

НЕБЕЗПЕЧНІ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ МОРЯ У ПОРТУ МАРІУПОЛЬ: СПРИЯТЛИВІ СИНОПТИЧНІ ПРОЦЕСИ ТА ВПЛИВ ПІВНІЧНО- АТЛАНТИЧНОГО КОЛИВАННЯ

Визначаються синоптичні процеси, які сприяють підвищенню рівня моря у порту Маріуполь як небезпечного явища. Показано, що ці явища найчастіше спостерігаються на південній периферії блокуючого антициклону та у південно-західній частині циклону. Також простежується зв'язок між змінами фази Північно-атлантичного коливання та підвищенням рівня моря у порту Маріуполь на синоптичному масштабі часу.

Ключові слова: підвищення рівня моря, синоптичні процеси, Північно-атлантичне коливання

Вступ. Разом з сильним вітром та високими хвилями згінно-нагінні процеси на мілкому морі є дуже небезпечним явищем. Дійсно, згінно-нагінні явища, спричинені штормовими вітрами, призводять до порушення нормальної діяльності морського флоту та різноманітних підприємств, розташованих у прибережній зоні. Під час істотних підвищень рівня моря є можливим затоплення території портів, руйнування гідротехнічних споруд, складських приміщень, житлових будівель тощо. Навпаки, якщо має місце істотне зниження рівня моря, зменшується й без того обмежена глибина підхідних каналів, що порушує роботу портів. Наведене може розглядатися як цілком достатня підстава для розробки та удосконалення методів прогнозу коливань рівня моря у портах.

На сьогодні існує декілька підходів до прогнозу рівня моря. По-перше, використовується гідродинамічний підхід (наприклад, у роботі [1]), коли чисельними методами розв'язується система рівнянь мілкої води. По-друге, можна адаптувати до певного порту фізико-статистичну модель (див. роботу [2]), в якій велика увага приділяється складовим швидкості вітру та місцевим особливостям розташування порту. По-третє, можна застосувати деякі нелінійні методи прогнозу, наприклад, з теорії хаосу або штучних нейронних мереж, як це пропонується в роботах [3, 4].

Проте якщо розглядати тільки ті рівні, які перевищують критерій небезпечного явища (НЯ), що спостерігається тільки декілька разів на рік, спочатку потрібно визначити характерні синоптичні процеси, які зумовили посилення вітру в акваторії порту і, як наслідок, істотне підвищення або зниження рівня моря. Останнє ж, по суті, є типізацією синоптичних процесів, яка робиться за допомогою синоптичного матеріалу для випадків, коли мала місце якась подія, як наприклад, у нашому випадку небезпечне підвищення рівня моря в порту Маріуполь.

Інколи також є доцільним визначення впливу окремого великомасштабного процесу на виникнення того чи іншого явища. Якщо розглядається Європа, то головним претендентом на такий процес є Північно-атлантичне коливання (ПАК), вплив якого можна простежити майже на всі атмосферні та більшість океанічних процесів у Атлантико-Європейському секторі [5]. Зокрема, фаза Північно-атлантичного коливання визначає основні траєкторії переміщення циклонів над Європою і відповідно можливі штормові умови в Азовському морі.

Таким чином, важливість вивчення синоптичних факторів підвищення рівня моря визначає мету цього дослідження, яка полягає у дослідженні найсприятливіших для цього явища у Маріупольському порту великомасштабних атмосферних процесів.

Вихідні дані та методологія дослідження. Порт Маріуполь розташований на 47°03' півн.ш. та 37°30' сх.д. у північно-західній частині Таганрозької затоки

Азовського моря у 14 милях від входу до затоки. Середня глибина на фарватерах становить 12 м, що дозволяє обслуговувати судна з осадкою до 8 м. Навігація у порту є цілорічною. Багаторічний середній рівень моря дорівнює 471 см, а перевищення рівня 531 см вважається небезпечним явищем.

