

Семенова І.Г., к.геогр.н.

Одеський державний екологічний університет

## РЕГІОНАЛЬНА ЦИРКУЛЯЦІЯ АТМОСФЕРИ ТА УМОВИ ВИНИКНЕННЯ МОРСЬКИХ БРИЗІВ НА ПІВНІЧНОМУ УЗБЕРЕЖЖІ ЧОРНОГО МОРЯ

*Досліджено умови регіональної циркуляції атмосфери в період утворення морських бризів на північному узбережжі Чорного моря. Запропоновано регіональний циркуляційний індекс BSO (чорноморське коливання), який дозволяє виділити ситуації зі слабкими градієнтами тиску біля поверхні Землі в синоптичних умовах, сприятливих для виникнення морських бризів. Цей індекс застосовано як початковий об'єктивний фільтр для виділення умов в приземному полі тиску при розвитку бризів в Одесі та Маріуполі.*

**Ключові слова:** морський бриз, індекс циркуляції атмосфери, приземне поле тиску

**Вступ.** Для оцінки можливості виникнення бризів використовуються різноманітні методики, які враховують основні характеристики стану атмосфери та підстильної поверхні, що визначають появу бризу [1]. До таких характеристик відносяться: загальна (фонова) циркуляція, що визначає напрямок і швидкість вітру, які зумовлюються фоновим градієнтом тиску; ступінь прогріву суші та різниця температур поверхні суші і моря; наявність хмарності, опадів тощо. В деяких методиках ці характеристики зведені до параметрів або індексів, використання яких потребує уточнення для кожної конкретної місцевості.

В даному дослідженні виконано аналіз регіональної циркуляції атмосфери в травні-серпні 2000-2007 рр. за допомогою уведеного індексу чорноморського коливання (BSO), який враховує особливості розподілу тиску на півдні Східної Європи і над басейном Чорного моря. Цей індекс був створений за аналогією з регіональним індексом Західного Середземноморського коливання (WEMO), який відображає особливості розподілу тиску в умовах суша-море в Середземноморському басейні [4]. Індекс WEMO є різницею між стандартизованим щоденним тиском на станціях в барометричному диполі Сан-Фернандо (Іспанія) і Падуя (Італія). Цей індекс спрямований на виділення таких синоптичних процесів західного Середземномор'я, які характеризуються слабкими приземними градієнтами тиску, і на фоні яких формується денний бриз.

Індекс BSO був застосований для виділення макроциркуляційних ситуацій, коли в північно-західному Причорномор'ї (на прикладі м. Одеса) та в Приазов'ї (на прикладі м. Маріуполь) формуються сприятливі умови для утворення бризів.

### **Матеріали та методи дослідження.**

У загальному випадку для будь-якого регіону, який має власний стійкий за часом характер взаємодії підстильної поверхні і атмосфери, можна виявити регіональні диполі в баричному полі. Якщо розглядати південь Східної Європи, то тут має місце сусідство двох різних підстильних поверхонь: території суші і прилеглої акваторії Чорного моря. Така неоднорідність підстильної поверхні повинна призводити до різноманітності в температурному полі і полі тиску на близько розташованих територіях. Як відомо, над Чорним морем в холодне півріччя за рахунок термічних і динамічних чинників формується поле зниженого тиску - чорноморська депресія. У теплий період року, незважаючи на відносно підвищений тиск над Чорним морем, великий вплив має близькосхідна депресія, улоговина якої поширюється з півдня і південного сходу, а також часто спостерігається місцевий циклогенез в східній частині Чорного моря. Над

континентом в усі періоди року спостерігається поле підвищеного тиску, що пов'язано з діяльністю антициклонів з заходу та сходу.

Таким чином, можливе визначення двох станцій, розташованих на континенті та на Чорному морі, що представлятимуть дипольну структуру регіонального масштабу, в якій північне побережжя Чорного моря перебуватиме переважно в перехідній зоні між полюсами диполя.

