

observed in November, especially in 1971-1980. In the first decade of the standard climatological norm, this was not observed, the number of cases in March was equal to their number in November.

- There is a tendency to increase the number of cases of DP soft rime deposits in December during 1971-1980 and 1981-1990, in contrast to 1961-1970, when the largest number was observed in January.

- It is established that most cases of soft rime deposits of the DP category were observed during 1971-1980.

- During 1961-1970, in January, cases of soft rime deposits of the DP category were quite common in Ukraine and were observed in 15 regions. The greatest spread of such deposits was observed in January 1964. Subsequently, the area of their distribution was reduced to several areas, of which they were most often observed in Transcarpathia in the Autonomous Republic of Crimea. Such deposits were quite common in December 1961-1970 and 1981-1990, when they were observed in 5-6 regions.

Keywords: soft rime deposits of DP category (dangerous phenomena), standard ice machine, distribution of DP category frost deposits on the territory of Ukraine.

Надійшла до редколегії 24.10.2020

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.10>

УДК 551.466:530.181

Анахов П. В.

Національна енергетична компанія "Укренерго"

ЗБУДЖЕННЯ ХВИЛІ-УБИВЦІ ВЛАСНИМИ КОЛИВАННЯМИ ВОДНОГО БАСЕЙНУ

В лінійній теорії формування екстремальних хвиль їх існування інтерпретується, як локальна суперпозиція поверхневих монохроматичних хвиль. Природні акваторії є резонаторами, що мають цілком певний набір власних коливань – стоячих хвиль стійкої просторової структури і фіксованого періоду. В спектрах хвиль ряду водойм Світового океану спостерігаються хвилі подвійної висоти, що пояснюється припливно-сейшовим резонансом. В шторм енергія власних коливань зростає в десять разів від фонові, під час цунамі вона може зростати до трьох порядків. Наведено приклади дії власних коливань на узбережжі і повідомляється про підвищену ймовірність появи на узбережжі хвиль-убивць. Додатково відмічено, що вільні коливання водної маси є звичайним станом для будь-якої водойми в кожен момент її існування. Наведено відповідні показники забезпеченості власними коливаннями водних басейнів. Представлено події екстремальних хвиль при аваріях на ДніпроГЕС (м. Запоріжжя) 18 серпня 1941 року і Куренівській дамбі (м. Київ) 13 березня 1961 року.

Подія збудження хвилі-убивці може інтерпретуватися, як підсилення власних коливань водного басейну, представлених стоячими хвилями стійкої просторової структури, фіксованого періоду і високого рівня забезпеченості. Це не суперечить лінійній теорії резонансного формування аномально високих хвиль.

Метою статті є дослідження можливих джерел збудження хвиль-убивць, результати пропонується втілити в розробку заходів протидії руйнівному процесу. Однак, хвилі здійснюють як руйнівну, так і творчу роботу. Представлено задачу, яка передбачає розробку заходів щодо стимулювання екстремальних хвиль. Це дозволить підвищити виробіток електроенергії.

Належність хвиль прориву до хвиль-убивць може викликати сумніви. Проте, формально вони відповідають класичній умові подвійного перевищення висоти значної хвилі. Більшість водних басейнів є цілісними природно-антропогенними об'єктами. Мінливість як природного, так і антропогенного середовища змушують переоцінювати сталі систематизування і визначення. Пропонується віднести екстремальні хвилі прориву гідродинамічних аварій до хвиль-убивць.

Ключові слова: забезпеченість водойми хвилями; період сейш; просторова структура сейш; резонансне збудження хвилі.

Вступ. Аномально високі хвилі, що з'являються на короткий час як би нізвідки і так само швидко зникають, довгий час були темою морського фольклору. Зараз вони надійно реєструються мареографами у різних частинах Світового океану [1]. Більш того, географія хвиль-убивць розширилася, і нині включає озера та ріки [2].

У класичному розумінні хвилю-убивцю є хвиля, що в 2 рази перевищує висоту так званої значної хвилі H_s , яка, в свою чергу, визначається як середнє значення однієї третини великих хвиль [1]:

$$H_f = 2H_s \cdot \quad (1)$$

Відповідно до [1] хвиля-убивця висотою H_s має ймовірність $P(2H_s)=336 \times 10^{-6}$, що відповідає одній хвилі з приблизно 3 тисяч хвиль. Якщо врахувати, що характерний період вітрових хвиль становить близько 10 с, то виходить, що в середньому одна хвиля-убивця

I ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2021. № 1 (59)**

повинна виникати кожні 8-9 годин. Імовірність хвилі $P(3H_s)$ складає 15×10^{-9} , або одна хвиля з 67 млн. індивідуальних хвиль. Така хвиля може з'явитися один раз за 20 років.

