

ГОДИШНИК НА СОФИЙСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“
ФИЗИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ

Том 108

ANNUAL OF SOFIA UNIVERSITY “ST. KLIMENT OHRIDSKI”
FACULTY OF PHYSICS

Volume 108

РОЗА НА ВЯТЪРА ИЛИ БИПЛОТ НА АНАЛИЗА НА СЪОТВЕТСТВИЯТА?

ВЛАДИМИР ИВАНОВ^{1,2}, СТИЛИЯН ЕВТИМОВ²

¹ *Национален институт по геофизика, геодезия и география, БАН*

² *Катедра „Метеорология и геофизика“*

Владимир Иванов, Стилиян Евтимов. РОЗА НА ВЯТЪРА ИЛИ БИПЛОТ НА АНАЛИЗА НА СЪОТВЕТСТВИЯТА?

В работата се демонстрират преимуществата на биплота на анализа на съответствията в сравнение с традиционната роза на вятъра при графичното представяне на данните за вятъра и тяхната интерпретация. За целта се изследва разпределението на вятъра по посока и скорост в станциите София и Варна за периода 2003/01/01–2012/12/31. Скоростта на вятъра се кодира по скалата на Beaufort, а посоката – по осемте основни румбове. Биплотът на анализа на съответствията за София показва, че преобладаващата посоката на силните ветрове е запад, а при слабите ветрове преобладават юг и югоизток. Биплотът за Варна показва, че силните ветрове са с преобладаваща посока от север, по-слабите от изток и югоизток, а най-слабите от юг, югозапад, северозапад и запад.

За контакти: Стилиян Евтимов, Катедра „Метеорология и геофизика“, Физически факултет, Софийски университет „Св. Климент Охридски“, бул. Дж. Баучер 5, 1164 София, тел.: +359 2 8161 413, E-mail: evtimov@phys.uni-sofia.bg.

The advantages of the correspondence analysis biplot in comparison with the traditional wind rose for graphical representation of wind data and their interpretation is demonstrated. The distribution of wind on its speed and direction at the stations Sofia and Varna, for the period 2003/01/01–2012/12/31 is examined for this purpose. The wind speed is recoded by the Beaufort scale and the wind direction by the main rhumb lines. The correspondence analysis biplot for the station Sofia shows that the prevailing direction of the strongest winds is west and the weaker winds are mainly from south and southeast. The biplot for Varna station shows that the strongest winds are mainly from the north, the not very strong ones from the east and southeast, and the weakest from the south, southwest, northwest and west.

Keywords: wind rose, correspondence analysis biplot, Sofia, Varna

PACS numbers: 92.60.Ry

1. УВОД

Данните за вятъра се използват широко в практиката и теоретичните изследвания. Тези данни са особено важни за наземния и въздушния транспорт, проектирането на сгради и съоразения, селското стопанство и енергетиката. За съжаление визуализацията и анализът на вятъра са затруднени, защото той е векторна величина с големина и посока. Обикновено за визуализация на данните за вятъра се използва т. нар. роза на вятъра. Тя представя повтаряемостта на вятъра по посока. От статистическа гледна точка розата на вятъра представлява кръгова хистограма, чийто сектори съответстват на посоките на вятъра. За визуализиране на съвместните данни за посоката и скоростта се използва категоризираната роза на вятъра. Статистически това е една кръгова натрупваща диаграма, секторите на която отново са посоката, а нивата, на които са разделени секторите, дават процентния принос на категориите на скоростта в съответната посока.

В настоящата работа ние даваме едно алтернативно графично представяне на съвместните данни за посоката и скоростта на вятъра. Това е биплотът на анализа на съответствията [1]. По принцип посоката и скоростта на вятъра са непрекъснати променливи. В практиката обаче те обикновено се рекодираат и данните се организират в честотна таблица. Редовете на таблицата се индексират с категориите на посоката, а стълбовете с категориите на скоростта. Една клетка съдържа броя на наблюденията, които попадат в съответната двойка категории на посоката и скоростта в проценти от общия брой наблюдения.

