

УДК: 656.61.052

ЗГІННО-НАГІННІ КОЛИВАННЯ РІВНЯ МОРЯ В ПОРТАХ ЮЖНИЙ І ЧОРНОМОРСЬК ТА ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ЇХ ПРОГНОЗУВАННЯ

Р. В. Гаврилюк, Н. М. Ювченко

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, RAISAGAVR@gmail.com

Згінно-нагінні коливання рівня впливають на господарську діяльність в прибережній зоні моря. Такі коливання під час досягнення рівнем критичних позначок створюють загрозу затоплення прилеглих територій або посадки суден на мілину. Для ефективного обслуговування морських галузей господарства необхідно знати кількісні характеристики згінно-нагінних коливань рівня моря та вміти їх надійно прогнозувати. На основі даних спостережень за рівнем моря в портах Южний і Чорноморськ виконано статистичний аналіз згінно-нагінних коливань, в результаті якого отримано такі характеристики як середня та максимальна кількість згінно-нагінних коливань в різні місяці року, середні і максимальні величини підйому і спаду рівня, а також тривалість цих явищ. Виявлено також ефективні напрями вітру, які обумовлюють згони і нагони в портах Южний і Чорноморськ. Встановлені статистичні зв'язки між згінно-нагінними коливаннями рівня моря та дією вітру і визначенні рівняння для розрахунків змін рівня під час спаду і підйому. Аргументами в розрахункових рівняннях є початкове значення рівня моря і сума проєкцій вітру на ефективні напрями за попередні 30 годин. Надані рекомендації щодо використання розрахункових рівнянь для прогнозування.

Ключові слова: Чорне море; прибережна зона; рівень моря; згінно-нагінні коливання; вітер.

1. ВСТУП

Протягом року рівень води у прибережній частині моря відчуває неперіодичні коливання, викликані місцевим вітром та вітрами, які охоплюють площу моря у цілому. Ці коливання суттєво впливають на господарську діяльність в прибережній зоні моря – в акваторіях портів при підвищенні рівня створюється загроза затоплення прилеглих територій, а при пониженні – загроза посадки суден на мілину.

Основними факторами, які визначають режим коливань рівня в синоптичному діапазоні частот є вітер та атмосферний тиск. При цьому вітру належить вирішальна роль, а коливання рівня отримали назву згінно-нагінних. Їх розвиток визначається співвідношенням напрямів діючого вітру та конфігурації берегової смуги. З цієї причини розмах згінно-нагінних коливань рівня на різних станціях, навіть близько розташованих одна від одної, можуть суттєво відрізнятись [1, 2].

Визначенню показників штормової активності в останні роки привертається увага багатьох вчених, зокрема в зв'язку зі змінами клімату [3, 4]. У північно-західній частині

Чорного моря розташовані найважливіші морські порти України (Одеса, Чорноморськ та Южний) і вплив згінно-нагінних коливань рівня на їх роботу є суттєвим. Тому вивчення цих процесів, а також розробка методів їх прогнозування, представляють значний практичний інтерес.

Методологічні основи прогнозування згінно-нагінних коливань рівня моря розглядаються в [2], а в [5] представлені деякі схеми статистичного прогнозу для окремих морських портів. Для портів північно-західної частини моря такі схеми відсутні, що обумовлює актуальність виконаної роботи.

Мета роботи полягає в аналізі згінно-нагінних коливань рівня моря в акваторіях портів Южний і Чорноморськ, встановленні зв'язків між змінами рівня та дією вітру, а також у визначенні статистичних рівнянь для розрахунків згонів та нагонів.

2. ОПИС ОБ'ЄКТУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для дослідження використовувалися дані таблиць ТГМ строкових спостережень (за 00, 06,