Хвилі-убивці висотою до 7,57 м спостерігались південніше Скадовська, в Каркінській затоці Чорного моря [3].

Повідомляється про інші високі хвилі Азово-Чорноморського басейну: сейші висотою до 1,5 м [4], нагін – до 3-5 м [5, 6], 20 випадків цунамі – до 1 м в XX столітті, до 3-5 м – по описовій інформації [6].

Історичні свідчення дозволяють з певною упевненістю говорити про те, що цунамі в районах Севастополя (103 р.), Євпаторії (1341 р.), Фороса (1427 р.) носили катастрофічний характер з висотами хвиль до 2-3 м. Значні коливання рівня моря біля берега за цих подій приводили до затоплення великих територій і завдали відчутних збитків [6]. Нагони в Азовському морі 25-30 квітня 1964 р., 2-8 січня 1969 р., 7-10 березня 1970 р. супроводжувалися значними збитками [5]. Під час Балаклавської бурі 14 листопада 1854 року загинув англо-французький військовий флот (разом 34 судна). До виключних руйнувань призвів шторм 9-11 листопада 1981 року який проходив вздовж Балканського узбережжя Чорного моря до району Одеси; виділяються зони з середніми висотами хвиль, що перевищили 4,5 м, найбільші ж висоти, що перевищили середні, можливі один раз за 10 років [7].

Говорячи про екстремальні хвилі, слід пам'ятати про події локального характеру, якими є хвилі в ріках і озерах. У російських внутрішніх водоймах за період з 1597 по 2012 роки виділено 11 достовірних або майже достовірних подій цунамі і цунаміподібних явищ. Фактично, за останні два століття цунамі у внутрішніх водоймах Росії виникали в середньому один раз за 20 років [8].

Причому, локальний характер явища не є причиною прогнозувати незначні збитки. 1 січня 1993 року сталась аварія ставка – сховища відходів об'ємом 370 тисяч кубометрів (при площі 150 тис. м²), що належить північноамериканському заводу з переробки яловичини. В результаті були пошкоджені залізничні колії, під укіс пішли п'ять локомотивів, збитки склали понад 5 млн. доларів США. Для наочності – середня глибина водної поверхні розмірами 400×400 м становила 2,5 м [9]. Збитки від аварії 5 травня 2003 року ставка Рамф (Дорчестер, США) об'ємом 90 тисяч кубометрів (це в чотири рази менше, ніж в попередньому прикладі) склали понад 144 тис. доларів США [10].

Дієвим заходом зниження можливих збитків від екстремальних хвиль, зокрема, хвиль-убивць, є підвищення точності гідрологічних прогнозів для своєчасного реагування на них. Отже, метою статті визначене дослідження можливих джерел збудження хвиль-убивць.

Матеріали і методи досліджень. На думку ак. І. Курчатова, в гідрологічному житті всякого водного басейну можна знайти елементи того ж періоду, і вочевидь ці елементи завжди можуть слугувати збуджувальною силою для басейну [11].

В лінійній теорії формування аномальних хвиль існування рідкісних екстремальних подій інтерпретується, як локальна суперпозиція поверхневих монохроматичних хвиль з відповідними фазами і напрямками [1].

Поверхневі хвилі у своїй більшості носять випадковий характер: по-перше, вони несистематичні, по-друге, не володіють стабільними періодами. Це значно ускладнює можливість прогнозування часу і місця збудження згаданої більшості поверхневих хвиль, і, також, прогнозування часу і місця збудження ними хвилі-убивці.

Виключення складають місячні і сонячні припливи, які систематично, з постійними періодами $T_{Moon}=12$ год. 25,2 хв. і $T_{Sun}=24$ год., коливають водну поверхню. Відомі випадки збудження і підсилення припливами власних коливань водойм (див., наприклад, [12, 13]). Причому, вираш припливно-сейшового резонансу становить дві амплітуди.

Власні коливання є другим випадком детермінованих коливань, період яких визначають її морфометричні характеристики: $T_{sw}(L,D) \approx const$, де $L \approx const$, $D \approx const$ – довжина і глибина водойми, відповідно. Описані події збудження і підсилення власних коливань сильними атмосферними збуреннями [14], цунамі [14, 15], штормовими хвилями [15, 16]. Виграш резонансної взаємодії становить до 1 000 амплітуд [14].

У всіх випадках умовою збудження стоячих хвиль є їх близькість до періоду збуджувальної хвилі T_{inc} . Коефіцієнт підсилення розраховується за формулою [17]:

$$H^2(T) = \frac{1}{\left(1 - \frac{T_{sw}}{T_{inc}}\right)^2 + Q^{-2} \left(\frac{T_{sw}}{T_{inc}}\right)^2}, \quad (2)$$

де Q – добротність басейну, яка визначає втрати енергії в коливальній системі і ширину смуги резонансу.