У цій статті наводяться результати дослідження часового ряду середньогодинних вимірювань рівня моря з 1985 по 2005 рік. Протягом усього цього періоду спостерігались 84 небезпечні явища, що у середньому становить 4 небезпечних підвищення рівня моря у порту Маріуполь на рік. Протягом більшості років кількість НЯ не перевищувала 6 на рік, і тільки у 2000 та 2004 роках вона становила 11 НЯ, що й зумовлює додатний тренд у річній кількості явищ протягом розглянутого періоду, хоча у 2003 році НЯ за підвищенням рівня моря зовсім не спостерігалось (рис. 1). Додатний тренд можна пояснити збільшенням екстремальних явищ погоди у всьому світі, спричинених існуючими змінами клімату.

Майже три чверті усіх НЯ реєструвалися з лютого по червень, а у серпні вони були зовсім відсутні (рис. 2). Такий розподіл свідчить про те, що у другій половині зими та весною над Чорним та Азовським морями має місце підвищена активність циклонів, з якими і пов'язана переважна більшість підвищень рівня моря до рівня НЯ.

У середньому за розглянутий період для НЯ рівень моря становив 545 см, у квітні 1997 року був досягнутий абсолютний максимум у 614 см, що майже на півтора метра перевищувало багаторічний середній рівень моря у порту Маріуполь і є стихійним гідрометеорологічним явищем, для якого встановлено межу в 601 см. Також у середньому НЯ реєструвалося протягом 7,5 годин, але у червні 2001 року воно тривало 52 години, тобто більше 2 діб. Проте більшість (60 відсотків) тривалостей НЯ не перевищувала 10 годин, а аналогічна характеристика для рівня моря становила 545 см (рис. 3). У цілому ж, порівнюючи рис. 3а та 3б, за меншої тривалості небезпечних підвищень спостерігався й менший рівень моря.

Типізацію синоптичних процесів зазвичай здійснюють за допомогою аналізу карт погоди для випадків, коли мало місце певне явище. Отже якщо розглядаються

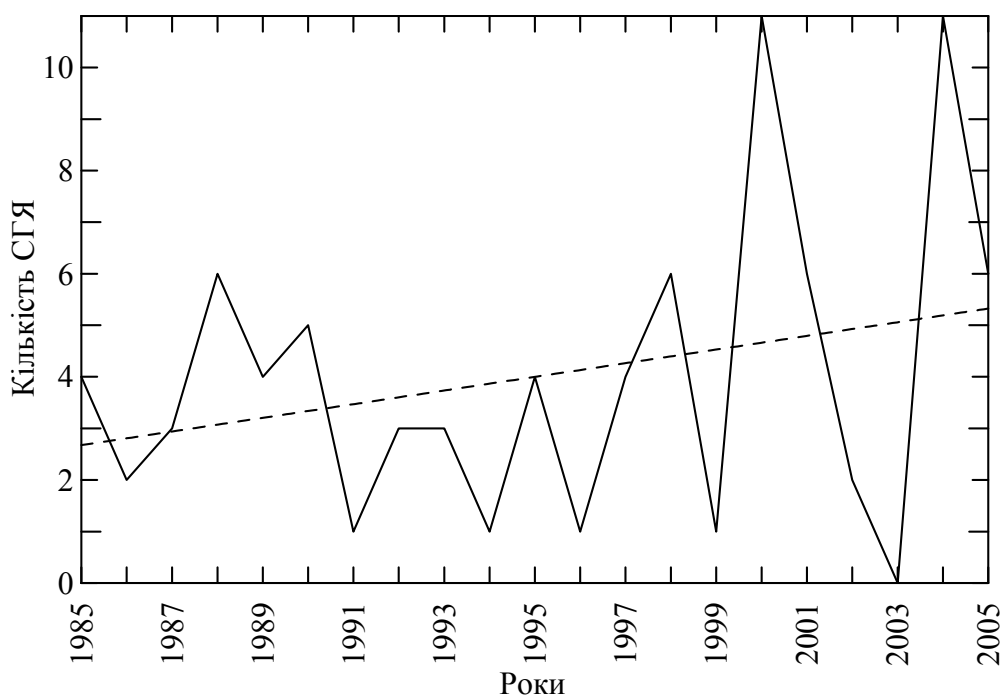


Рис. 1 – Кількість по роках підвищень рівня моря у порту Маріуполь, які перевищили критерій НЯ (531 см), за 1985-2005 роки.

