | 6 | 4 | 10 | 8 | .... | 19 | 1 | 17 | 18 |
| 8 | 11 | 10 | 9 | 6 | .... | 5 | 2 | 3 | 1 |
| 9 | 11 | 12 | 8 | 13 | .... | 5 | 2 | 3 | 1 |
| 10 | 8 | 6 | 11 | 9 | .... | 5 | 2 | 3 | 1 |
| 11 | 8 | 9 | 10 | 12 | .... | 5 | 2 | 3 | 1 |
| 12 | 13 | 9 | 14 | 11 | .... | 5 | 2 | 3 | 1 |
| 13 | 12 | 14 | 9 | 15 | .... | 5 | 2 | 3 | 1 |
| 14 | 13 | 15 | 12 | 16 | .... | 5 | 2 | 3 | 1 |
| 15 | 16 | 14 | 13 | 19 | .... | 5 | 2 | 3 | 1 |
| 16 | 19 | 15 | 17 | 14 | .... | 5 | 2 | 3 | 1 |
| 17 | 19 | 18 | 16 | 15 | .... | 5 | 2 | 3 | 1 |
| 18 | 17 | 19 | 16 | 15 | .... | 5 | 2 | 3 | 1 |
| 19 | 17 | 16 | 18 | 15 | .... | 5 | 2 | 3 | 1 |

Таблица 5а - Матрица ранжированных значений евклидовых расстояний между кластерами среднемесячной температуры воздуха на высоте 2 м в северной части Тихого океана (январь)

| Кластеры | Порядковый номер ранжированных евклидовых расстояний | | | | | | | | |
|----------|--|-------|--------|--------|------|--------|--------|--------|-------------|
| | 2 (min) | 3 | 4 | 5 | ... | 13 | 14 | 15 | 16 (max) |
| 1 | 37.81 | 91.60 | 104.15 | 162.62 | .... | 307.24 | 320.77 | 333.27 | 348.52 |
| 2 | 37.81 | 57.59 | 67.94 | 127.31 | .... | 271.84 | 285.34 | 297.82 | 313.07 |
| 3 | 36.67 | 61.00 | 67.94 | 101.35 | .... | 204.70 | 218.16 | 230.61 | 245.86 |
| 4 | 36.67 | 57.59 | 81.22 | 91.60 | .... | 224.17 | 237.61 | 250.05 | 265.25 |
| 5 | 41.21 | 55.91 | 61.00 | 71.70 | .... | 158.94 | 162.62 | 171.45 | 186.75 |
| 6 | 15.43 | 30.62 | 41.21 | 45.22 | .... | 130.51 | 145.80 | 168.01 | 203.26 |
| 7 | 14.73 | 16.89 | 30.62 | 30.99 | .... | 131.52 | 151.00 | 198.39 | 233.64 |
| 8 | 14.73 | 16.33 | 31.07 | 32.49 | .... | 146.00 | 165.55 | 212.94 | 248.19 |
| 9 | 15.43 | 16.89 | 31.07 | 47.16 | .... | 131.62 | 135.68 | 182.33 | 217.41 |
| 10 | 16.23 | 16.33 | 29.62 | 30.99 | .... | 162.04 | 181.69 | 229.04 | 264.32 |

Продолжение табл.5а

| Кластеры | Порядковый номер ранжированных евклидовых расстояний | | | | | | | | |
|----------|--|-------|-------|-------|------|--------|--------|--------|---------------|
| | 2 (min) | 3 | 4 | 5 | ... | 13 | 14 | 15 | 16 (max) |
| 11 | 13.41 | 16.23 | 26.95 | 32.49 | .... | 178.05 | 197.64 | 245.11 | 280.44 |
| 12 | 13.41 | 13.60 | 27.15 | 29.62 | .... | 191.25 | 210.78 | 258.36 | 293.74 |
| 13 | 13.60 | 13.60 | 26.16 | 26.95 | .... | 204.70 | 224.17 | 271.84 | 307.24 |
| 14 | 12.64 | 13.60 | 27.15 | 27.91 | .... | 218.16 | 237.61 | 285.34 | 320.77 |
| 15 | 15.51 | 27.91 | 41.47 | 55.00 | .... | 245.86 | 265.25 | 313.07 | 348.52 |
| 16 | 12.64 | 15.51 | 26.16 | 39.72 | .... | 230.61 | 250.05 | 297.82 | 333.27 |

Таблица 5б - Матрица номеров кластеров соответствующих ранжированным значениям евклидовых расстояний между кластерами среднемесячной температуры воздуха на высоте 2 м в северной части Тихого океана (январь)