Вихідні передумови. Треба визнати, що стихійні лиха у багатьох випадках є невідворотними. Отже, практичним завданням стає оптимізація їх негативних наслідків. Зменшення гідрологічної небезпеки, для своєчасного реагування, передбачає підвищення точності гідрологічних прогнозів.

Знання про можливе підсилення власних коливань водного басейну і адекватна оцінка зовнішньої збуджувальної сили дозволяють в разі виникнення віддаленої загрози визначити необхідність оголошення тривоги і, тим самим, зменшити шкоду від небезпечного явища [16].

Природні акваторії є резонаторами, які мають цілком певний набір власних коливань, – стоячих хвиль стійкої просторової структури (рис. 1) і фіксованого періоду [15].

Аналіз коливань рівня Чорного моря, супутніх цунамійним землетрусам 1927, 1939 і 1966 років, показав, що спектри їх потужності для 12 розглянутих пунктів узбережжя характеризуються наявністю від одного до чотирьох максимумів. Зіставлення спектрів показує, що для всіх землетрусів вони мають однакову форму в одних і тих же пунктах узбережжя. Можна очікувати, що така структура спектрів обумовлена існуванням під час цунамі низькочастотних коливань рівня, пов'язаних з атмосферними процесами, сейшми або топографічними ефектами [18].

Як видно з побудованих карт бухти Броутон о. Сімушир (Росія), всі знайдені моди сейшових коливань мають пучності, які сходяться в районі селища Кратерне. Це вказує на те, що причальні споруди і саме селище розташовуються в місці, найбільш небезпечному з точки зору можливого впливу сейшових коливань [15].

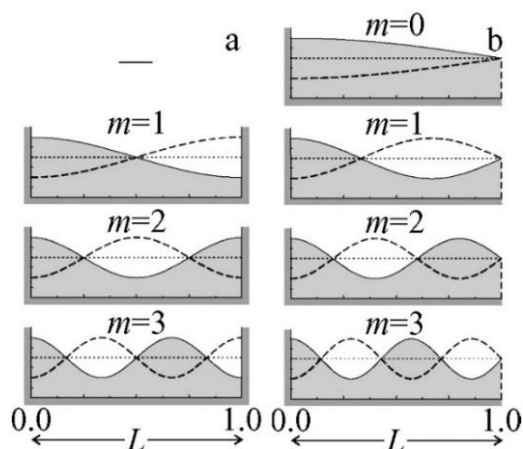


Рис. 1. Профілі перших чотирьох мод поздовжніх сейш в замкнутих (а) і напівзамкнутих (б) прямокутних басейнах з горизонтальним дном [17]

Повідомляється про підвищену ймовірність появи прибережної хвилі-убивці. За період з 2006 до 2010 року в Світовому океані виявлено 78 достовірних подій появи хвиль-убивць. Найбільша їх кількість зареєстрована саме біля берега – 50% (39 подій) [8].

Періоди власних коливань розраховуються за формулами [17]:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{cs} = \frac{2L}{m_{cs} \sqrt{gD}}, \quad m_{cs} = 1, 2, 3, \dots; \\ T_{os} = \frac{4L}{(2m_{os} + 1) \sqrt{gD}}, \quad m_{os} = 0, 1, 2, \dots \end{array} \right\}, \quad (3)$$

де T_{cs} , T_{os} – тривалості періодів замкнутого і напівзамкнутого басейнів, відповідно; m – мода коливань.

В спектрі хвиль Кандалакської затоки Білого моря (Росія) яскраво виражені коливання рівня з періодом 6 годин 12 хвилин. Ак. В. Шулейкін визначив, що це явище викликане резонансом власних коливань води в затоці з першою гармонікою місячного припливу [12].

В ряді водойм Світового океану спостерігається приплив подвійної висоти – на південному узбережжі Англії в протоці Солент і порту м. Саутгемптон, а також біля острова Портленд, який розташований на відстані 90 км у західному напрямку від Саутгемптона; в порту Ден-Хелдер (Нідерланди); в затоці Баззардс (США). Умовою виникнення припливу подвійної висоти є додавання до основного тону місячного припливу коливання більш високої частоти – сейшової хвилі [13].

Тривалі спостереження довгих хвиль на шельфі Каліфорнії показали, що при проходженні сильних атмосферних збурень значення спектру океанських хвиль можуть зрости в 10 разів, а при проходженні цунамі – в 100-1 000 разів [14].

В порту м. Холмськ (західне узбережжя о. Сахалін, Росія) спостерігаються максимуми енергії хвилювання з періодами близько 8, 3 і 1,5 хв., які пов'язані з власними коливаннями бухти. Енергія власних коливань з періодом близько 3 хв. майже на порядок вища за енергію фонових коливань, а під час шторму ця відмінність стає ще більшою [16].