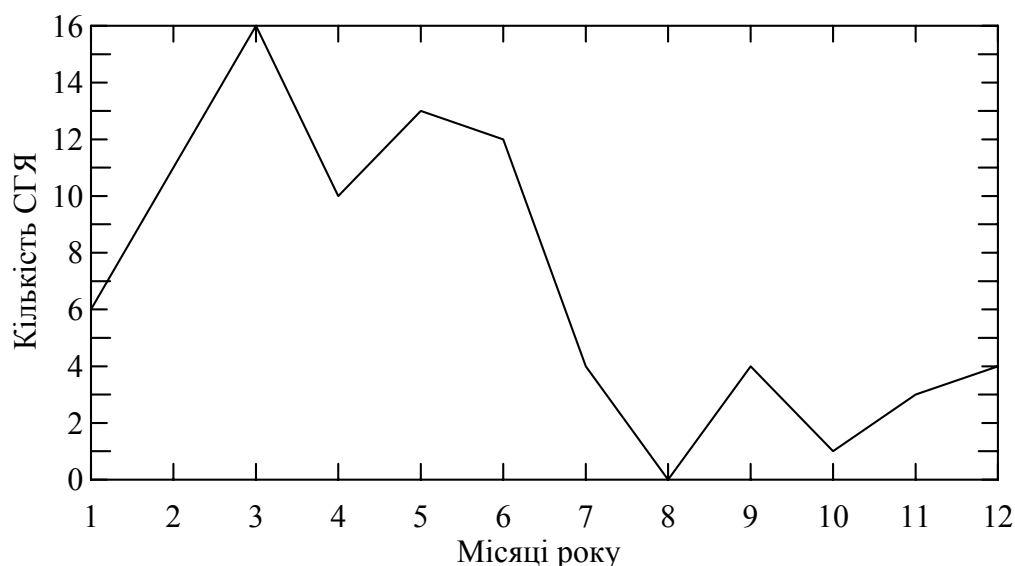


Рис. 2 – Кількість по місяцях року підвищень рівня моря у порту Маріуполь, які перевищили критерій НЯ (531 см), за 1985-2005 роки.