08, 12 і 18 годин) за рівнем моря, напрямками та швидкістю вітру на станціях Чорноморськ (2006-2013 рр.) і Южний (2000-2011 рр.). В якості критерію виділення згону або нагону використовувалась запропонована в [4] величина розмаху коливань в 15 см та більше на добу від середнього місячного значення рівня моря, що відповідає найбільш характерній для цього процесу в Чорному морі величині. На нашу думку ця величина приблизно співпадає з величиною середнього квадратичного відхилення рівня моря в синоптичному діапазоні частот та є допустимою помилкою при оцінках розрахунків за стохастичними моделями [5]. Використовувалась методика візуального виділення згонів та нагонів за цим критерієм на графіках зміни рівня для кожного місяця року на кожній станції окремо за весь період спостережень. З візуального аналізу кривих коливань рівня визначалися такі характеристики: дати та строки початку та кінця згону або нагону, їх величина (в см) та тривалість (в годинах). З таблиць ТГМ обирались значення напрямів та швидкості вітру (середнє та максимальне значення) за період згонів і нагонів. За цими даними формувалися ряди, які в подальшому підлягали статистичній обробці.

Методи дослідження, які використовувались у роботі, це стандартні методи математичної статистики прийняті в гідрометеорології та океанографії: статистичний, кореляційний, регресійний аналізи.

3. ОПИС ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Статистичні характеристики згінно-нагінних коливань рівня моря на станціях Чорноморськ і Южний

У роботі [6] було виконано аналіз інтенсивності згінно-нагінних коливань рівня на різних станціях північно-західної частини Чорного моря. Зокрема, дослідження показали, що на станціях Чорноморськ і Южний повторюваність нагонів, які не перевищують 30 см відносно середнього місячного значення, складає 72 % та 76 % відповідно, а повторюваність згонів такої інтенсивності на обох станціях є приблизно однаковою та досягає 65 %. Повторюваність нагонів інтенсивністю вище 30 см (значні нагони) на станції Чорноморськ складає 28 %, а на станції Южний – 24 %, а згонів такої інтенсивності – 34-35 %. Для дуже значних (більш 50 см відносно середнього рівня) нагонів повторюваність складає 2 % випадків на станції Чорноморськ і

1 % випадків на станції Южний, але ж для згонів такої інтенсивності повторюваність досягають 5 % та 7 % відповідно. Таким чином, на обох станціях повторюваність незначних нагонів перевищує аналогічні згони, а значних та дуже значних згонів, навпаки, перевищує повторюваність аналогічних нагонів. Такий характер згінно-нагінних коливань рівня моря обумовлений співвідношеннями напрямів діючого вітру та конфігурації берегової смуги.

Порти Чорноморськ і Южний розташовані у мілководних районах північно-західної частини моря, тому найбільші згони й нагони формуються тут під дією вітру, який спрямований, переважно, перпендикулярно до берегової лінії. Аналіз показав, що на станції Чорноморськ підйоми рівня моря спостерігаються в більшості випадків при південному та південно-східному вітрах. Середні швидкості таких вітрів складають $8-9 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а максимальні досягають $15-17 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Спади рівня виникають переважно при північно-західному та західному вітрах, середня швидкість яких становить $9-10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а максимальна досягає $19-22 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

На станції Южний підйоми рівня моря спостерігаються переважно при південних, південно-східних і східних вітрах. Їх середні швидкості складають $12-15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а максимальні досягають $20-28 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Спади рівня спостерігаються при західних, північно-західних і північних вітрах. Середня швидкість вітру становить $15-17 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а максимальна досягає $20-28 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

Таким чином, на обох станціях вітри згінних напрямків є більш потужними ніж нагінні, що є причиною більшого розмаху згонів в порівнянні з розмахом нагонів.

Розрахунки кількості випадків згонів-нагонів показали, що на станції Чорноморськ за період 2006-2013 рр. спостерігалися 101 випадок підйому і 107 випадків спаду, тобто кількість спадів декілька вище, ніж кількість підйомів. У середньому за цей період, в місяць спостерігалися 1-2 випадки спаду і підйому. В осінньо-зимовий період їх кількість підвищується до 6 випадків, а у весняно-літній період знижується до 1 випадку на місяць або зовсім не спостерігається.

На станції Южний за період 2000-2011 рр. спостерігалось 270 випадків згонів і 246 випадків нагонів, тобто кількість згонів також трохи вища, ніж кількість нагонів. У середньому за цей період спостерігалися по 2 випадки нагонів і згонів на місяць. В осінньо-зимовий

період їх кількість зростає до 3-4, а у весняно-літній період знижується до 1-2 випадків на місяць.