Під час цунамі 23 лютого 1980 року висоти хвиль в Южно-Курильській бухті (о. Кунашир, Росія), період яких близько 17 хв. співпадав з періодом основного спектрального максимуму, зросли майже в 5 разів [14].

Натурні експерименти, проведені в Камчатській затоці і на шельфі о. Шикотан (Росія), показали наступне. При наближенні до берега з океану довгих хвиль на спектрі з'являються індивідуальні особливості, що характеризують частотні властивості акваторії. Найбільша частка енергії довгохвильового шуму в діапазоні хвиль цунамі в Камчатському затоці (Росія) припадає на частоту 0,026 цикл/хв., яка добре узгоджується з резонансним періодом 30 хв., що відповідає власній моді Камчатської затоки [19].

При вивченні хвильових процесів в бухті Броутона в спектрах записів штилю, коливань шторму і цунамігенного землетрусу були визначені максимуми на періодах коливань 5; 3; 2,5 хв., які належать відповідно одно-, дво-, і три-вузловій сейшам, відповідно. Посилення коливань в шторм склало не менше порядку [15].

Зазначається, що вільні коливання водної маси є звичайним станом для будь-якої водойми в кожний момент її існування, і, якщо вони не завжди помітні, то це лише наслідок малих в переважній більшості випадків амплітуд коливання [20].

Забезпеченість водойми хвилями за визначений період часу t розраховується за формулою [21]:

$$k_r = \frac{t_{wc}}{t} \times 100\%, \quad (4)$$

де t_{wc} – сумарна тривалість сеансів коливань за визначений період часу.

У багатьох водоймах сейші діють протягом 30-50% тривалості безльодоставного періоду; в озері Байкал сейші діють майже безперервно, найбільшу повторюваність мають одновузлові коливання – 84%; в оз. Балхаш сейші діють в середньому близько 60% часу, в окремі місяці сумарний час їх дії досягає 80% [22].

Постановка завдання. Метою статті є дослідження можливих джерел збудження хвилі-вбивці. Такі знання потрібні для розробки відповідних заходів протидії. Проте, іншим додатком може стати полярна задача – розробка генератора хвилі-вбивці. Збудження і розгойдування хвиль, потенціал яких визначає вироблена ними енергія, є результатом дії зовнішніх по відношенню до водойми сил і створених для цього умов. Хвилі, в свою чергу, здійснюють як руйнівну, так і творчу роботу. Генерування екстремальних хвиль, або їх стимулювання, за рахунок створення умов для збудження і розгойдування, дозволить підвищити виробіток електроенергії хвильовими електростанціями [23].

Виклад основного матеріалу дослідження. Природні акваторії є резонаторами, які мають цілком певний набір власних коливань – стоячих хвиль стійкої просторової структури і фіксованого періоду. Наведено приклади спостережених подій збудження і підсилення власних коливань припливом. Наведено показники забезпеченості власними коливаннями водних басейнів. Збудження і підсилення власних коливань, які відрізняє високий рівень

забезпеченості, штормовими хвилями та хвилями цунамі не суперечать теорії резонансного формування аномально високих хвиль.

Доступної інформації щодо хвиль-убивць природного походження в річках і водоймах України автор не має. Проте наявні дані про високі хвилі, походження яких, згідно Національного класифікатора ДК 019:2010 "Класифікатор надзвичайних ситуацій" (від 11.10.2010, №457), визначається як НС техногенного, соціального і воєнного походження.

18 серпня 1941 року, внаслідок підірвання підпірної греблі ДніпроГЕС, хвилею прориву була змита і загинула частина захисників острова Хортиця та підрозділів Червоної армії, які розташовувалися південніше від греблі [24]. Реконструкція події показала, що приблизно через 20 с після підірвання, коли хвиля досягла берегів Хортиці, її висота становила 1,5 м, знижуючись з часом і вниз за течією [25]. Для довідки – максимальна висота вітрових хвиль 5% забезпеченості в Каховському водосховищі, заповненому в 1955-1958 роках, становить 2 м [26].

В результаті прориву 13 березня 1961 року Куренівської греблі у верхів'ї Бабиного Яру (м. Київ), яка підпирала сховище з водно-глинистою сумішшю загальним об'ємом понад 4 млн. м³, за офіційними даними загинуло 145 людей, висота селевої хвилі становила не менше 3 м [27].

Належність хвиль прориву до хвиль-убивць, які за звичкою відносять до надприродних подій, може викликати сумніви. Згадані події напевно відповідають умові (1). Також не викликає сумнівів необхідність розробки адекватних заходів протидії. Більшість водних басейнів є цілісними природно-антропогенними об'єктами. Мінливість як природного, так і антропогенного (штучного) середовищ змушують переоцінювати сталі систематизування і визначення. Виходячи з того, що "паводки – це "Божа справа", проте втрати від її дії значною мірою визначають дії людини" [28], пропонується віднести екстремальні хвилі прориву гідродинамічних аварій до хвиль-убивць.