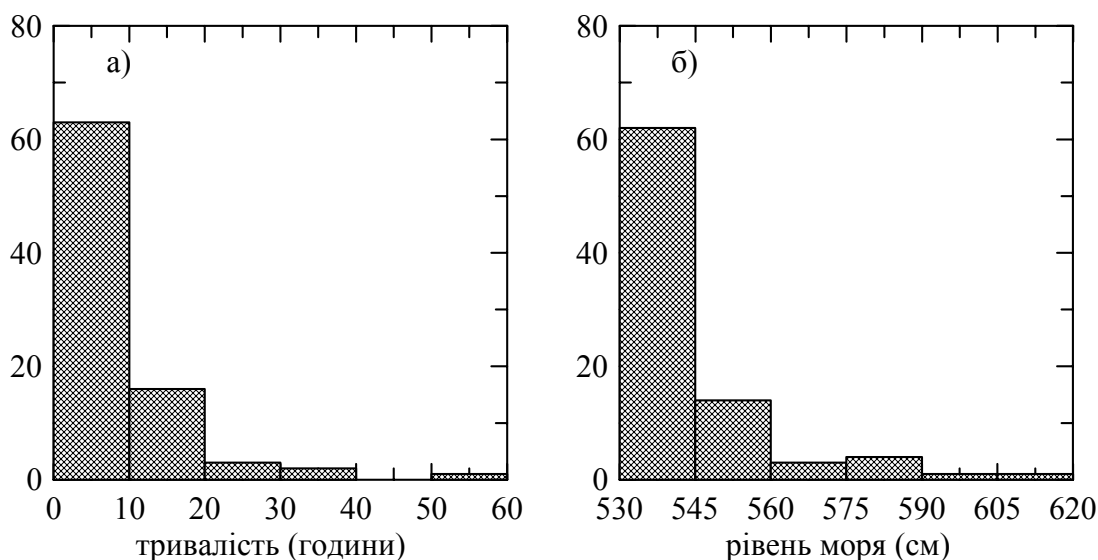


Рис. 3 – Повторюваність тривалості (а) та рівня моря (б) у порту Маріуполь, які перевищили критерій НЯ (531 см), за 1985-2005 роки.

рівні моря, які перевищили НЯ, то для всіх строків, коли це мало місце, треба проаналізувати синоптичну ситуацію, яка склалася над Азовським морем. Інший підхід, який надає більш узагальнену картину, ґрунтується на застосуванні компонентного аналізу. Суть його полягає у наступному.

Нехай є масив даних про атмосферний тиск на рівні моря для певних календарних дат. У нашому випадку розглянемо вузли сітки, обмеженої 0° та 70° сх.д. і 30° та 80° півн.ш., з кроком $2,5^\circ$ в обох напрямках. Тоді дані можна записати у вигляді $\mathbf{x}(t) = [x_1, \dots, x_l]$, де кожна змінна x_i ($i = 1, \dots, l$) містить N спостережень, позначених індексом t . За допомогою компонентного аналізу можна відшукати такі вектори $\mathbf{u}(t)$ та \mathbf{a} , що

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{a} \cdot \mathbf{x}(t) \quad (1)$$

за умови мінімізації

$$\langle \| \mathbf{x}(t) - \mathbf{a}u(t) \|^2 \rangle, \quad (2)$$

де дужками $\langle \rangle$ позначене часове осереднення. Тут $u(t)$ має назву першого головного компонента, а \mathbf{a} є першим власним вектором матриці коваріації даних. Для того, щоб відшукати другий власний вектор та другий компонент, треба застосувати вирази (1)-(2) для залишку $\| \mathbf{x}(t) - \mathbf{a}u(t) \|^2$ і так далі для інших векторів. Також можна одержати й дисперсії відповідних ортогональних компонентів, які, з достатнім наближенням, можна трактувати як відсоток для певної «синоптичної ситуації», яка описується полем відповідного власного вектора. Цей підхід буде ілюстровано у наступному розділі. Як вихідну інформацію для компонентного аналізу використаємо дані реаналізу NCEP/NCAR про атмосферний тиск на рівні моря у вузлах зазначеної вище сітки для календарних дат, коли у порту Маріуполь мало місце перевищення рівня моря 531 см.

Нарешті, щоб визначити вплив Північно-атлантичного коливання на виникнення НЯ за підвищеним рівнем моря у порту Маріуполь, застосуємо безперервне вейвлет-перетворення між добовими індексами ПАК та середньодобовим рівнем моря у порту Маріуполь. Такий підхід вже неодноразово застосовувався для аналізу аналогічних процесів (див., наприклад, [6, 7]).

Результати та їх аналіз. На рис. 4 наведені поля перших двох власних векторів поля атмосферного тиску; перший з цих векторів описує 44% дисперсії цього поля, а другий – 19%. На першому з них (рис. 4 зліва) чітко простежується монополь з додатними значеннями в центрі, розташований над Баренцовим морем. Така структура поля тиску може відповідати так званому блокуючому антициклону, південна периферія якого сягає Чорного та Азовського морями. У випадку, коли з півдня до цього регіону наближається циклон, відбувається його затримання на південній периферії антициклону, внаслідок чого над Чорним та Азовським морем збільшуються баричні градієнти та посилюється вітер і утворюються штормові умови. Саме ця синоптична ситуація й може призвести до підвищення рівня моря у порту Маріуполь. Цікаво, що самі циклони на цьому рисунку не простежуються, тому що їх внесок у мінливість поля тиску має менший часовий масштаб.