Важливою характеристикою мінливості згінно-нагінних коливань є розмах зміни рівня. В середньому за досліджуваний період на станції Чорноморськ величина підйому рівня становить 34 см, а спаду – 38 см, тобто величина спаду дещо більша, ніж величина підйому. За максимальними значеннями величина спаду досягала 101 см, а величина підйому – 97 см. Протягом року величини підйому і спаду рівня сильно змінюються. В осінньо-зимові місяці, з листопада по березень, величина підйому в середньому складає 39-45 см, а спаду – 40-47 см. У літні місяці величина підйому зменшується до 18-27 см, а спаду – до 27-45 см. На станції Южний за досліджуваний період величина підйому рівня в середньому становить 30 см, а спаду – 34 см, за максимальними значеннями величина спаду досягала 98 см, а підйому – 91 см. Осінню та зимою величина підйому становить 30-38 см, а спаду – 35-45 см. Літом підйом зменшується до 22-28 см, а спаду до 26-34 см.

Розраховувались також статистичні характеристики мінливості тривалості підйомів і спадів. За початок підйому приймалася найнижча точка в положенні рівня моря, а за початок спаду – найвища. Проміжок часу від початку до кінця спаду чи підйому і є тривалістю явища. На обох станціях тривалість підйому рівня склала в середньому 33-34 години, а тривалість спадів – 36-38 годин, тобто тривалість спадів декілька вища, ніж тривалість підйомів. Для цієї характеристики також притаманна сезонна мінливість – найбільші значення припадають на зимовий період і досягають 39-46 годин, а найменші – в літні місяці, 22-36 годин.

Для господарської діяльності важливим є прогноз досягнення рівнем критичних позначок. Такими позначками для портів Чорноморськ і Южний прийнято 427 см при спаді і 550 см при підйомі рівня моря. За період 2008-2013 рр. на станції Чорноморськ спостерігалось 5 випадків небезпечного спаду рівня, а небезпечних підйомів не зафіксовано. На станції Южний за 2000-2011 рр. спостерігалось 8 випадків небезпечного підйому рівня і 6 випадків небезпечного спаду рівня. Всі небезпечні спади рівня спостерігалися в осінньо-зимовий період року (вересень - січень).

У роботі [4] представлено результати чисельних експериментів з розрахунку згінно-нагінних коливань рівня, викликаних циклонами, що рухаються над Чорним морем, для деяких прибережних станцій та їх співставлення з даними натурних спостережень. Було виявлено декілька типів траєкторій руху циклонів, які обумовлюють максимальні величини спаду та підйому рівня в пунктах узбережжя. Зокрема, показано, що в Одесі та Чорноморську максимальний спад рівня обумовлений циклонами, що рухаються з заходу, а максимальний підйом рівня – циклонами з траєкторією руху з південного заходу.

За досліджуваний період спостерігались випадки виникнення небезпечного явища одночасно на станціях Чорноморськ та Южний. На рис. 1 наведені синоптичні карти атмосферного тиску за 00 годин 10 листопада 2007 р. та 00 годин 11 листопада 2007 р. [7], які демонструють переміщення над Чорним морем південного циклону з Балканського півострова. У першій половині 10 листопада в північно-західній частині Чорного моря спостерігався південний та південно-східний вітер швидкістю 13-18 м·с⁻¹, що обумовило підйом рівня на станції Чорноморськ на 37 см, на станції Южний – на 48 см, а на станції Одеса – на 27 см. У другій половині 10-го та першій половині 11-го листопада напрям вітру змінився на західний, північно-західний та посилювався до 17-23 м·с⁻¹. На станції Чорноморськ рівень моря за 18 годин (з 12 годин 10 листопада до 06 годин 11 листопада) знизився з 518 см до 417 см, тобто на 101 см. На станції Южний зниження рівня склало 98 см, з 528 см до 430 см, а в Одесі – на 87 см, з 507 см до 420 см. Тобто, у всіх портах було одночасно зафіксовано зниження рівня до небезпечних позначок. Таким чином, цей приклад підтверджує, що навіть підчас потужного шторму в портах північно-західної частині Чорного моря величина підйому рівня значно менша, ніж спаду.

