

УДК 551.466.66+550.348.432

П. В. АНАХОВ

Державний університет телекомунікацій, 03680, м. Київ, вул. Солом'янська, 7, тел. 38(050)385-78-41, ел. пошта: anakhov@i.ua

ЗБУДЖЕННЯ ЗЕМЛЕТРУСІВ У ЛІТОСФЕРІ АЗОВО-ЧОРНОМОРСЬКОГО БАСЕЙНУ СЕЙШОВИМ ДЕФОРМУВАННЯМ ДНА

Мета. Оцінка можливих причин землетрусів у зоні водойм через порівняння деформацій поверхні Землі, зумовлених власними коливаннями води, із деформаціями, що зумовлені навантаженням від створеного водоймами тиску. **Методика.** Методика засновується на припущенні щодо можливості збудження землетрусу за рахунок порушень утоми, які накопичуються в межах напруженого тектонічного розлому в разі подразнення його сейшовою хвилею. Літосферні деформації від тиску сейшової хвилі утворюють решітку з ліній пучностей. **Результати.** Підвищення середнього рівня океану на 104,99 м за останні 17,7 тисяч років привело до наповнення котловини Азовського моря і збільшення площі Чорного моря. Порівняння величин деформацій дна Чорного моря, що викликані навантаженням від створеного водоймами тиску, із деформаціями сейшового походження не спростовує припущення про те, що коливання поверхні води у морі, спричинені стоячими хвилями, можуть сприяти збудженню землетрусів. Допускається вплив на сейсмічну інтенсивність водного басейну сейш Азовського моря, максимальний ефект утоми від дії яких порівняний із ефектом утоми від дії сейш Чорного моря. Таким чином, непрямо підтверджується можливий вплив на зміну нормативної сейсмічності зони водойм як статичного навантаження, зумовленого вагою води і створений цим поровий тиск, так і порівняно з ними варіації порового тиску, що зумовлені режимом підземних вод. У нашому випадку режим підземних вод є функцією власних, сейшових коливань води. Крім того, вплив сейш на сейсмічно активний тектонічний розлом відрізняє положення силових ліній, які утворюють решітку. **Наукова новизна.** Розроблено модель сейшового деформування дна. Відповідно до моделі, силові лінії поля довгоперіодних сейшових коливань утворюють решітку, розміри комірок якої залежать від морфометричних характеристик водойм. Зміни сейсмічної інтенсивності зони водойми відбуваються за рахунок накопичення порушень утоми сейсмічно активного тектонічного розлому, зосередженого в околиці силових ліній. **Практична значущість.** Використання решітчастої моделі сейшового деформування дна дасть змогу прогнозувати можливі землетруси. Для оцінки сейсмічної інтенсивності слугують два критерії: тип сейсмічно активного тектонічного розлому і його місце розташування відносно силових ліній поля сейшових коливань; спрямованість зміни величини порушень утоми розлому.

Ключові слова: гідротехнічне будівництво; глобальне потепління; збудження землетрусів; порушення втоми тектонічного розлому; решіткова модель деформування дна; сейші.

Вступ

Очікуваним наслідком глобального потепління є підвищення середнього рівня води світового океану. Це приводить до природної зміни морфометричних характеристик мережі сполучених у його межах водойм. Зокрема, за останні 60 років рівень Чорного моря підвищився на величину близько 15 см і продовжує підвищуватися. Середня швидкість підвищення рівня оцінюється величиною 0,25 см/рік [Горячкин, Иванов, 2008].

Інша проблема змін рівня взаємопов'язана із сучасним дефіцитом прісної води. Очікується, що до середини 2020-х років дефіцит зумовить структурну перебудову світової економіки. На світовому ринку будуть прискорено розвиватися сектори водосмної продукції, водозбережних та водоохоронних технологій. Ринки води залишаться, переважно, басейновими через різкий стрибок витрат на транспортування. Станом на 2008 рік кількість підпірних гребель водосховищ заввишки більше ніж 15 м зросла від 5 000 у

1950 році до більш ніж 45 тисяч і продовжує збільшуватися. Середня швидкість гідротехнічного будівництва становить дві греблі в день [Данилов-Данильян, 2008].

Наповнення великих водойм змінює напружено-деформований стан просідаючих шарів літосфери, в результаті чого земля корі істотно прогинається. У разі зняття ж навантаження напрямом вертикального руху може змінитися [Тетельмін, 2009].