Поле другого власного вектора (рис. 4 справа) характеризується диполем з додатним центром, розташованим над Гренландським морем, та від'ємним – над

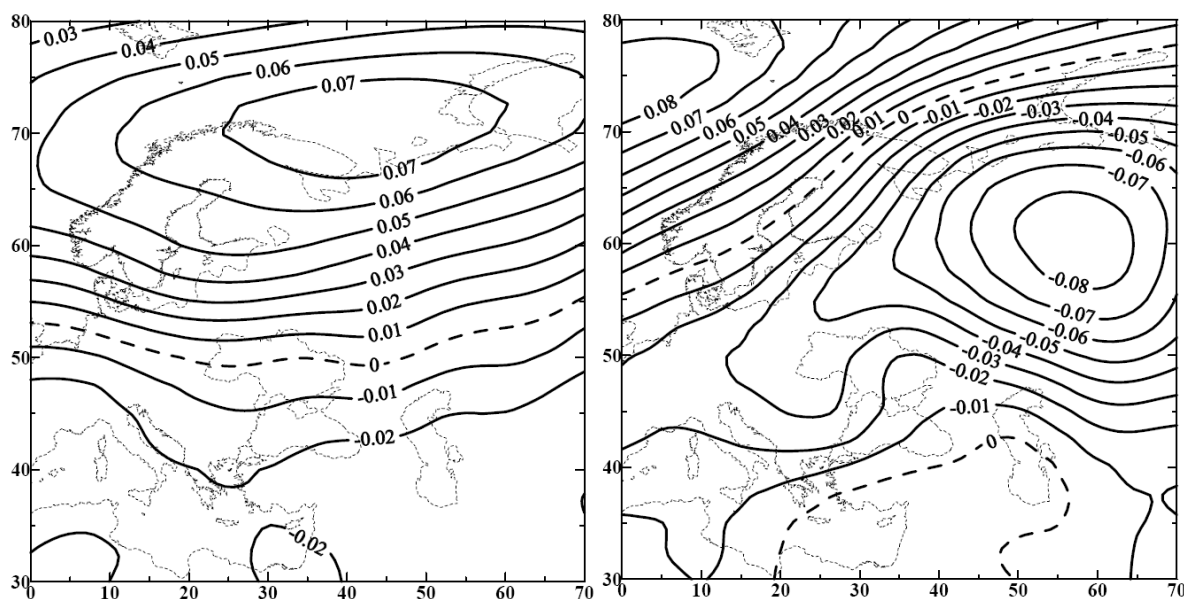


Рис. 4 – Поля першого (зліва) та другого (справа) власних векторів розкладення поля тиску на рівні моря для випадків рівнів моря у порту Маріуполь, які перевищили критерій НЯ (531 см), за 1985-2005 роки.

Середнім Уралом. Від останнього центра дії на Україну розповсюджується улоговина, на південній периферії якої над Азовським морем спостерігається вітер південних напрямків, що також може призвести до виникнення нагінних явищ у порту Маріуполь.

Отже, найсприятливішими синоптичними умовами небезпечного підвищення рівня моря у порту Маріуполь є блокування циклону над Чорним і Азовським морями та сильні південні вітри на південно-західній периферії великого циклону з центром над Уралом. Відзначимо також, що аналіз синоптичних ситуацій за картами погоди показав непогану узгодженість з одержаними вище результатами, а саме, приблизно 50% усіх нагонів у Маріуполі спостерігалися з блокуючим антициклоном, а ще близько 15% - на південних периферіях глибоких циклонів.

Нарешті, розглянемо вплив Північно-атлантичного колювання на виникнення небезпечних підвищень рівня моря. Для цього було виконано перехресне вейвлет-перетворення (XWT) для середньодобових індексів ПАК та рівнів моря у порту Маріуполь за січень-липень 2004 року, коли поспіль відзначалися небезпечні явища. Ці НЯ були не дуже інтенсивними, тому що максимум у середині лютого становив тільки 545 см, а наприкінці травня – 546 см, але цікавим є те, що їх кількість становила 11.