В якості таких станцій було обрано м. Київ (Україна) і м. Синоп (Туреччина). У теплий період року перша станція знаходиться на схід від центральної частини континентального антициклону на еталонному полі [2], положення другої станції близьке до осі улоговини, орієнтованої з південного сходу на Чорне море. Оскільки перепад тиску вивчається над територією Чорноморського басейну, назвемо цю різницю, за аналогією з подібними роботами [4], індексом чорноморського коливання - BSO (Black Sea Oscillation).

Розрахунок щоденного індексу BSO виконувався за формулою

$$BSO_i = \left[ \frac{P_{Si} - X_{Si}}{\delta_{Si}} \right] - \left[ \frac{P_{Ki} - X_{Ki}}{\delta_{Ki}} \right], \quad (1)$$

де  $P_{Ki}$  і  $P_{Si}$  – осереднений за добу тиск на станціях Київ (Ki) і Синоп (Si) відповідно;  $X$  – середній щодобовий тиск за деякий період на відповідних станціях;  $\delta$  – стандартне відхилення тиску за деякий період на відповідних станціях.

Розрахований індекс BSO набуває додатних та від'ємних значень, при цьому позитивна фаза буде відповідати приземному перенесенню повітря вздовж північного узбережжя Чорного моря із західною складовою, негативна фаза – перенесенню зі східною складовою.

В дослідженні розрахунок індексу BSO був проведений за 2000-2007 рр. для місяців травень, червень, липень та серпень, які характеризуються встановленням літнього типу циркуляції атмосфери і найбільш сприятливими умовами для формування бризів на узбережжі Чорного моря. Щоденні дані про тиск, приведені до рівня моря, по вказаних станціях були отримані з архіву щоденних спостережень сервера «Погода Росії» ([http://meteo.infospace.ru/win/r\\_main.htm](http://meteo.infospace.ru/win/r_main.htm)).

Розрахований індекс BSO був застосований для виявлення найбільш сприятливих умов в приземному баричному полі для утворення бризів, для чого була оцінена повторюваність бризів в містах Одеса та Маріуполь. В обох пунктах за період, що розглядається, за даними про приземний вітер були визначені дні з бризовою циркуляцією. Для Маріуполя із залученням даних про стан атмосфери та підстильної поверхні був створений алгоритм визначення сприятливих умов для виникнення бризів із застосуванням індексу BSO. В якості вихідної інформації використані дані спостережень Одеської та Маріупольської ГМО, архіву «Погода России».

#### **Результати дослідження та їх аналіз.**

Розгляд розрахованих щоденних індексів BSO показав, що індекс зазнає певних коливань за часом, тобто існують періоди тривалої позитивної або негативної фази. Переважання негативної фази свідчить про стаціонування антициклону над континентом, завдяки чому в Причорноморському регіоні переважатиме східне перенесення біля поверхні Землі. Для позитивної фази характерним є перенесення повітря із західною складовою при зниженому тиску над континентом і підвищеному – над Чорним морем. Нейтральна фаза може свідчити не тільки про слабкий градієнт тиску, але й про меридіональне перенесення біля поверхні Землі, коли на станціях Київ і Синоп буде спостерігатися приблизно однаковий тиск.

Отже, в травні стійкі періоди з негативною або позитивною фазою були найбільш тривалі – до 14-16 днів поспіль. В червні в 6 роках переважала позитивна фаза, та стає помітним скорочення стійких періодів BSO одного знаку, які становитимуть не більше 7-10 днів. Цей факт також є характерним для інших літніх місяців. В липні негативна фаза BSO домінувала у 2001-2003 рр., а позитивна - в 2004-2007 рр. В серпні спостерігалось 5 років з переважанням негативною фазою BSO. Але виділяються 2003 та 2006 рр., коли позитивна фаза домінувала відповідно 28 та 27 днів на місяць.