Ако приемем, че отделните наблюдения са независими, то от гледна точка на статистиката в случая имаме една типична таблица на спрягане на признаците. Анализът на съответствията е техника, специално разработена

за третирането на тези таблици, и ние бяхме учудени, когато не открихме в литературата нейни приложения към данните за вятъра. Още повече че позволявайки по принцип да се експонират скритите структурни връзки между редовете и стълбовете, в случая на вятъра анализът на съответствията би могъл да разкрие евентуалните връзки между различните категории на посоката и скоростта на вятъра. Подобна информация, естествено, е от несъмнен интерес в редица случаи.

В настоящата работа ние ще демонстрираме ефективността на анализа на съответствията при представянето и интерпретацията на данните за вятъра на базата на два конкретни примера. Това са данните за вятъра в София и Варна за периода 2003/01/01–2012/12/31.

Съдържанието на работата е, както следва. Раздел 2 представя данните и категоризирането на посоката и скоростта на вятъра. Раздел 3 и 4 представят розата и биплота на анализа на съответствията за вятъра съответно в София и Варна. Заключение и резюмира резултатите.

2. ДАННИ И ПРЕДВАРИТЕЛНИ ПРЕСМЯТАНИЯ

Данните, които ние използваме, са от базата данни на United States of America, National Climatic Data Center [2]. Метеорологичните станции са София (42,65°N, 23,38°E) и Варна (43,21°N, 27,95°E), изследваният период е 2003/01/01–2012/12/31, а интервалът на дискретизация е 30 минути. София е град в Западна България между две планини, разположени приблизително на юг и север от него. Варна е град в Североизточна България, на брега на Черно море.

Ние категоризираме скоростта на вятъра по скалата на Beaufort. Съгласно World Meteorological Organization [3] тази скала е от 13 нива. Първите две категории са *Calm* и *Light air* и те са за скорости на вятъра съответно в интервалите 0–0,2 m/s и 0,3–1,5 m/s. Следват бризовите категории, които са 5: *Light breeze* (1,6–3,3 m/s), *Gentle breeze* (3,4–5,4 m/s), *Moderate breeze* (5,5–7,9 m/s), *Fresh breeze* (8,0–10,7 m/s) и *Strong breeze* (10,8–13,8 m/s). Три са категориите за вихър: *Near gale* (13,9–17,1 m/s), *Gale* (17,2–20,7 m/s) и *Strong gale* (20,8–24,4 m/s). Категориите *Storm* и *Violent storm* съответстват на интервалите 24,5–28,4 m/s и 28,5–32,6 m/s и последната категория *Hurricane* е за ветрове 32,7 m/s и повече.

Посоката на вятъра ние категоризираме, декодирайки неговия азимут по основните 8 румбове. Северният вятър (N) е с азимути 337,5–360° или 0–22,5°, източният (E) – 67,5–112,5°, южният (S) – 157,5–202,5°, западният (W) – 247,5–292,5°, североизточният (NE) – 22,5–67,5°, югоизточният (SE) – 112,5–157,5°, югозападният (SW) – 202,5–247,5° и северозападният (NW) – 292,5–337,5°. Приведените интервали са отворени от лявата страна.