Як можна бачити на рис. 5, на часових масштабах з періодом 4-8 та 16-20 днів існує значуща спільна вейвлет-потужність між змінами індексу ПАК та рівнем моря, причому якщо розглядати весь період, то для усіх випадків підвищення рівня моря можна виявити значущу вейвлет-потужність. Але у випадках, коли мали місце

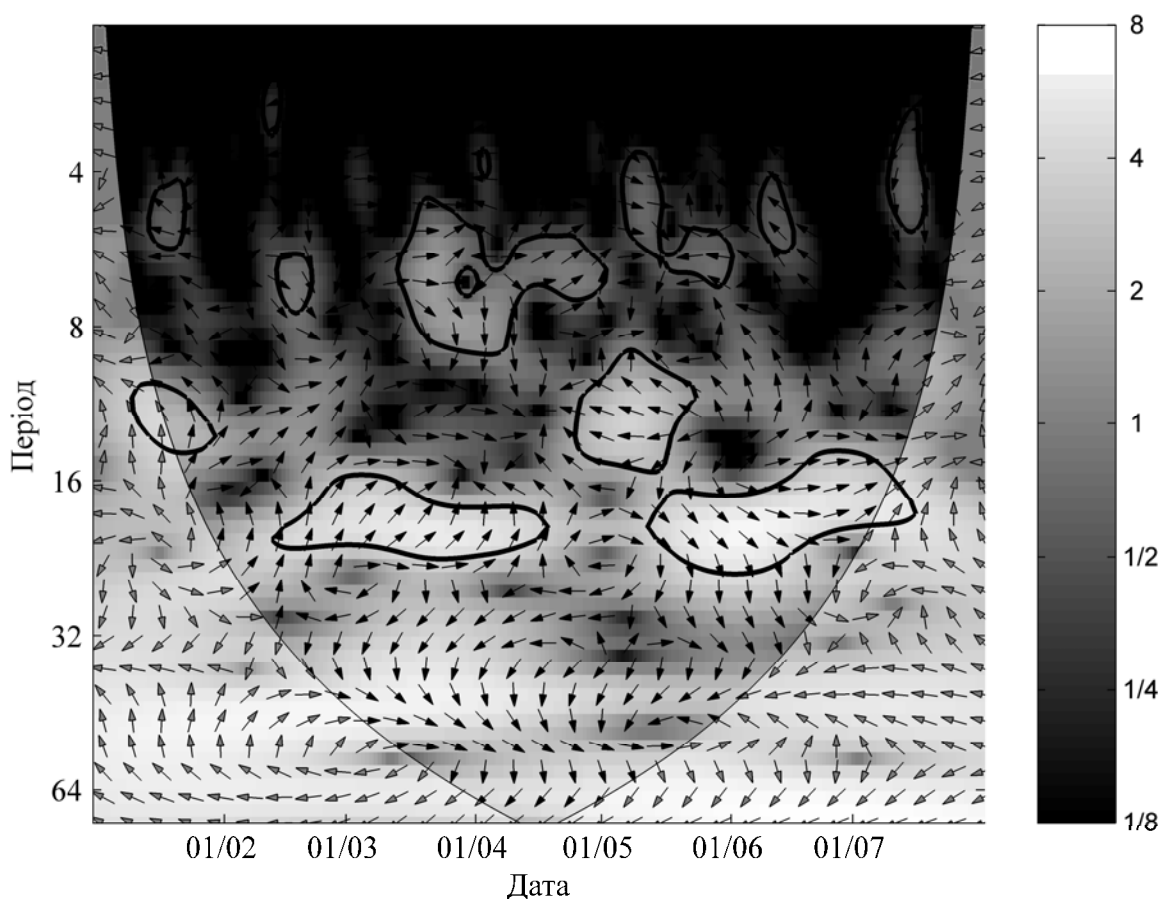


Рис. 5 – Перехресне вейвлет-перетворення між середньодобовими індексами ПАК і рівнем моря у порту Маріуполь за січень-липень 2004 року. Відносна фаза показана стрілками (вправо – два ряди у фазі, вліво – у протифазі, догори – перший випереджає другий). Рівень значущості 5% показано жирними лініями. Заглиб депресії показано з обох боків рисунку.