Як відомо з літературних джерел [2, 8], в подальшому циклон перемістився на Азовське море і викликав в Керченській протоці висоту хвилі 3,5-4,0 м. В результаті шторму в Керченській протоці затонуло 4 судна, 6 сіли на міліну, а 2 танкери отримали пробоїни, в результаті чого в море потрапило 3 тис. тон мазуту і близько 6 тис. тон сірки. Економічний збиток склав близько 900 млн. доларів.

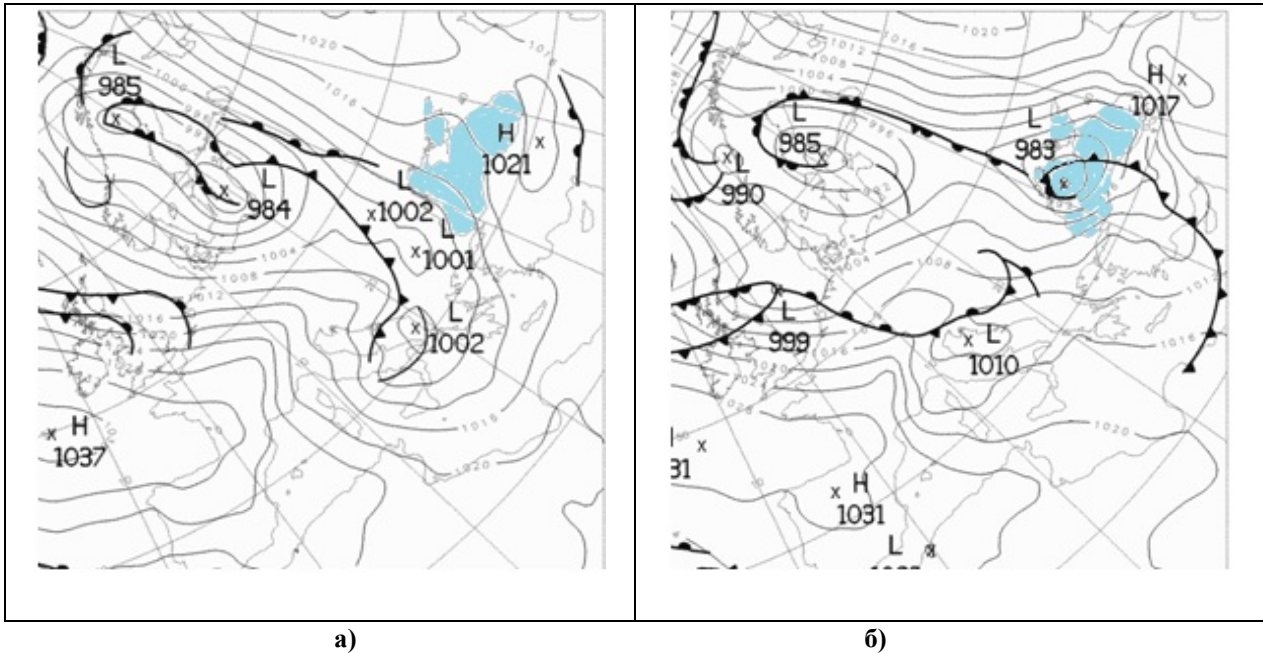


Рис. 1 – Синоптична ситуація над Чорним морем в 00 годин 10 листопада (а) та 00 годин 11 листопада (б) 2007 р. [7]

3.2 Статистичні зв'язки між характеристиками вітру та згінно-нагінними коливаннями рівня моря

Як було показано вище, на станції Чорноморськ підйоми рівня моря спостерігаються в більшості випадків при південному та південно-східному вітрах, а спади рівня – при північно-західному та західному вітрах, тому напрям північний захід - південний схід можна розглядати як ефективний напрям для розрахунків проекцій швидкості вітру.

На станції Южний у більшості випадків спади рівня води спостерігаються при північних, північно-західних та північно-східних вітрах, а підйоми – при південних, південно-східних та південно-західних вітрах, тому для цієї станції ефективним обрано напрям північ-південь.

Проекції (П) швидкості вітру (обирались значення максимального вітру) за кожен строк окремо для фази спаду та фази підйому рівня розраховувались за формулою

$$P = |V| * \cos\varphi, \quad (1)$$

де $|V|$ – модуль швидкості вітру, φ - кут між напрямом вітру та ефективним напрямом.