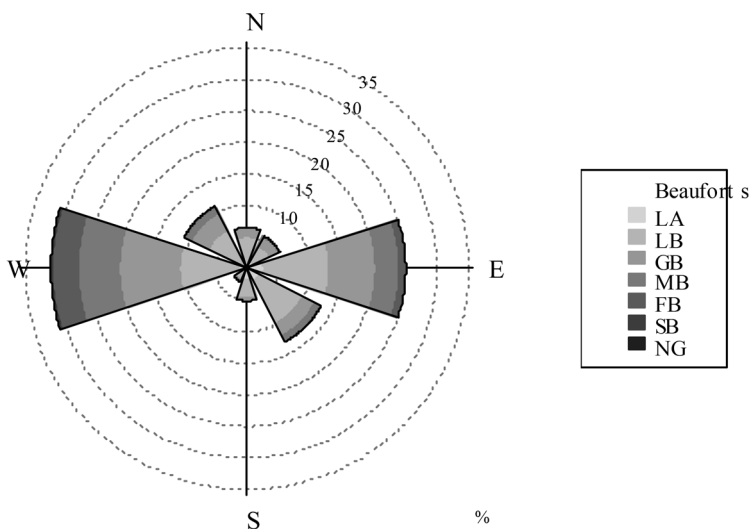
И така, имаме две категоризирани променливи – скорост на вятъра с 13 нива и посока на вятъра с 8 нива. Ние класифицираме наблюденията по нивата на тези две променливи и получаваме две таблици на спрягане на признаците – едната за София, а другата за Варна. Редовете на таблиците се индексират с категориите на посоката, а стълбовете с категориите на скоростта. Една клетка съдържа броя на наблюденията, които попадат в съответната двойка категории на посока и скорост.

Общият преглед на таблицата за София показва, че през периода, който разглеждаме, не се наблюдават скорости на вятъра от категориите *Gale*, *Strong gale*, *Storm* и *Hurricane*. Имаме един-единствен случай от категорията *Violent storm*. Измерването е на 2004/9/6 15 00, скоростта на вятъра е 30 m/s, азимутът е 50°. Без категориите *Calm* и *Violent storm*, които ние пропускаме, първоначалната таблица се редуцира до размери 8×7.

Прегледът на таблицата за Варна води до следните първоначални изводи. През периода, който разглеждаме, категориите *Violent storm* и *Hurricane* не се наблюдават. За разлика от София обаче, имаме случаи от категориите *Gale*, *Strong gale* и *Storm*. За категорията *Storm* случаят е само един. Той е на 2012/8/28 00 00, скоростта на вятъра е 26 m/s, азимутът е 230°. Без *Calm* и пропуснатата категория *Storm* първоначалната таблица се редуцира до размери 8×9.

3. СОФИЯ: РОЗА НА ВЯТЪРА ИЛИ БИПЛОТ НА ВЯТЪРА

Фиг. 1 представя категоризираната роза на вятъра в София за периода 2003/01/01–2012/12/31. Секторите на диаграмите съответстват на категориите на посоката. Радиалната височина на всеки сектор е в проценти, маркирани с прекъснатите окръжности. Всеки сектор е разделен на части с различна радиална дължина, запълнени в различни нюанси на сивия цвят. Всяка част съответства на определена категория на скоростта. Съответствието е според легендата към диаграмата. Височината на един сектор дава процента от наблюденията, за които вятърът е със съответната посока. Радиалната ширина на една част от даден сектор дава процента от всички наблюдения със съответните категории на посока и скорост. За даден сектор процентите на неговите части се „натрупват“, за да се образува пълният процент на случаите, в които се наблюдава тази посока. Очевидно тази роза на вятъра представя графично и в проценти честотната таблица за София, делена на сумата от числата във всички клетки. Секторите на диаграмата изобразяват редовете на таблицата, частите, на които те са разделени, са колоните, а всяка част – точно определена клетка.