Відомі випадки, коли створюване таким навантаженням напруження в корі зумовило зміну нормативної сейсмічності місцевого геологічного середовища [Gupta, 2002].

До основних причин приповерхневих землетрусів, які збуджуються в зоні водойм, зараховані наступні впливи на тектонічні розломи: статичне навантаження, зумовлене вагою води; поровий тиск у породах, здебільшого за рахунок зменшення об'єму пор, що зумовлено їх стисканням у разі зростання напружень; варіації порового тиску, зумовлені режимом підземних вод [Gupta, 2011].

Причому, у деяких роботах [наприклад, Чехов и др., 1994; Нестеров, 1996] обґрунтовується припущення про те, що одним з найпотужніших джерел літосферних деформацій, які передують землетрусам, є власні коливання рівня рідини у великих обмежених водоймах.

Мета

Метою статті визначена оцінка можливих причин землетрусів у зоні водойм за допомогою порівняння деформацій поверхні Землі, зумовлених власними коливаннями води, із деформаціями, що викликані навантаженням від створеного водоймами тиску.

Методика

Статичне навантаження, зумовлене вагою води, розраховується за формулою:

$$P = \rho g V, \text{ Н}, \quad (1)$$

де ρ – густина води ($\rho \approx 10^3 \text{ кг/м}^3$); g – прискорення вільного падіння ($g=9,81 \text{ м/с}^2$); V – об’єм водойми.

Створюване статичним навантаженням напруження в земній корі становить

$$\sigma = \rho g \bar{D} = P / S, \text{ Па}, \quad (2)$$

де \bar{D} і S – середня глибина і площа водойми, відповідно.

П. Тальвані розглядає можливі випадки ініціювання змін сейсмічної інтенсивності місцевого геологічного середовища, залежно від типу сейсмічно активного тектонічного розлому і його місця розташування відносно водойми (рис. 1, табл. 1).



Рис. 1. Випадки ініціювання змін сейсмічної інтенсивності середовища, залежно від типу тектонічного розлому і його місця розташування відносно до водойми [Talwani, 1997]

Fig 1. Cases of initiating changes of seismic intensity of environment, depending on the type of tectonic fault and its location relative to the reservoir [Talwani, 1997]

Сейші (стоячі хвилі із частотою власних коливань водного басейну), зумовлюючи коливання всього об’єму водної маси, впливають на режим підземних вод. Опускаючись донизу, вони збуджують мікросейсми на дні. Наочним прикладом є коливання сейш під льодовим покривом (рис. 2).

Таблиця 1

Описання випадків ініціювання змін сейсмічної інтенсивності [Talwani, 1997]

Table 1

Description of cases of initiating changes of seismic intensity [Talwani, 1997]

| | | | |
|---|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1. На лежачому боці круто падаючого підкиду | 2. На висячому боці падаючого підкиду | 3. Над вертикальним скидом | 4. Над нормальним скидом |
|---|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------|

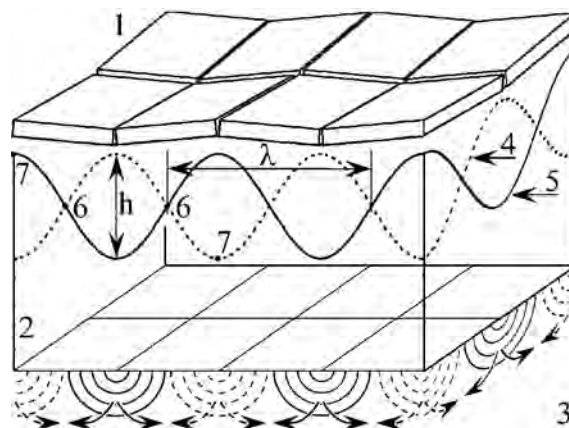


Рис. 2. Коливання сейшових хвиль під льодом у прямокутному басейні постійної глибини [Анахов, 2014а]

(1 – льодовий покрив; 2 – водна маса; 3 – дно з нанесеними силовими лініями поля мікросейсмів; 4, 5 – проєкції хвиль на передні вертикальні стінки в моменти часу t і $t+T/2$, де T – період хвилі; 6, 7 – вузли та пучності хвилі, відповідно; $h = 2A$ – висота хвилі, де A – амплітуда; λ – довжина хвилі)

Fig 2. Fluctuations of seiches under the ice in a rectangular basin of constant depth [Анахов, 2014а]