Висновки. Хвилі здійснюють як руйнівну, так і творчу роботу. Метою статті є дослідження можливих джерел збудження хвиль-убивць, а результати пропонується втілити в розробку заходів протидії руйнівному процесу. Представлено також протилежну задачу, яка передбачає розробку заходів щодо стимулювання екстремальних хвиль. Це дозволить підвищити виробіток електроенергії.

Подія збудження хвилі-убивці може інтерпретуватися, як підсилення власних коливань водного басейну, представлених стоячими хвилями стійкої просторової структури, фіксованого періоду і високого рівня забезпеченості. Наведено приклади спостережених подій збудження і підсилення хвиль припливом, штормовими хвилями та хвилями цунамі.

Належність хвиль прориву до хвиль-убивць, які за звичкою відносять до надприродних подій, може викликати сумніви. Проте, хвилі прориву напевно відповідають умові перевищення висоти значної хвилі, яка визначається як середнє значення однієї третини великих хвиль. Також не викликає сумнівів необхідність розробки адекватних заходів протидії. Більшість водних басейнів є цілісними природно-антропогенними об'єктами. Мінливість як природного, так і антропогенного (штучного) середовищ змушують переоцінювати сталі систематизування і визначення. Пропонується віднести екстремальні хвилі прориву гідродинамічних аварій до хвиль-убивць.

Список літератури

1. Куркин А. А., Пелиновский Е. Н. Волны-убийцы: факты, теория и моделирование; изд. 2-е. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. 178 с.
2. Didenkulova I. I., Pelinovsky E. N. Phenomena similar to tsunamis in Russian internal basins. Russian Journal of Earth Sciences. 2006. 8(ES6002). 9 p. <http://dx.doi.org/10.2205/2006ES000211>.
3. Доценко С. Ф., Иванов В. А., Побережный Ю. А. Связь образования волн-убийц и метеорологических условий в северо-западной части Черного моря. Доповіді НАН України. 2010. №12. С. 105-109.
4. Матишов Г. Г., Инжебейкин Ю. И. Численные исследования сейшевых колебаний уровня Азовского моря. Океанология. 2009. 49(4). 485-493.
5. Дьяков Н. Н., Фомин В. В. Синоптические условия возникновения аномальных колебаний уровня Азовского моря. Наукові праці УкрНДГМІ. 2002. 250. 10 с.

6. Доценко С. Ф., Иванов В. А. Природные катастрофы Азово-Черноморского региона. Севастополь: Морской гидрофизический институт, 2010. 174 с.
7. Кабатченко И. М. Моделирование ветрового волнения. Численные расчеты для исследования климата и проектирования гидротехнических сооружений: автореф. дис... д-ра геогр. наук. М.: Государственное Учреждение "Государственный океанографический институт" Росгидромета, 2006. 41 с.
8. Диденкулова И. И. Динамика длинных волн в прибрежной зоне моря с приложением к морским катастрофам: автореф. дис... д-ра физ.-мат. наук. Н. Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, 2013. 39 с.
9. Washington State Notable Dam Failures and Incidents. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fortress.wa.gov/ecy/wrdocs/WaterRights/wrwebpdf/damfailure-ws.pdf>.
10. Association of State Dam Safety Officials. Annual Report. July 2006 – June 2007. Lexington, KY, 2007. 98 p.
11. Курчатова И. В. Сейши в Черном и Азовском морях. И. В. Курчатова. Избранные труды. Т. 1. М.: Наука, 1982. С. 382-391.
12. Шулейкин В. В. Физика моря. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Наука, 1968. 1083 с.
13. Bowers D. G., Macdonald R. G., McKee D., et al. On the formation of tide-produced seiches and double high waters in coastal seas. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2013. Vol. 134. Pp. 108-116. doi: 10.1016/j.ecss.2013.09.014.
14. Рабинович А. Б. Длинные гравитационные волны в океане: захват, резонанс, излучение. С.-Пб: Гидрометеиздат, 1993. 325 с.
15. Лоскутов А. В. Динамика волн цунами в северо-западной части Тихого океана на основе инструментальных измерений и численного моделирования: дис. канд... физ.-мат. наук. Южно-Сахалинск: Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения РАН, 2016. 115 с.
16. Ковалев Д. П. Натурные эксперименты и мониторинг инфрагравитационных волн для диагностики опасных морских явлений в прибрежной зоне на примере акваторий Сахалино-Курильского региона: дис... д-ра физ.-мат. наук. Южно-Сахалинск: Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения РАН, 2015. 304 с.
17. Rabinovich A. B. Seiches and Harbor Oscillations. Handbook of Coastal and Ocean Engineering (ed. by Y. C. Kim). Singapore: World Scientific Publ., 2009. P. 193-236.
18. Доценко С. Ф., Ингерова А. В. Спектры черноморских цунами. Морской гидрофизический журнал. 2007. №5. С. 21-30.
19. Литвин Е. Н., Показеев К. В., Тупоршин В. Н. Использование натурального эксперимента для целей цунамирайонирования. Вычислительные технологии. 1997. Т. 2, №2. С. 88-93.
20. Лабзовский Н. А. Непериодические колебания уровня моря. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 238 с.
21. Безруков Ю. Ф. Океанология. Ч. II. Динамические явления и процессы в океане. Симферополь: Таврический национальный университет им. В. И. Вернадского, 2006. 123 с.
22. Судольский А. С. Динамические явления в водоемах. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 263 с.
23. Анахов П. В. Комплексне використання стоячих хвиль водойм. Гідроенергетика України. 2018. №1-2. С. 49-51.
24. Матеріали до багатотомного "Зводу пам'яток історії та культури України": Запорізька область. Кн.1. "Запоріжжя" / НАН України. Інститут історії України; Центр досліджень історико-культурної спадщини України. К., 2016. 350 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.history.org.ua/?libid=11022>.
25. Взрыв Днепрогэса в 1941 году и вранье местных историков. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://zerkalo.net.ua/news/2487.html>.
26. Підтримка інтеграції України до Транс-Європейської транспортної мережі ТЕМ-Т. РК5 "Огляд галузі річкового транспорту". Заключний звіт 5.3. Програма Європейського Союзу для України, 2010. 79 с.
27. Куренівська трагедія 13 березня 1961 р. у Києві: причини, обставини, наслідки. Документи і матеріали / В. А. Смолій (відп. ред.). К.: Інститут історії України НАН України, 2012. 548 с.
28. White G. F. Human Adjustment to Floods: A Geographical Approach to the Flood Problem in the United States: dis... PhD. Chicago: University of Chicago, 1945. 225 p.