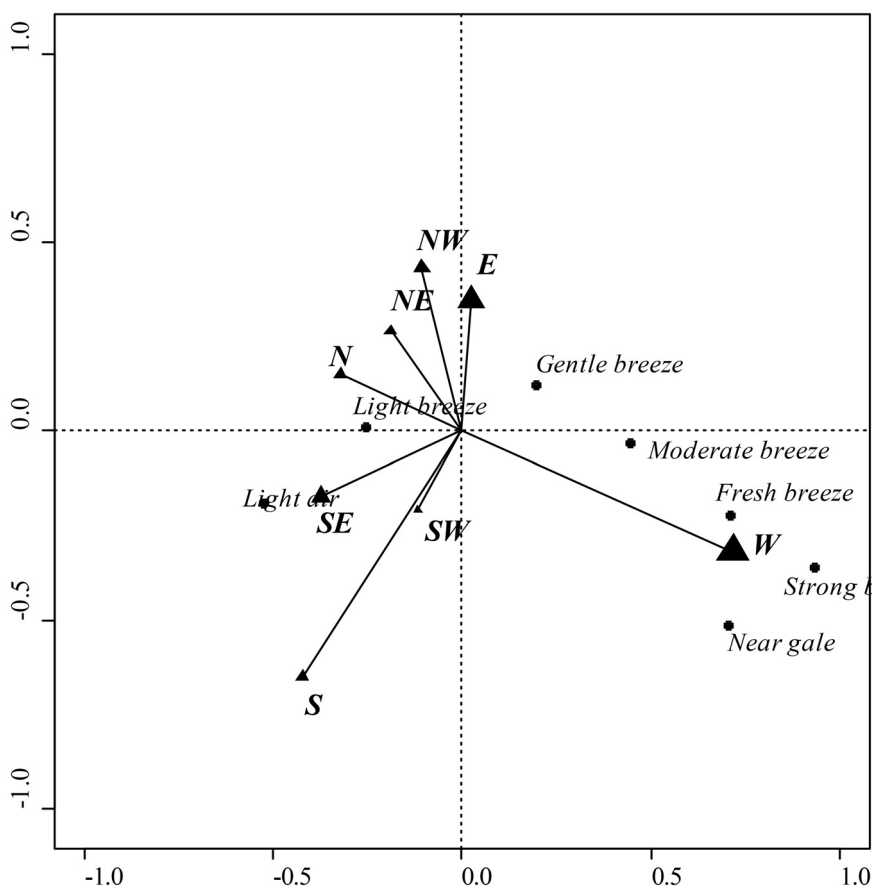
Фиг. 1. Категоризирана роза на вятъра в София за периода 2003–2012 г.

Каква информация дава в случая тази роза на вятъра? Това, което се вижда веднага, е преобладаването на западните и източните ветрове. Западните ветрове са малко над 30% от всичките случаи с вятър, а източните почти 25%. Следват югоизточните и северозападните ветрове с повече от два пъти по-нисък процент. Най-ниски са процентите на югозападните и североизточните ветрове.

Що се отнася до разпределението на скоростите на вятъра по посоките, то нещата вече не са толкова ясни. Лесно се съобразява например, че процентът на западните ветрове от категория *Light breeze* е около два пъти по-висок от този на северозападните ветрове от същата категория на скоростта. Действително, докато в първия случай, както може да се провери в таблицата, имаме 7,42 %, то във втория – процентът е 4,85. Ако се интересуваме обаче от въпроси от типа, по-висок ли е процентът на западните ветрове от категория *Light breeze* като част от всички западни ветрове от този на северозападните като част от всички северозападни, то нещата стават нетривиални и категоризираната роза на вятъра вече не може да даде лесен отговор. Именно в подобни случаи анализът на съответствията е с далеч по-висока потенциална ефективност.

Основни понятия в анализа на съответствията са профилите на редовете или стълбовете на една таблица на спрягане на признаците и техните маси [1]. Ще поясним тези понятия на базата на розата на вятъра на фиг. 1. Профилът на една посока на вятъра по категориите на скоростта се получава, като нормираме частите на съответния сектор на диаграмата към неговата височина. Самата височина на сектора представлява масата на тази посока. Аналогич-

но профилът на една категория на скоростта по категориите на посоките се получава, като разделим процентите на частите с еднакъв цвят на сумарния процент от всички тях, а този сумарен процент дава масата на тази категория на скоростта. Други общи основни понятия са *среден профил на редовете* и *среден профил на стълбовете* на таблицата [1]. Например в случая средният профил на скоростите по посоките на вятъра е векторът от височините на секторите в категоризираната роза на вятъра. Очевидно класическата роза на вятъра визуализира точно този среден профил. Друго основно понятие в теорията е т. нар. *инерция* [1]. Най-общо казано, това е едно обобщение на традиционната статистическа дисперсия, специално ориентирано към таблиците на спрягане на признаците.