При цьому вітри, що обумовлюють підйом рівня ураховуються з від'ємним знаком, а ті, що обумовлюють спади рівня – з позитивним знаком.

Так як середня тривалість спадів та підйомів

рівня складає приблизно 30 годин, то для кожного випадку розраховувалась накопичувальна сума проекцій вітру ΣP за цей проміжок часу (за 5 строків). З цих даних формувався ряд, який в подальшому використовувався в якості одного з аргументів рівняння регресії. Другим аргументом приймалось початкове значення рівня моря окремо для фази підйому та фази спаду. Для визначення коефіцієнтів рівнянь регресії були сформовані ряди наступної тривалості: для станції Южний ряд складає 148 значень для згонів та 82 значення для нагонів; для станції Чорноморськ ряд складається з 52 значень для згонів та 34 значень для нагонів. Рівняння множинної регресії, у загальному вигляді є таким:

$$\Delta H = aH_{поч} + b\Sigma P + c, \quad (2)$$

де ΔH – зміни рівня моря під час спаду, або підйому, $H_{поч}$ – початкове значення рівня моря, ΣP - сума проекцій максимальній швидкості вітру на ефективний напрям за попередні 30 годин, a, b, c - коефіцієнти рівняння регресії.

За визначеними рівняннями регресії розраховувались зміни рівня для фаз підйому та спаду окремо, які порівнювались з фактичними значеннями та розраховувалась забезпеченість розрахунків. За допустиму помилку приймалось значення середнього квадратичного відхилення [5], яке склало 15-18 см. У таблиці 1 наведені рівняння регресії для розрахунку змін рівня моря окремо для фаз підйому та спаду,

Таблиця 1 - Рівняння регресії для розрахунків змін рівня для фаз спаду та підйому, множинний коефіцієнт кореляції (R) і забезпеченість (%) розрахунків за рівняннями для станцій Чорноморськ і Южний.

Станція	Фази змін рівня	Рівняння регресії	R	Забезпеченість (%)
Чорноморськ	Спад рівня	$\Delta H = 0,686 * N_{\text{поч}} - 0,553 * \Sigma \Pi + 150,749$	0,77	91
	Підйом рівня	$\Delta H = 0,612 * N_{\text{поч}} - 0,489 * \Sigma \Pi + 199,981$	0,80	61
Южний	Спад рівня	$\Delta H = 0,572 * N_{\text{поч}} - 0,430 * \Sigma \Pi + 203,924$	0,71	84
	Підйом рівня	$\Delta H = 0,663 * N_{\text{поч}} - 0,354 * \Sigma \Pi + 172,075$	0,74	87

множинний коефіцієнт кореляції (R) та забезпеченість (%) розрахунків за рівняннями. Всі коефіцієнти кореляції є значущими на рівні не нижче 95%. Як видно, для станції Южний забезпеченість розрахунків за рівняннями складає 84-87%. Для станції Чорноморськ для фази спаду рівня забезпеченість перевищує 90%, а для фази підйому складає всього 61%, що може бути обумовлено недостатньою довжиною ряду.

Отримані рівняння регресії дозволяють по характеристиках вітру розраховувати згінно-нагінні зміни рівня моря в портах Чорноморськ і Южний. Однак ці ж рівняння можна використовувати також для прогнозу. Для цього треба мати прогноз вітру на 5 строків, тобто на 30 годин. За цим прогнозом необхідно оцінити напрями вітру, які очікуються. Якщо очікуванні вітри є нагінними або згінними, необхідно розрахувати накопичувальну суму проєкцій максимального вітру за наступні 30 годин. Ця величина є одним з аргументів у рівнянні регресії. Другим аргументом є початкове значення рівня моря, тобто фактичне значення рівня моря в момент складання прогнозу.

4. ВИСНОВКИ

1. Аналіз коливань моря на станціях Чорноморськ та Южний показав, що в осінньо-зимовий період кількість випадків згінно-нагінних явищ складає від 4 до 6, а у весняно-літній період знижується до 1-2 випадків на місяць, або вони зовсім не спостерігаються.