(1 – ice cover; 2 – water; 3 – bottom with applied field force lines of microseisms; 4, 5 – the projection of the wave front on a vertical wall at the time moments t and $t+T/2$ where T is the wave period; 6, 7 – nodes and antinodes of waves, respectively; $h = 2A$ – height of the wave, where A – amplitude; λ – wavelength)

Літосферні деформації від тиску сейшової хвилі утворюють решітку з ліній пучностей (див. рис. 2). Мінімальний тиск на дно на лінії вузлів становитиме $\sigma_n = 0$ Па, максимальний тиск на дно на лінії пучності можна розрахувати за формулою [Анахов, 2014б]:

$$\sigma_{an} = \rho gh / 2, \text{ Па}. \quad (3)$$

Характерна частота коливань поверхневих сейш у прямокутному басейні з горизонтальним

дном за формулою Меріана [Арсеньєва и др., 1963]:

$$f_{ab} = 1800\sqrt{gD} \times \sqrt{(a/L)^2 + (b/W)^2}, \text{ срн (4)}$$

де $a=1;2;\dots;a$, $b=1;2;\dots;b$ – кількість вузлів поздовжньої та поперечної сейш, відповідно; D , L , W – характерні глибина, довжина, ширина басейну.

У моделі О. Островського, окрім тектонічного навантаження на розлом, діють статичний тиск стовпа рідини й набагато менш інтенсивні коливання тиску, спричинені стоячими хвилями зі змінною амплітудою, які призводять до виникнення ефекту втоми. У такій ситуації порушення, спричинені ефектом втоми, які накопичуються в породах зони розлому, можуть привести до її руйнування, що породжує землетрус. Максимальний ефект втоми, який визначається дією сейш, розраховується за формулою $\sigma_{res} = \sigma_{an} \times f$, Па/год [Островский, 1990].

Порушення, спричинені ефектом втоми, нагромаджуються роками. Для землетрусів процес накопичення геопотенціальної енергії та лінійної зміни деформації земної кори, перш ніж перейти в нелінійну фазу, може становити 70–100 років [Швец, 2006]. Враховуючи це, приймемо

$$\sigma_{res} = \sum_{i=1}^n \sigma_i = k(\sigma_{an} \times f), \text{ Па/ст., (5)}$$

де $i=1,2,\dots,n$ – кількість циклів за рік; $k \approx 24 \cdot 365,25 \cdot 100 = 0,88 \cdot 10^6$ – коефіцієнт переведення тривалості ефекту втоми з години на століття.

Результати числового аналізу

На підставі експериментальних досліджень, аналітичних і числових оцінок встановлено наявність кореляції амплітуд довгоперіодних літосферних деформацій, що реєструються в Чорноморському регіоні, з сейсмічністю цього регіону [Нестеров, 1996].

Очевидні зміни, що відбулися за час наповнення котловини Азовського моря і поповнення котловини Чорного моря. На рис. 3, ліворуч, показана крива 1 коливань середнього рівня моря щодо сучасного рівня, і крива 2 коливань рівня Азово-Чорноморського басейну за останні 19 тисяч років. На карті Азово-Чорноморського басейну (рис. 3) показано берегову лінію 17,7 тисяч років тому і сучасна берегова лінія.

Підвищення середнього рівня океану H на 104,99 м за останні 17,7 тисяч років привело до збільшення площі Чорного моря на 100 000 км² [Ryan et al., 1997]. Відповідно до теорії чорноморського потопу Райана–Пітмана, викликана проривом природної Босфорської греблі швидкість поповнення становила 50 км³/добу, викликаючи збільшення глибини до 10 см/добу. У підсумку за $104,99/0,10 = 1\,049,9$ днів об'єм моря збільшився на $50 \cdot 1\,049,9 = 52\,500$ м³ (результат не суперечить думці опонентів, які вважають поповнення повільним – див., наприклад, [Konikov et al., 2009]).

Результати розрахунків сейшових деформацій дна Азовського моря згідно зі запропонованою методикою подані в табл. 2; результати розрахунків сейшових деформацій дна Чорного моря наведені в табл. 3.