максимальні рівні (у середині лютого та наприкінці травня), ця характеристика вейвлета мала місце на більших масштабах часу. Іншою особливістю є те, що коливання індексів ПАК та рівня моря майже завжди відбуваються у фазі, і тільки у випадку нетривалого підвищення в середині травня має місце протифаза.

Висновки. У цій статті розглядалися підвищення рівня моря у порту Маріуполь, які перевищували критерій небезпечного явища, а також синоптичні процеси, які їх визначають. Найчастіше небезпечні нагони мають місце за блокування циклону над Чорним і Азовським морями та сильних південних вітрів на південно-західній периферії великого глибокого циклону. Виявлено також і зв'язок між змінами рівня моря та індексу Північно-атлантичного коливання. Останнє, до речі, внаслідок достатньо великої прогностичної здатності фаз ПАК на середні строки, може стати підґрунтям для побудови фізико-статистичного методу прогнозу виникнення НЯ з підвищення рівня моря.

Список літератури

1. Surkov F.A., Krukiar L.A., Muratova G.V. Numerical modelling of the Sea of Azov's dynamics resulting from narrowing of the mouth of Taganrog Bay // *Physical Oceanography*. – 1990. – Vol. 1, No. 6. – P. 551–559.
2. Tilburg C.E., Garvine R.W. A simple model for coastal sea level prediction // *Weather and Forecasting*. – 2004. – Vol. 19, No. 3. – P. 511–519.
3. Khokhlov V., Glushkov A., Loboda N., Serbov N., Zhurbenko K. Signatures of low-dimensional chaos in hourly water level measurements at coastal site of Mariupol, Ukraine // *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. – 2008. – Vol. 22, No. 6. – P. 777–787.
4. Zaldívar J.M., Gutiérrez E., Galán I.M., Strozzi F., Tomasin A. Forecasting high waters at Venice Lagoon using chaotic time series analysis and nonlinear neural networks // *Journal of Hydroinformatics*. – 2000. – Vol. 2, No. 1. – P. 61–84.
5. Hurrell J.W. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation // *Science*. – 1995. – Vol. 269. – P. 676–679.
6. Хохлов В.Н., Романова А.В., Меньшова Ю.В. Вейвлет-анализ синоптических процессов над Северной Атлантикой и Украиной // *Вісник Одеського державного екологічного університету*. – 2007. – Вип. 4. – С. 135–145.
7. Романова Г.В. Про зв'язок процесу блокування над Україною з Північноатлантичним коливанням // *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*. – Вип. 50, Ч. I. – С. 227–232.

Опасные повышения уровня моря в порту Мариуполь: благоприятные синоптические процессы и влияние Северо-атлантического колебания. Хохлов В.Н., Романова А.В., Журбенко Е.Е.

Определяются синоптические процессы, способствующие повышению уровня моря в порту Мариуполь как опасного явления. Показано, что эти явления чаще всего наблюдаются на южной периферии блокирующего антициклона и в юго-западной части циклона. Также прослеживается связь между изменениями фаз Северо-атлантического колебания и повышением уровня моря в порту Мариуполь на синоптическом масштабе времени.

Ключевые слова: повышение уровня моря, синоптические процессы, Северо-атлантическое колебание.

Dangerous sea-level rise at Mariupol port: favourable synoptical processes and impact of North Atlantic Oscillation. Khokhlov V.N., Romanova A.V., Zhurbenko K.E.

The synoptical processes favourable for the sea level as dangerous event at Mariupol port are determined. It is shown that these events are mainly observed at the southern periphery of blocking anticyclone and at the southwest part of cyclone. The link between changes of North Atlantic Oscillation phases and sea-level rise at Mariupol port occurs at synoptical time scales.

Key words: sea-level rise, synoptical processes, North Atlantic Oscillation.