Сумісний аналіз напрямку вітру вздовж північного узбережжя Чорного моря на приземних картах погоди та індексів BSO показав, що на негативну фазу припадають напрямки вітру північної, північно-східної та східної чверті горизонту з максимумом повторюваності східного напрямку. Напрямок схід - південний схід зустрічається як в позитивній, так і негативній фазах, як і північно-північно-західний вітер. Позитивній фазі відповідають вітри південної і західної чверті горизонту з максимумом повторюваності західного і південно-західного напрямку.

Аналіз повторюваності морських бризів за 2000-2007 рр. в Одесі показав, що найменша кількість днів з бризами - в середньому 9, виявляється в червні, адже в північно-західному Причорномор'ї цей місяць відрізняється нестійкою погодою і підвищеною порівняно з травнем циклонічною діяльністю, що не сприяє утворенню бризів. В липні та серпні встановлюється антициклонічний характер циркуляції і значно підвищується повторюваність бризів - до 15-16 днів на місяць в середньому. Максимальна кількість бризів відмічалася у липні 2007 р. – 22 дні. В середньому за літні місяці спостерігалось 52 дні з бризами.

Для визначення умов регіональної циркуляції атмосфери в період утворення бризів в Одесі був проведений аналіз розподілу днів з бризами по індексу BSO з метою виявлення характерного регіонального градієнта поля тиску, який можна використати як об'єктивний фільтр для визначення бризової ситуації.

Визначено, що найбільша повторюваність днів з бризами припадає на інтервал значень індексу BSO від -1 до +1 (рис. 1). При цьому при значеннях, близьких до нуля, повторюваність бризів дещо знижується, що може пояснюватися посиленням меридіональним переносом біля поверхні Землі.

В травні більша частина бризів спостерігалася при негативній фазі BSO. В літні місяці основна повторюваність бризів припадає на позитивну фазу BSO. Повторюваність бризів різко знижується при значеннях індексу BSO більше  $\pm 1,5$ . При значеннях більше  $\pm 2$  спостерігаються поодинокі випадки днів з бризами.

Аналіз розподілу частот повторюваності днів з бризами і днів без бризів по індексу BSO по кожному з місяців показав, що в процентному відношенні найбільш показовим є інтервал індексів  $[-0,75, 0,75]$  – на нього припадає від 61,5 до 68,5% всіх днів з бризами, тобто більше 2/3 всіх випадків. В той же час, на цей інтервал припадає лише близько 50% днів без бризів. Тобто, простий розрахунок індексу BSO в конкретний день місяця може використовуватися як перший фільтр (згідно [4]), що допоможе відфільтрувати 30% ситуацій з несприятливими умовами в полі тиску для формування бризів в Одесі.

Аналогічне дослідження умов формування бризів було виконано для м. Маріуполь [3]. За травень-вересень 2000-2008 рр. тут в середньому спостерігалось 25 днів з морськими бризами. Максимальна кількість – 33 дні відмічено у 2001 р. Розподіл кількості морських бризів по місяцях нерівномірний. Найбільша кількість днів із бризами спостерігалася в липні–серпні - 50% усіх випадків. В окремі роки бризів не було протягом цілого місяця, наприклад, в серпні 2004 р., у вересні 2001 і 2002 рр. Найчастіше бризи повторюються протягом 1-2 днів поспіль, рідше 3-4 дні. Однак при

наявності антициклонального поля над південним сходом України бризи в Маріуполі можуть відзначатися щодня більш тривалий період.