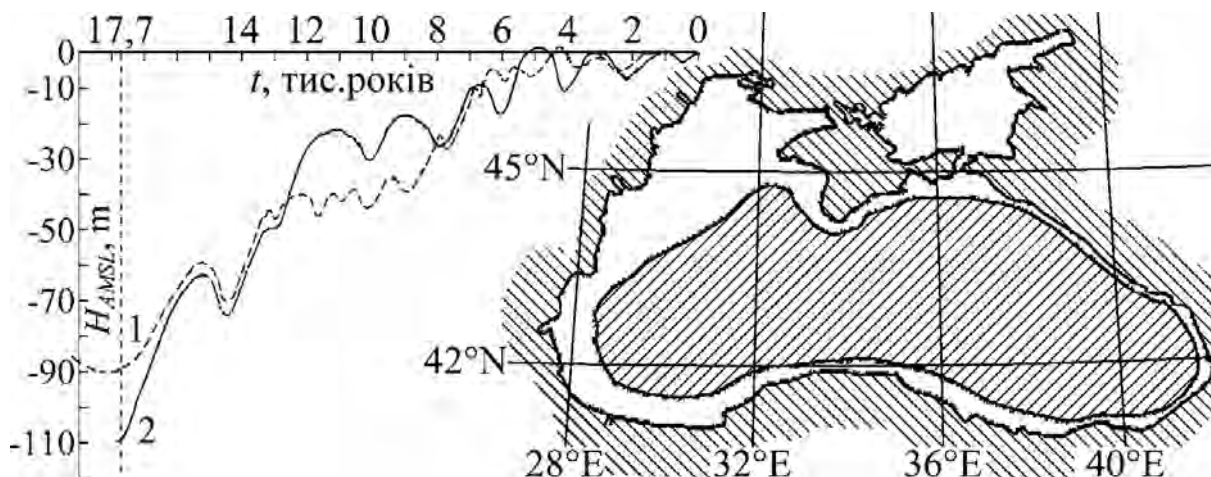


Рис. 3. Криві коливань середнього рівня моря (1) і рівня Чорного моря (2) [Konikov et al., 2009]

(на карті Азово-Чорноморського басейну виділені кордони сучасного берега і береги 17,7 тис. років тому)

Fig. 3. Curves of fluctuations of mean sea level (1) and water level of the Black Sea (2) [Konikov et al., 2009]

(on map Black Sea marked the boundaries of modern coast and coast 17.7 thousand years ago)

Таблиця 2

Результати сейшових деформацій дна Азовського моря

Table 2

Results of seiches deformation of the Azov Sea ground

| Показник | 17,7 тис. рр. тому | Теперішній час | | | | |
|--|--------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Довідкові дані | | | | | | |
| H , м [Konikov et al., 2009] | -104,99 | 0 | | | | |
| V , км ³ | 0 | 320,0 [Большая, 1970] | | | | |
| S , км ² | 0 | 38×10 ³ [Большая, 1970] | | | | |
| L , км | 0 | 360,0 [Matishov, Inzhebeikin, 2009] | | | | |
| Мода сейш | 10-50 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| f , срн [Matishov, Inzhebeikin, 2009] | 0 | 0,026 | 0,042 | 0,083 | 0,114 | 0,196 |
| h , м [Matishov, Inzhebeikin, 2009] | 0 | 0,35 | 0,50 | 0,25 | 1,50 | 0,50 |
| Розрахункові дані | | | | | | |
| $\bar{D} = V / S$, м | 0 | 8,4 | | | | |
| $\bar{W} = S / L$, км | 0 | 105,6 | | | | |
| σ , 10 ⁶ Па (див. формулу 2) | 0 | 0,08 | | | | |
| Мода сейш | 10-50 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| $\sigma_{ан}$, 10 ⁶ Па (див. формулу 3) | 0 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,007 | 0,002 |
| f , срн (див. формулу 4) | 0 | 0,045 | 0,091 | 0,136 | 0,182 | 0,227 |
| $\sigma_{рес}$, 10 ⁶ Па/ст. (див. формулу 5) | 0 | 68 | 195 | 147 | 1172 | 489 |