Фиг. 2. Биplot на вятъра в София за периода 2003–2012 г.

Тук ние се интересуваме от скоростите във връзка с тяхното разпределение по посоки. За целта ще визуализираме честотната таблица на вятъра в София с един вариант на техниката на биплота на анализа на съответствията, при който се визуализират и приносите към инерцията на отделните посоки на вятъра. Тази техника е известна в специализираната литература като *contribution correspondence analysis biplot* [1]. Трябва да се отбележи, че в случая не се визуализира директно, както на фиг. 1, самата честотна таблица, а матрицата от отклоненията на профилите на скоростите от техния среден профил, нормирани към съответните стойности в средния профил. И накрая ще отбележим, че представянето на данните чрез биплота в общия случай е само приблизително.

Фиг. 2 представя биплота на анализа на съответствията за вятъра в София за периода 2003–2012 г. В случая биплотът представя почти перфектно таблицата, защото акумулира 96,7% на нейната инерция. Стрелките с плътните триъгълници съответстват на посоките, а точките – на категориите на скоростта. Големината на един триъгълник е в съответствие с масата на съответната посока. По-големият триъгълник означава по голяма маса. Дължината на една стрелка на квадрат показва относителния принос на съответната посока в акумулираната от биплота тотална инерция на таблицата, а квадратите на проекциите на стрелката върху двете координатни оси показват относителните приноси на посоката в инерциите, обяснени от тези оси. Ако проекцията на една точка върху дадена стрелка е в положителна посока на стрелката, това означава, че нормираното отклонение на съответната категория на скоростта от средния профил на скоростите е положително за тази посока. И обратно, ако проекцията е в отрицателна посока, отклонението е с отрицателен знак.

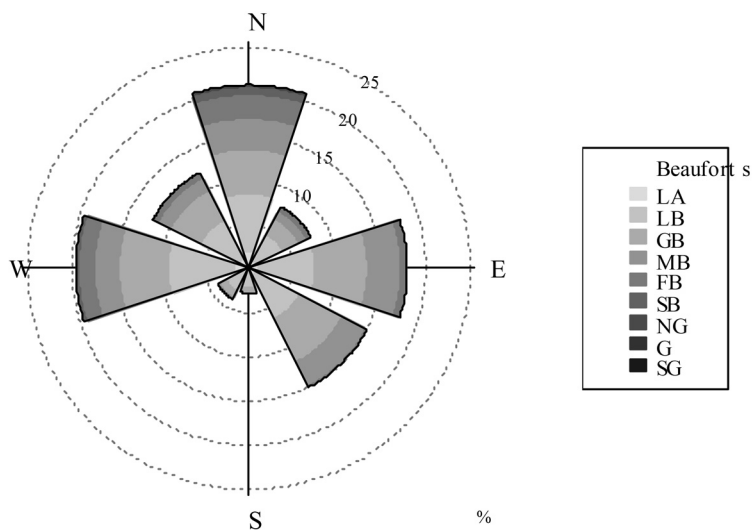
Както се вижда от фигурата, западните, източните, югоизточните и северозападните ветрове в низходящ ред са с най-големи маси. Доколкото по-големите маси означават, че тези посоки се наблюдават по-често, то този извод е напълно в съответствие с розата на ветровете на фиг. 1. Това не е неочаквано, като се има предвид високото качество на представянето от биплота. В низходящ ред стрелките W, S, NW и E са с най-голямата дължина. Доколкото това означава, че тези посоки са с най-висок относителен принос към обяснената от биплота инерция, то тези посоки са определящи за неговата ориентация и в този смисъл определят спецификата на ветровете в София. Посоката W е сред точките на силните ветрове *Moderate breeze*, *Fresh breeze*, *Strong breeze* и *Near gale*. Това означава, че нормираните отклонения на техните профили от средния профил за посоката запад са положителни. Казано накратко, западната посока преобладава в профилите на силните ветрове. Слабите ветрове *Light air* и *Light breeze* са в лявата страна на биплота. Както се вижда, в профила на *Light air* преобладават посоките юг и югоизток, а в профила на *Light breeze*