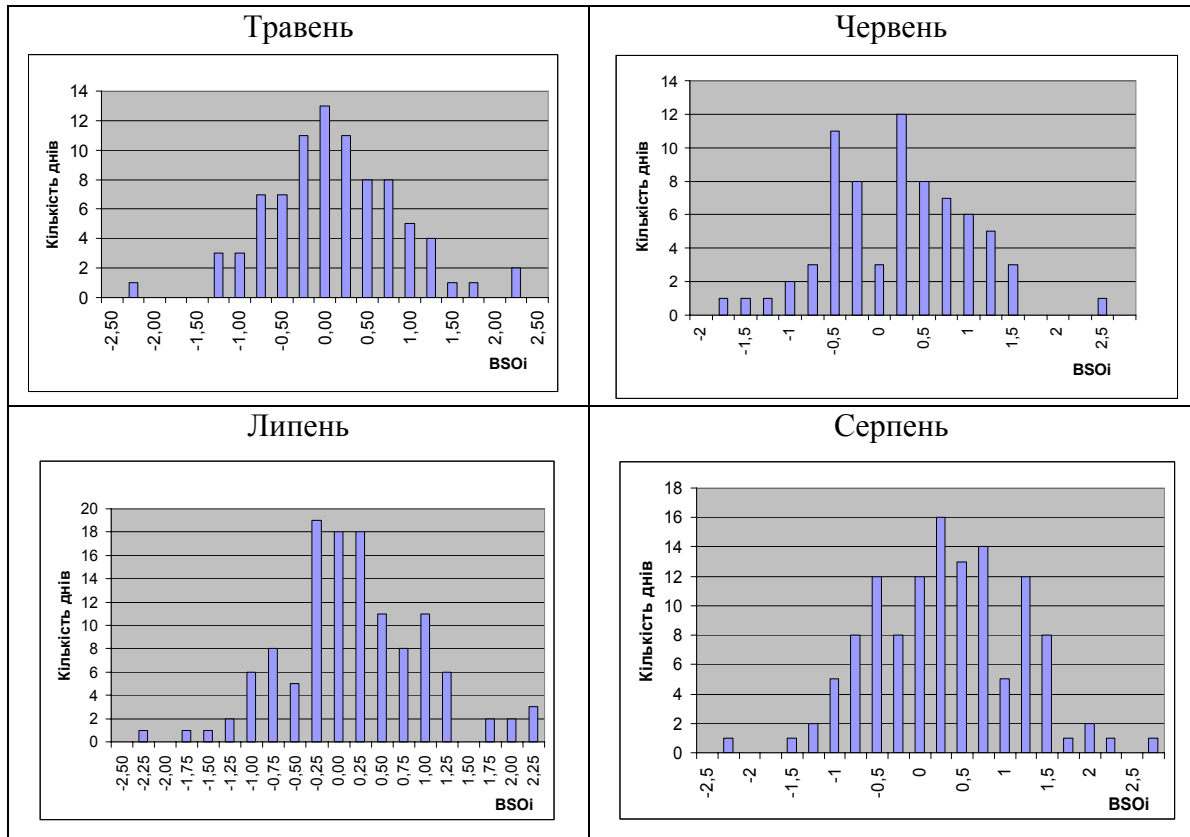


Рис. 1 - Розподіл днів з бризами в Одесі по індексу BSO в травні-серпні 2000-2007 рр.

Так, наприклад, у 2001 і 2007 рр. бризи спостерігалися протягом 5 днів (з 25 по 29 липня і з 11 по 15 червня відповідно); у 2002 р. - 7 днів (з 1 по 7 липня), у 2001 р. - 9 днів (з 13 по 21 липня). Напрямок вітру при морських бризах коливається від південно-східного до південного напрямків, що пов'язано з рельєфом берегової лінії, швидкість вітру в більшості випадків перевищує  $5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ .

З графіків розподілу днів з бризами в Маріуполі по індексу BSO видно, що найбільша повторюваність днів з бризами припадає на інтервал значень від -1 до +1 у травні, липні та від -0,75 до +0,75 у червні (рис. 2). В серпні розподіл дуже різномірний, бризи виникають майже в усьому інтервалі індексу BSO з максимумом повторюваності в нейтральній фазі. Тобто, в цьому місяці загальноциркуляційний фактор не є визначальним, адже при значному прогріві поверхні води в Азовському морі зникає необхідний для виникнення бризів контраст температур суша-море.

В червні та липні більша частина бризів спостерігалася при негативній фазі BSO, тобто при фоновому перенесенні повітря з східною складовою. В травні та серпні найбільша повторюваність бризів припадає на позитивну фазу BSO, що відповідає підвищеному тиску над Азово-Чорноморським басейном та встановленню фонового перенесення повітря в регіоні із західною складовою.