2. На станції Южний в середньому за місяць величина підйому рівня становить 30 см, а спаду – 34 см; на станції Чорноморськ величина підйому рівня становить 34 см, а спаду – 38 см. Тобто на обох станціях величина спаду дещо більша, ніж величина підйому. Протягом року величини підйому і спаду рівня сильно

змінюються. На станції Чорноморськ в осінньо-зимові місяці, з листопада по березень, величина підйому в середньому складає 39-45 см, а спаду – 40-47 см. У літні місяці підйом зменшується до 18-27 см, а спад – до 27-45 см. На станції Южний восени та взимку величина підйому становить 30-38 см, а спаду – 35-45 см.

3. На обох станціях середня за досліджуваний період тривалість підйому рівня склала 33-34 години, а тривалість спадів – 36-38 годин. Для цієї характеристики також спостерігається сезонна мінливість – найбільші значення припадають на зимовий період та досягають 39-46 годин, а найменші – на літні місяці (22-36 годин).

4. На станції Чорноморськ підйоми рівня моря спостерігаються у більшості випадків при південному та південно-східному вітрах, а спади рівня – при північно-західному та західному вітрах. На станції Южний в більшості випадків спади рівня спостерігаються при західних, північно-західних і північних вітрах, підйоми рівня – при південних, південно-східних і східних вітрах.

5. Отримані рівняння регресії для розрахунків змін рівня окремо для фази підйому та фази спаду. Аргументами в рівняннях є початкове значення рівня моря та сума проєкцій максимального вітру на ефективні напрями за попередні 30 годин. Множинні коефіцієнти кореляції знаходяться в межах від 0,71 до 0,80 та є значущими на рівні не нижче 95%. Забезпеченість розрахунків рівня на залежному ряді спостережень за отриманими рівняннями склала 61-91%. Надані рекомендації щодо використання розрахункових рівнянь для прогнозу згінно-нагінних коливань рівня в портах Чорноморськ і Южний.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 4. Черное море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. / под ред. Э. Н. Алтмана, А. И. Симонова. Санкт-Петербург, 1991. 430 с.
2. Абузаров З. К., Думанская И. А., Нестеров Е. С. Оперативное океанографическое обслуживание. Москва, 2009. 275 с.
3. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 2. Черное море / Ю. П. Ильин и др. Севастополь, 2012. 420 с.
4. Горячкин Ю. Н., Иванов В. А. Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее / под ред. В. Н. Еремеева. Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006. 210 с.
5. Руководство по морским гидрологическим прогнозам / под ред. З. К. Абузарова. Санкт-Петербург: Гидрометиздат, 1994. 521 с.
6. Гаврилюк Р. В., Корнилов С. В. Изменчивость уровня в северо-западной части Черного моря. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2016. Вип 20. С. 69-77.
7. Meteoweb, интернет-журнал: веб-сайт. URL: <http://meteoweb.ru/> (дата звернення: 29.05.2018)
8. Ilyin, Y. et al. (2011). *Oil spil assident in the Kerch Strait in November 2007*. Report of the commission for the protection of the Black Sea Against Pollution. Moscow.
9. [Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR]. Vol. 4: *Chernoe more [Black Sea]*. Issue 1: *Gidrometeorologicheskiye usloviya [Hydrometeorological conditions]*. Sankt-Peterburg. (in Russ).
10. Abuzyarov, Z.K., Dumanskaya, I.A., Nesterov, E.S. (2009). *Operativnoe okeanograficheskoe obsluzhivanie [Operational Oceanographic Services]*. Moscow. (in Russ).
11. Il'in, Yu.P. et al. (2012). *Gidrometeorologicheskie usloviya morey Ukrainy [Hydrometeorological conditions of the seas of Ukraine]*. Vol. 2: *Chernoe more [Black Sea]*. Sevastopol. (in Russ.)
12. Goryachkin, Y.N., Ivanov, V.A. (2006). *Uroven Chernogo moray : proshloe, nastoyashee i budushee [Level of the Black Sea : past, present and future]*. Sevastopol : MGI NAN Ukraine. (in Russ).
13. Abuzyarov, Z.K. (Ed). (1994). *Rukovodstvo po morskim gidrologicheskim prognozam [Guidance on Marine Hydrological Forecasts]*. Sankt-Peterburg : Gidrometizdat. (in Russ).
14. Gavriilyuk, R.V., Kornilov, SV. (2016). [Variability of the level in the northwestern part of the Black Sea]. *Vіsnik Odes'kogo derzhavnogo ekologichnogo universitetu [Bulletin of Odessa state environmental university]*, 20, 69-77. (in Russ).
15. *Meteoweb, online journal* : web-site. Available at: <http://meteoweb.ru/> (accessed 29.05.2018). (in Russ).
16. Ilyin, Y. et al. (2011). *Oil spil assident in the Kerch Strait in November 2007*. Report of the commission for the protection of the Black Sea Against Pollution. Moscow.