References

1. Kurkin A. A., Pelinovsky E. N. Volny-ubijcy: fakty, teoriya i modelirovanie [Killer waves: facts, theory and modeling]; ed. 2nd. Moscow-Berlin: Direct Media, 2016.
2. Didenkulova I. I., Pelinovsky E. N. Phenomena similar to tsunamis in Russian internal basins. Russian Journal of Earth Sciences 2006. 8(ES6002). 9 p. <http://dx.doi.org/10.2205/2006ES000211>.

3. Dotsenko S. F., Ivanov V. A., Poberezhny Yu. A. Svjaz' obrazovaniya voln-ubijc i meteorologicheskikh uslovij v severo-zapadnoj chasti Chernogo morja [Connection of the formation of killer waves and meteorological conditions in the northwestern Black Sea]. Dopovidi NAN Ukrainy [Reports of the NAS of Ukraine]. 2010. 12. P. 105-109.
4. Matishov G. G., Inzhebeikin Y. I. Chislennye issledovaniya sejshevyh kolebanij urovnja Azovskogo morja [Numerical Study of Azov Sea Level Seiche Oscillations]. Okeanologija [Oceanology]. 2009. 49, 4. P. 485-493.
5. Dyakov N. N., Fomin V.V. Sinopticheskie uslovija vozniknovenija anomal'nyh kolebanij urovnja Azovskogo morja [Synoptic conditions for the occurrence of abnormal fluctuations in the level of the Sea of Azov]. Naukovi praci UkrNDGMI [Scientific works of UkrSRHMI]. 2002. 250.
6. Dotsenko S. F., Ivanov B. A. Prirodnye katastrofy Azovo-Chernomorskogo regiona [Natural disasters of the Azov-Black Sea region]. Sevastopol: Marine Hydrophysical Institute, 2010.
7. Kabatchenko I. M. Modelirovanie vetrovogo volnenija. Chislennye raschety dlja issledovaniya klimata i proektirovanija gidrotehnicheskikh sooruzhenij [Modeling wind waves. Numerical calculations for climate research and design of hydraulic structures]. Abstract of Dr. Sc. in Geography. Moscow: State Institution "State Oceanographic Institute" of RosHydroMet, 2006.
8. Didenkulova I. I. Dinamika dlennyh voln v pribrezhnoj zone morja s prilozheniem k morskim katastrofam [Dynamics of long waves in the coastal zone of the sea with an application to marine disasters]: Abstract of Dr. Sc. in Phys.-Math. N. Novgorod: Nizhny Novgorod State Technical University, 2013.
9. Washington State Notable Dam Failures and Incidents. Available at: <https://fortress.wa.gov/ecy/wrdocs/WaterRights/wrwebpdf/damfailure-ws.pdf> (Accessed: 28 November 2020).
10. Association of State Dam Safety Officials. Annual Report. July 2006 – June 2007. Lexington, KY, 2007.
11. Kurchatov I. V. Sejshi v Chernom i Azovskom morjah [Seishes in the Black and Azov Seas]. In: I. V. Kurchatov. Izbrannye trudy. T. 1 [I.V. Kurchatov. Selected Works. Vol. 1]. Moscow: Nauka, 1982. P. 382-391.
12. Shuleikin V. V. Fizika morja [Physics of the sea]. Ed. 4th, rev. and add. Moscow: Nauka, 1968.
13. Bowers D. G., Macdonald R. G., McKee D., et al. On the formation of tide-produced seiches and double high waters in coastal seas. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2013. 134. P. 108-116. doi: 10.1016/j.ecss.2013.09.014.
14. Rabinovich A. B. Dlinnye gravitacionnye volny v okeane: zahvat, rezonans, izluchenie [Long gravitational waves in the ocean: capture, resonance, radiation]. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 1993.