– югоизток и север. Накратко, слабите ветрове в София са с преобладаващи посоки югоизток, юг и север. Що се отнася до профила на *Gentle breeze*, то в него преобладават посоките изток и северозапад.

Да резюмираме. Биplotът на анализа на съответствията позволи да разкрием преобладаващите посоки в профилите на различните по сила ветрове в София. За силните ветрове *Moderate breeze*, *Fresh breeze*, *Strong breeze* и *Near gale* преобладава посоката запад, за слабите *Light air* и *Light breeze* – посоките юг и югоизток, а за междинния по сила *Gentle breeze* – изток и северозапад.

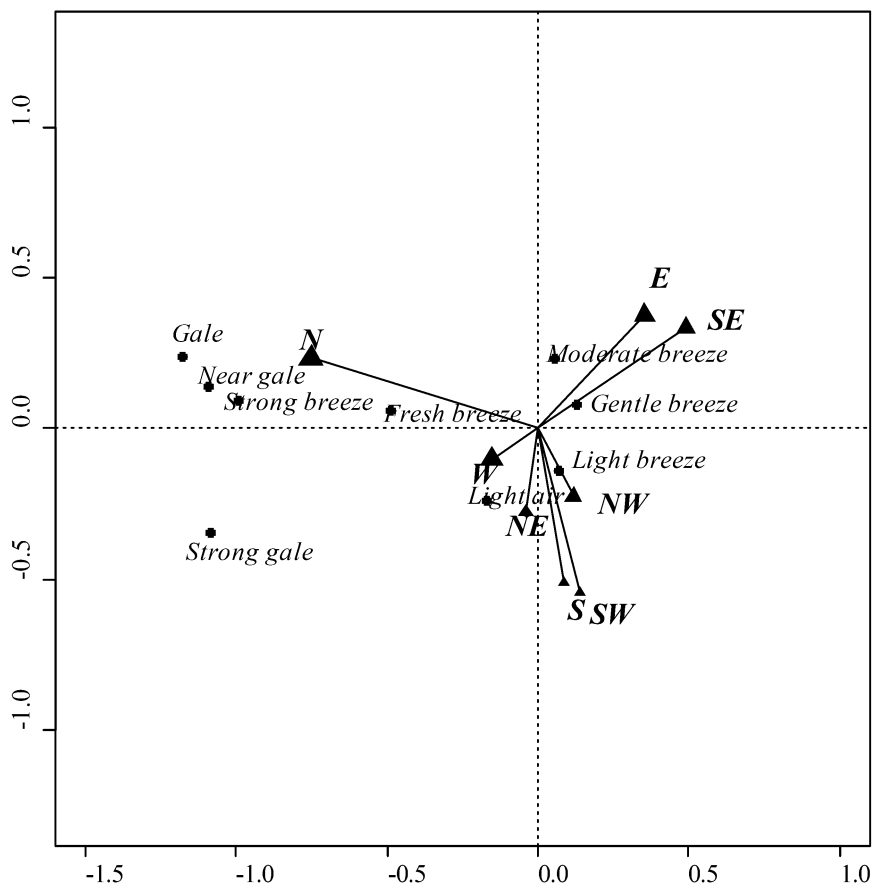
4. ВАРНА: РОЗА НА ВЯТЪРА ИЛИ БИПЛОТ НА ВЯТЪРА