REFERENCES

1. Altman, E.N., Simonov, A.I. (Eds). (1991). *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morey SSSR*

WIND-INDUCED SEA LEVEL FLUCTUATIONS AT YUZHNYI AND CHORNOMORSK SEA PORTS AND EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF THEIR FORECAST

R. V. Gavriilyuk, N. M. Yuvchenko

Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016, Odessa, Ukraine, RAISAGAVR@gmail.com

The sea level of the Black Sea coastal area is subject to non-periodic wind-induced fluctuations. Such fluctuations affect economic activity of the sea ports, enterprises and businesses located within the coastal area while those may be flooded when the sea level rises and, on the contrary, there is a threat of vessels grounding in case of sea level fall. There are several big sea ports which are located at the north-western part of the Black Sea and affected by wind-induced fluctuations. Therefore, the study of these processes and development of methods allowing their forecast are of great practical interest and this fact proves the topicality of the conducted research.

The article's aim is to analyse wind-induced fluctuations within the water area of Yuzhnyi and Chornomorsk sea ports, identify statistical links between such fluctuations and wind characteristics / equations used for calculation of their values. The observations at Chornomorsk (2006-2013) and Yuzhnyi (2000-2011) stations show that within a year there are 1-2 upsurge-downsurge occurrences during an average month, however, the number of those increases up to 3-4 over the autumn-winter period. The average sea level rise at Chornomorsk station is equal to 34 cm, the average sea level fall – 38 cm, maximum values amount to 97 cm and 191 cm, respectively. The average sea level rise at Yuzhnyi station is equal to 30 cm, the average sea level fall – 34 cm, maximum values amount to 91 and 98 cm, respectively. The average duration of wind-induced fluctuations at both stations amount to 34-38 hours. In most cases the sea level rise is observed at

Chornomosk station when winds blow from the South and the South-East, at Yuzhnyi station – when those blow from the South, the South-East and the South-West. The sea level fall is observed at Chornomosk station when winds blow from the North-West and the West, at Yuzhnyi station – when those blow from the North, the North-West and the North-East. Both stations are characterized with effective directions of wind causing occurrence of upsurge-downsurges. Based on the regression analysis equations for calculation of the sea level rise and fall values associated with wind characteristics were defined. The initial value of the sea level and the sum of the wind projections on effective directions for previous 30 hours are used as arguments in the equations. The accuracy of equation-based calculation constitutes 60-90%. The article offers recommendations on the use of equations when forecasting wind-induced fluctuations.

Key words: the Black Sea; coastal zone; sea level; wind-induced fluctuations; wind.

СГОННО-НАГОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ МОРЯ В ПОРТАХ ЮЖНЫЙ И ЧЕРНОМОРСК И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРОГНОЗА

Р. В. Гаврилюк, Н. Н. Ювченко

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, RAIISAGAVR@gmail.com*

На основе данных наблюдений за уровнем моря в портах Южный и Черноморск выполнен анализ изменчивости сгонно-нагонных колебаний. Установлены статистические связи между сгонно-нагонными колебаниями уровня моря и действием ветра. Найдены и апробированы регрессионные уравнения для расчета по характеристикам ветра изменений уровня моря для фаз спада и подъема, а также разработаны предложения по использованию уравнений для прогноза.

Ключевые слова: Черное море; прибрежная зона; уровень моря; сгонно-нагонные колебания; ветер.

Подання до редакції : 28. 05. 2018

Надходження остаточної версії : 06. 07. 2018

Публікація статті : 29. 11. 2018