15. Loskutov A. V. Dinamika voln cunami v severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana na osnove instrumental'nyh izmerenij i chislennogo modelirovanija [Dynamics of tsunami waves in the northwestern part of the Pacific Ocean based on instrumental measurements and numerical modeling]. Thesis of PhD in Phys.-Math. Juzhno-Sahalinsk: Institute of marine geology and geophysics, 2016.
16. Kovalev D. P. Naturnye jeksperimenty i monitoring infragravitacionnyh voln dlja diagnostiki opasnyh morskikh javlenij v pribrezhnoj zone na primere akvatorij Sahalino-Kuril'skogo regiona [Field experiments and monitoring of infra-gravity waves for the diagnosis of dangerous marine phenomena in the coastal zone by the example of the Sakhalin-Kuril region]. Thesis of Dr. Sc. in Phys.-Math. Juzhno-Sahalinsk: Institute of marine geology and geophysics, 2015.
17. Rabinovich A. B. Seiches and Harbor Oscillations. In: Y. C. Kim (ed.) Handbook of Coastal and Ocean Engineering. Singapoure: World Scientific Publ., 2009. P. 193-236.
18. Docenko S. F., Ingerov A. V. Spektry chernomorskih cunami [Spectra of the Black Sea Tsunami]. Morskoj gidrofizicheskij zhurnal [Marine Hydrophysical Journal]. 2007. 5. P. 21-30.
19. Litvin E. N., Pokazeev K. V., Tuporshin V. N. Ispolzovanie naturnogo jeksperimenta dlja celej cunamirajonirovanija [The use of full-scale experiment for the purpose of tsunami-zoning]. Vychislitel'nye tehnologii [Computational technologies]. 1997. 2(2). P. 88-93.
20. Labzovsky N. A. Neperiodicheskie kolebanija urovnja morja [Non-periodic fluctuations in sea level]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971.
21. Bezrukov Yu. F. Okeanologija. Ch. II. Dinamicheskie javlenija i processy v okeane [Oceanology. Part II. Dynamic phenomena and processes in the ocean]. Simferopol: Taurida National University V.I. Vernadsky, 2006.
22. Sudolsky A. S. Dinamicheskie javlenija v vodoemah [Dynamic phenomena in reservoirs]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991.
23. Anakhov P. V. Kompljeksne vykorystannja stojachyh hvyl' vodojm [Complex use of standing waves of reservoirs]. Hidrojenjergjetyka Ukrainy [Hydropower of Ukraine]. 2018. 1-2. P. 49-51.
24. Matjerialy do bagatotomnogo "Zvodu pamjatom istoriji ta kul'tury Ukrainy": Zaporiz'ka oblast'. – Kn.1. "Zaporizhzhja" [Materials to the multivolume "Memory of the History and Culture of Ukraine": Zaporizhzhya Region. – Book 1. "Zaporizhzhia"] / NAS of Ukraine. Institute of History of Ukraine; Center

for historical and cultural recession of Ukraine. Kyiv. Available at: <http://www.history.org.ua/?libid=11022>. (Accessed: 28 November 2020)

25. Vzyryv Dneprogjesa v 1941 godu i vran'jo mestnyh istorikov [The explosion of the Dnieper in 1941 and the lies of local historians]. Available at: <http://zerkalo.net.ua/news/2487.html> (Accessed: 28 November 2020).

26. Pidtrymka intjegraciji Ukrajinjy do Trans-Evropjejs'koji transportnoji mjerjezhi TЄM-T. RK5 "Ogljad galuzi richkovogo transportu". Zakljuchnyj zvit 5.3 [Support for Ukraine's integration into the TEN-T Trans-European Transport Network. LCD5 "River Transport Industry Overview". Final Report 5.3]. European Union Program for Ukraine. 2010.