Аналіз розподілу частот повторюваності днів з бризами і днів без бризів по індексу BSO для Маріуполя показав значні відмінності від аналогічного розподілу для Одеси. В червні та липні в процентному відношенні найбільш показовим визначився

інтервал індексу  $[-0.75, 0.75]$ , де повторюваність днів з бризами на 23% перевищує кількість днів без бризів. В травні близькими за значущістю є інтервали  $[-0.5, 0.5]$  та  $[-1, 1]$  – перевищення кількості днів з бризами тут становить 10-11%. В серпні, завдяки значному прогріву поверхні води, морські бризи утворюються лише за сприятливих умов в широкому інтервалі індексу BSO  $[-1.5, 1.5]$  – тут спостерігається незначне (близько 3%) перевищення кількості днів з бризами. Таким чином, для Маріуполя виявилось неможливим визначити інтервал індексу BSO, єдиний для всього теплого періоду року, отже для кожного місяця треба використовувати в якості першого фільтра для прогнозу морського бризу різні інтервали індексу BSO.

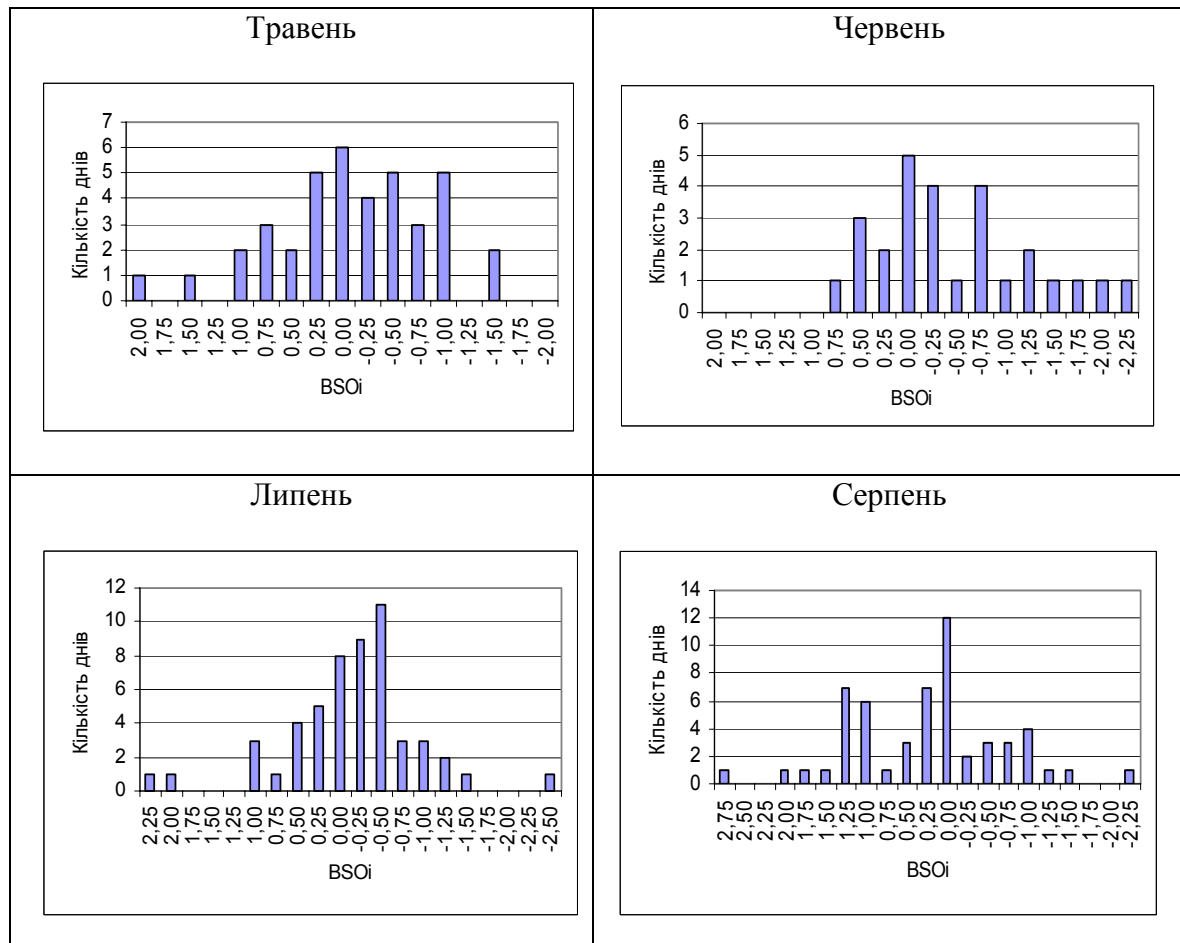


Рис. 2 - Розподіл днів з бризами в Маріуполі по індексу BSO в травні-серпні 2000-2007 рр.

З використанням індексу, що характеризує синоптичну ситуацію, алгоритм прогнозу бризу на день складається з двох етапів [3]. Першим фільтром, в якості якого береться циркуляційний індекс, відсіюються несприятливі для виникнення бризу синоптичні ситуації. Якщо циркуляційні умови сприятливі, використовується другий (додатковий) фільтр, який складається з даних про середні значення стану атмосфери та води в певний місяць: різниця температур суша-море, швидкість приземного вітру вранці, температура морської води тощо. Так, для прогнозу виникнення морського бризу в Маріуполі в липні з використанням індексу BSO можна використовувати таку схему (рис. 3). Вся вихідна інформація береться в ранкові години за місцевим часом.

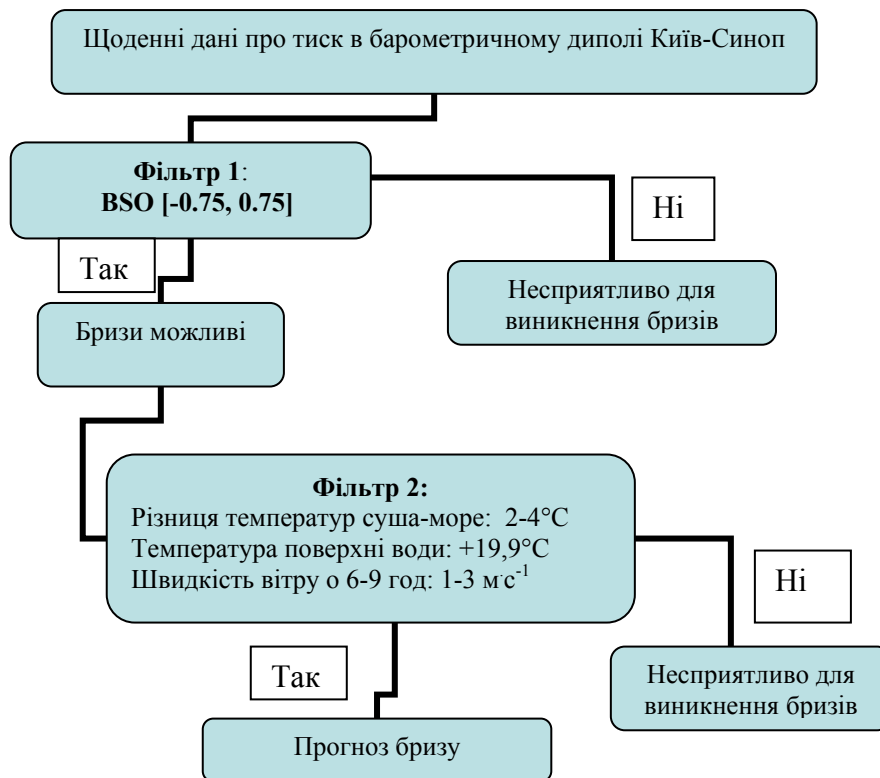


Рис. 3 – Алгоритм прогнозу виникнення морського бризу в Маріуполі для липня.