| Кластеры | Порядковый номер ранжированных евклидовых расстояний | | | | | | | | |
|----------|--|----|----|----|------|----|----|----|-------------|
| | 2 (min) | 3 | 4 | 5 | ... | 13 | 14 | 15 | 16 (max) |
| 1 | 2 | 4 | 3 | 5 | .... | 13 | 14 | 16 | 15 |
| 2 | 1 | 4 | 3 | 5 | .... | 13 | 14 | 16 | 15 |
| 3 | 4 | 5 | 2 | 6 | .... | 13 | 14 | 16 | 15 |
| 4 | 3 | 2 | 5 | 1 | .... | 13 | 14 | 16 | 15 |
| 5 | 6 | 9 | 3 | 7 | .... | 14 | 1 | 16 | 15 |
| 6 | 9 | 7 | 5 | 8 | .... | 16 | 15 | 2 | 1 |
| 7 | 8 | 9 | 6 | 10 | .... | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 8 | 7 | 10 | 9 | 11 | .... | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 9 | 6 | 7 | 8 | 10 | .... | 15 | 4 | 2 | 1 |
| 10 | 11 | 8 | 12 | 7 | .... | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 11 | 12 | 10 | 13 | 8 | .... | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 12 | 11 | 13 | 14 | 10 | .... | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 13 | 12 | 14 | 16 | 11 | .... | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 14 | 16 | 13 | 12 | 15 | .... | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 15 | 16 | 14 | 13 | 12 | .... | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 16 | 14 | 15 | 13 | 12 | .... | 3 | 4 | 2 | 1 |

Вывод. Все приведенные особенности структуры распределения кластеров среднемесячной температуры воздуха на высоте 2м в северной части Тихого океана имеют хорошее физическое обоснование, подтверждённое рассчитанными значениями статистических характеристик. Объективность полученных результатов в совокупности с преимуществами используемого алгоритма (отсутствие предварительных условий, автоматическое определение оптимального количества кластеров, согласованность критериев определения независимости) подтвердили возможность применения УАИМКД при проведении исследований с использованием гидрометеорологических данных.

Список литературы

- 1 IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- 2 *Атлас океанов. Атлантический и Индийский океаны* / Под ред. С.Г. Горшкова. – Л: Изд.ГУНИО, 1977.
- 3 *Атлас океанов. Тихий океан* / Под ред. С.Г. Горшкова. – Л: Изд.ГУНИО, 1974.
- 4 *Серга Э.Н.* Универсальный итерационный метод кластеризации данных // Украинський гідрометеорологічний журнал.-2013.-№13. С.112-123.
- 5 *Смирнов Н.П., Воробьев В.Н.* Северо-Тихоокеанское колебание и динамика климата в Северной части Тихого Океана. – СПб: РГГМУ, 2002.-122с.
- 6 *Лемешко Б.Ю., Лемешко С.Б.* О сходимости распределений статистик и мощности критериев однородности Смирнова и Лемана-Розенблатта // Измерительная техника. -2005. - № 12. - С. 9-14.
- 7 *Лемешко Б.Ю., Лемешко С.Б., Миркин Е.П.* Исследование критериев проверки гипотез, используемых в задачах управления качеством // Материалы VII международной конференции “Актуальные проблемы электронного приборостроения” АПЭП-2004.- Новосибирск, 2004. – Т. 6. – С. 269-272.
- 8 *Лемешко Б.Ю., Помадин С.С.* Проверка гипотез о математических ожиданиях и дисперсиях в задачах метрологии и контроля качества при вероятностных законах, отличающихся от нормального // Метрология. - 2004. – № 3.- С.3-15.
- 9 *Орлов А.И.* О применении статистических методов в медико-биологических исследованиях // М.: «Вестник Академии наук СССР».- 1987.- №2. - С. 88-94.
- 10 *Орлов А.И.* О проверке однородности двух независимых выборок // Заводская лаборатория. – 2003. – Т.69, №1. – С.55-60.
- 11 *Крамер Г.* Математические методы статистики.: Пер. с англ.-2-е изд.- М,1975. – 325 с.
- 12 *Школьный Є.П., Лоева І.Д., Гончарова Л.Д.* Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: Підручник.- К.: Міносвіти України, 1999. – 600 с.
- 13 *Орлов А.И.* Состоятельные критерии проверки абсолютной однородности независимых выборок // «Заводская лаборатория. Диагностика материалов».- 2012.-Т.78, №11. – С.66-70.
- 14 *Большев Л.Н., Смирнов Н.В.* Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1983. – 416 с.
- 15 Служба данных ECMWF ERA-40 [Электронный ресурс].- Режим доступа к журналу.: <http://www.ecmwf.int/products/data>.

Кліматичне районування полів середньомісячної температури повітря в північній частині Тихого океану у зимовий період.

Серга Е.М., Сущенко А.І.

Пропонується схеми районування полів середньомісячної температури повітря на висоті 2 м в північній частині Тихого океану, виконаного за допомогою Універсального ітераційного методу кластеризації даних. Наведено фізичний і статистичний аналіз отриманих схем кластеризації, що має добре наукове обґрунтування. Показано, що розподіл середньомісячної температури повітря має в основному зональний характер, з меридіональними відхиленнями в районі берегової межі Північноамериканського континенту.

Ключові слова: середньомісячна температура повітря, кластер, критерій, внутрішньокластерна дисперсія, евклідова відстань.

Climate zoning of monthly air temperature in the North Pacific during winter.

Serga E.M., Sushchenko A.I.

The monthly air temperature zoning in the Northern Pacific has been obtained with the use of the Universal Cluster Iterative method. The proposed scheme has been verified from both physical and statistical points of view. The results showed the zonal distribution of monthly values over the Pacific Ocean, while meridional deviations were being occurred along the North America coast.

Keywords : monthly air temperature, cluster, criterion, intra-cluster variance, Euclidean distance.