27. Kurjenivs'ka tragjedija 13 bereznja 1961 r. u Kijjevi: prychny, obstavyny, naslidky. Dokumenty i matjerialy [The Kureniv tragedy on March 13, 1961 in Kyiv: causes, circumstances, consequences. Documents and Materials] / V. A. Smoly (ed.). Kyiv: Institute of History of Ukraine, National Academy of Sciences of Ukraine. 2012.

28. White G. F. Human Adjustment to Floods: A Geographical Approach to the Flood Problem in the United States: Thesis... PhD. Chicago: University of Chicago, 1945.

Возбуждение волны-убийцы собственными колебаниями водного бассейна

Анахов П. В.

В линейной теории формирования экстремальных волн их существование интерпретируется, как локальная суперпозиция поверхностных монохроматических волн. Природные акватории являются резонаторами, имеющих вполне определенный набор собственных колебаний – стоячих волн устойчивой пространственной структуры и фиксированного периода. В спектрах волн ряда водоемов Мирового океана наблюдаются волны удвоенной высоты, что объясняется приливно-сейшевым резонансом. В шторм энергия собственных колебаний возрастает в десять раз от фоновой, во время цунами она может возрасти до трех порядков. Приведены примеры действия собственных колебаний на побережье и сообщается о повышенной вероятности появления на побережье волн-убийц. Дополнительно отмечено, что свободные колебания водной массы является обычным состоянием для любого водоема в каждый момент его существования. Приведены соответствующие показатели обеспеченности водных бассейнов собственными колебаниями. Представлены события экстремальных волн при авариях на ДнепроГЭС (г. Запорожье) 18 августа 1941 г. и Куреневской дамбе (г. Киев) 13 марта 1961 г.

Событие возбуждения волны-убийцы может интерпретироваться, как усиление собственных колебаний водного бассейна, представленных стоячими волнами устойчивой пространственной структуры, фиксированного периода и высокого уровня обеспеченности. Это не противоречит линейной теории резонансного формирования аномально высоких волн.

Целью статьи является исследование возможных источников возбуждения волн-убийц, результаты предлагаются воплотить в разработку мер противодействия разрушительному процессу. Однако, волны осуществляют как разрушительную, так и созидательную работу. Представлена задача, которая предусматривает разработку мероприятий по стимулированию экстремальных волн. Это позволит повысить выработку электроэнергии.

Принадлежность волн прорыва к волнам-убийцам может вызвать сомнения. Однако, формально они соответствуют классическому условию двойного превышения высоты значительной волны. Большинство водных бассейнов являются целостными природно-антропогенными объектами. Изменчивость как природной, так и антропогенной сред заставляет переоценивать систематизацию и определения. Предлагается отнести экстремальные волны прорыва гидродинамических аварий к волнам-убийцам.

Ключевые слова: обеспеченность водоема волнами; период сейш; пространственная структура сейш; резонансное возбуждение волны.

Excitation of freak wave by natural oscillations of the water body

Anakhov P. V.

In linear theory the formation of extreme waves their existence is interpreted as a local superposition of surface monochromatic waves. Natural water areas are resonators that have their own set of natural oscillations - standing waves of stable spatial structure and fixed period. In the spectra of waves of many water bodies of World Ocean observed double high waves, this is explained by the tidal-seiche resonance. During a storm, the energy of natural oscillations increases ten times the background energy, during a tsunami it can increase up to three orders of magnitude. Examples of the effects of natural oscillations on the coast are given, and it is reported about the increased probability of the occurrence on the coast freak waves. Additionally, it is noted that natural oscillations in water mass are a normal state for any body of water at any time of its existence. The corresponding indices of the water fluctuations of the water basins are given. The events of extreme waves during the accidents at DniproHES (Zaporizhia) on August 18, 1941, and the Kurenivsky dam (Kyiv) on March 13, 1961, are presented.

The excitement of the freak wave can be interpreted as enhancing the natural oscillations of the water basin, represented by standing waves of stable spatial structure, fixed period and high probability of waves in the water body. This does not contradict the linear theory of the resonant formation of abnormally high waves.

The purpose of the article is to investigate possible sources of the excitement of freak waves, the results are proposed to be implemented in the development of countermeasures to the destructive process. However, the waves

carry out both destructive and creative work. A task is presented, which involves the development of measures to stimulate extreme waves. This will increase electricity generation.

Affiliation of dam-break waves to freak waves can be doubtful. However, they formally correspond to the classical condition of double exceeding the significant wave height. Most water basins are integral anthropogenic sites. The variability of both natural and anthropogenic environments forces the overriding of systematization and definition. It is proposed to attribute extreme waves of dam-break waves to freak waves.

Keywords: the probability of waves in water body; period of seiches; the spatial structure of seiches; resonant excitation of wave.

Надійшла до редколегії 14.01.2021