За даними спостережень по м. Маріуполь за період 2000-2007 рр. були визначені середні умови, за яких спостерігалися бризи [3]. Таким чином, фільтри, які можуть використовуватися для визначення умов, сприятливих для виникнення бризів, мають наступний вигляд (табл. 1).

Таблиця 1 – Значення фільтрів при визначенні сприятливих умов для виникнення морських бризів в Маріуполі

Місяць	Фільтр 1	Фільтр 2
	інтервал індексу BSO	середні значення
Травень	[-1.0, 1.0]	Різниця температур суша-море: 4-6 °C Температура поверхні води: +15,2 °C Швидкість вітру о 6-9 год: 1-3 мс <sup>-1</sup>
Червень	[-0.75, 0.75]	Різниця температур суша-море: 3-5 °C Температура поверхні води: +14,8 °C Швидкість вітру о 6-9 год: 0-2 мс <sup>-1</sup>
Липень	[-0.75, 0.75]	Різниця температур суша-море: 2-4 °C Температура поверхні води: +19,9 °C Швидкість вітру о 6-9 год: 1-3 мс <sup>-1</sup>
Серпень	[-1.5, 1.5]	Різниця температур суша-море: 3-5 °C Температура поверхні води: +22,7 °C Швидкість вітру о 6-9 год: 1-3 мс <sup>-1</sup>

## Висновки.

Запропонований індекс BSO відображає регіональний характер циркуляційних процесів та може використовуватися для прогнозу виникнення бризових циркуляцій як об'єктивний фільтр по відбору найсприятливіших умов в приземному полі тиску. Однак, використання індексу є недоцільним в тому разі, якщо макроциркуляційний фактор має однакову значущість з термічним фактором, а саме ступенем прогріву поверхні моря та суші, наприклад, наприкінці літа на Азовському морі.

## Список літератури

1. Бурман Э.Я. Местные ветры. - Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 276 с.
2. Мартазинова В.Ф., Свердлик Т.А. Изменения крупномасштабной атмосферной циркуляции воздуха на протяжении XX века и ее влияние на погодные условия и региональную циркуляцию воздуха в Украине // Украинский географический журнал. 2001. – № 2. – С. 28-34.
3. Семёнова И.Г., Петрова В.Н. Характеристика бризов в Мариуполе // Сб. научн. трудов по материалам научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований ‘ 2010». Том 30. География, История. – Одесса, 2010. – С. 3-4.
4. Azorin-Molina C., Lopez-Bustins J.-A. An automated sea breeze selection technique based on regional sea-level pressure difference: WeMOi // Int. J. Climatol. 2008. - V. 28(12). - P. 1681-1692.

### **Региональная циркуляция атмосферы и условия возникновения морских бризов на северном побережье Чёрного моря. Семёнова И.Г.**

*Исследованы условия региональной циркуляции атмосферы в период возникновения морских бризов на северном побережье Чёрного моря. Преложен региональный циркуляционный индекс BSO (черноморское колебание), который позволяет выделить ситуации со слабыми градиентами давления у поверхности Земли в синоптических условиях, благоприятных для возникновения морских бризов. Этот индекс применен как начальный объективный фильтр для выделения условий в приземном поле давления при развитии бризов в Одессе и Мариуполе.*

**Ключевые слова:** морской бриз, индекс циркуляции атмосферы, приземное поле давления

### **A regional atmospheric circulation and sea breeze conditions on north coast of the Black Sea.**

**Semenova I.G.**

*A regional atmospheric circulation associated with sea breezes development on the north coast of the Black sea were researched. A defined regional circulation index BSO (Black Sea Oscillation) was chosen for selecting weak surface pressure gradients in the synoptic situations suitable for sea breeze. This index was used as an initial objective filter for selecting surface pressure conditions for sea breeze development in Odessa and Mariupol.*

**Keywords:** sea breeze, atmospheric circulation index, surface pressure