Фиг. 3 представя категоризираната роза на вятъра във Варна за периода 2003/01/01–2012/12/31. Както се вижда от рисунката, в сравнение със София имаме две нови категории – *Gale* и *Strong gale*. От фигурата веднага се вижда, че преобладаващите посоки са север и запад с около 20% от всичките случаи с вятър. Следват източните и югоизточните ветрове. Най-ниски са процентите на южния и югозападния вятър. Що се отнася до разпределението на категориите на скоростта по посоките на вятъра, то този въпрос отново не може да получи по-ясен и изчерпателен отговор от тази диаграма. Още повече, в случая секторите на различните посоки имат по-богата вътрешна структура, отколкото при розата на вятъра в София. Затова ние отново ще използваме техниката на биplotа на анализа на съответствията във варианта от разд. 3.



Фиг. 3. Категоризирана роза на вятъра във Варна за периода 2003–2012 г.

Фиг. 4 представя бипота на анализа на съответствията за вятъра във Варна за периода 2003–2012 г. Качеството на представянето на честотната таблица отново е почти перфектно, защото биплотът акумулира 96,8% от нейната инерция.



Фиг. 4. Биплот на вятъра във Варна за периода 2003–2012 г.

Както се вижда от фигурата, северните, източните, североизточните и западните ветрове са с най-големи маси, като масите на последните три посоки са почти равни. Това е в пълно съответствие с височината на секторите на розата на вятъра на фиг. 3. Спецификата на ветровете във Варна се определя от посоките N, SE, SW и S, защото те са с най-голяма дължина. Посоката N е сред точките на силните ветрове *Fresh breeze*, *Strong breeze*, *Near gale*, *Gale* и *Strong gale*. Това означава, че северната посока преобладава в профилите на силните ветрове. Скоростите *Moderate breeze* и *Gentle breeze* са с преобладаващи посоки изток, югоизток. За по-слабия *Light breeze* преобладаващите

посоки са юг, югозапад и северозапад, а в профила на *Light air* – запад и северозапад.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целта на тази работа бе да се демонстрира ефективността на билота на анализа на съответствията при графичното представяне на данните за вятъра и тяхната интерпретация. Това бе направено по данните за станциите в София и Варна за периода 2003/01/01–2012/12/31. Скоростта и азимутът на вятъра бяха рекодирани съответно по скалата на Beaufort и основните румбове, наблюденията бяха класифицирани по нивата на тези две променливи и бяха построени съответните таблици на спрягане на признаците. С цел сравнение, таблиците бяха визуализирани с помощта на категоризираната роза на ветровете, а също и вариант на билота на анализа на съответствията.

Билотът на анализа на съответствията за София позволи да се разкрият преобладаващите посоки в профилите на различните по сила ветрове. Оказа се, че при силните ветрове *Moderate breeze*, *Fresh breeze*, *Strong breeze* и *Near gale* преобладаващата посоката е запад, за слабите *Light air* и *Light breeze* преобладават юг и югоизток, а за междинния по сила *Gentle breeze* – изток и северозапад.

За Варна силните ветрове *Fresh breeze*, *Strong breeze*, *Near gale*, *Gale* и *Strong gale* са с преобладаваща посока север. За скоростите *Moderate breeze* и *Gentle breeze* преобладават източните и югоизточните ветрове. По-слабият *Light breeze* е предимно от юг, югозапад и северозапад, а *Light air* – от запад и северозапад.

В заключение можем да кажем, че сравнението между двата подхода показва, че при високо качество на представянето билотът на анализа на съответствията е значително по-ефективен в сравнение с розата на вятъра за оценка на разпределението на скоростите по посоките на вятъра.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Greenacre, M. Biplots in Practice, Fundación. BBVA, 2010, 79–89.
- [2] National Atmospheric and Oceanic Administration. National Climatic Data Center. Integrated Surface database, <ftp://ftp3.ncdc.noaa.gov/pub/data/noaa/>, Retrieved 2013.
- [3] World Meteorological Organization, Manual On Codes International Codes Vol.I.1 Part A – Alphanumeric Codes, 2011.