Таблиця 3

Результати сейшових деформацій дна Чорного моря

Table 3

Results of seiches deformation of the Black Sea ground

| Показник | 17,7 тис. рр. тому | | | Теперішній час | | |
|---|-----------------------|-------|-------|---------------------------------------|---------|---------|
| Довідкові дані | | | | | | |
| H , м [Konikov et al., 2009] | -104,99 | | | 0 | | |
| V , км ³ | 494,5×10 ³ | | | 547,0×10 ³ [Большая, 1970] | | |
| S , км ² | 320,3×10 ³ | | | 420,3×10 ³ [Большая, 1970] | | |
| L , км | Менше 1 150 | | | 1 150 [Большая, 1970] | | |
| Мода сейш | 10 | 20 | 01 | 10 | 20 | 01 |
| f , срн [Баклановская и др., 1986] | 0 | 0 | 0 | 0,217 | 0,435 | 0,714 |
| h , м [Баклановская и др., 1986] | 0 | 0 | 0 | 0,08 | 0,01 | 0,03 |
| Розрахункові дані | | | | | | |
| \bar{D} , м | 1 543,9 | | | 1 301,5 | | |
| \bar{W} , км | 278,5 | | | 365,5 | | |
| σ , 10 ⁶ Па | 15,15 | | | 12,77 | | |
| Мода сейш | 10 | 20 | 01 | 10 | 20 | 01 |
| $\sigma_{ан}$, 10 ⁶ Па | 0 | 0 | 0 | 0,00040 | 0,00005 | 0,00010 |
| f , срн | 0,193 | 0,385 | 0,795 | 0,177 | 0,354 | 0,556 |
| $\sigma_{рес}$, 10 ⁶ Па/ст. | 66 | 17 | 103 | 61 | 15 | 72 |

Порівняння величин деформацій дна Чорного моря, що викликані навантаженням від створеного водоймами тиску, із деформаціями сейшового походження не спростовує припущення про те, що коливання поверхні води у морі, спричинені стоячими хвилями, можуть сприяти збудженню землетрусів. Також допускається вплив на сейсмічну інтенсивність водного басейну сейш Азовського моря, максимальний ефект утоми від дії яких порівняний із ефектом утоми від дії сейш Чорного моря.

Так, непрямо підтверджується можливий вплив на зміну нормативної сейсмічності зони водойм як статичного навантаження, зумовленого вагою води і створений цим поровий тиск, так і порівняні з ними варіації порового тиску, що зумовлені режимом підземних вод. У нашому випадку режим підземних вод є функцією власних, сейшових коливань води.

Крім того, вплив сейш на сейсмічно активний тектонічний розлом відрізняє положення силових ліній, які утворюють решітку.

Наукова новизна

Розроблено модель сейшового деформування дна. Відповідно до моделі, силові лінії поля довгоперіодних сейшових коливань утворюють решітку, розміри комірок якої залежать від морфометричних характеристик водойм. Зміни сейсмічної інтенсивності зони водойми відбуваються за рахунок нагромадження порушень сейсмічно активного тектонічного розлому, зосередженого в околиці силових ліній, що спричинені ефектом утоми.

Практична значущість

Використання решіткової моделі сейшового деформування дна дасть змогу прогнозувати можливі землетруси. Для оцінки сейсмічної інтенсивності слугують два критерії: по-перше, тип сейсмічно активного тектонічного розлому і його місце розташування відносно силових ліній поля сейшових коливань; по-друге, спрямованість зміни величини порушень розлому, спричинених ефектом утоми.

Висновки

Передбачається, що причиною кореляції амплітуд довгоперіодних літосферних деформацій Чорноморського регіону, зумовлених власними коливаннями рівня води, із сейсмічністю цього регіону, може бути додатковий тиск на дно, викликаний сейшовими коливаннями.

Цю думку підтверджує виконане теоретичне обґрунтування змін сейсмічної інтенсивності, зроблене на припущенні О. Островського щодо можливості збудження землетрусу за рахунок порушень літосфери, які накопичуються в межах напруженого тектонічного розлому в разі подразнення його сейшовою хвилею.

Література

- Анахов П. В. Високоточне руйнування льодового покриву водойми / П. В. Анахов // Водне господарство України. – 2014а. – № 3. – С. 22–25.
- Анахов П. В. Підвищення виробітку потужності гідроелектростанцій за рахунок енергії сейшів / П. В. Анахов // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2014б. – № 3. – С. 51–55.
- Арсеньева Н. М. Сейши на озерах СССР / Н. М. Арсеньева, Л. К. Давыдов, Л. Н. Дубровина, Н. Г. Конкина. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1963. – 184 с.
- Баклановская В. Ф. Результаты численного моделирования поверхностных и внутренних сейшевых колебаний в Черном море / В. Ф. Баклановская, А. С. Блатов, А. Т. Кондрин, И. И. Чечель // Метеорология и гидрология. – 1986. – № 6. – С. 74–81.
- Большая советская энциклопедия (в 30 томах) / Гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 1970.
- Горячкин Ю. Н. Изменения климата и динамика берегов Украины / Ю. Н. Горячкин, В. А. Иванов // Доповіді НАН України. – 2008. – № 10. – С. 118–122.
- Данилов-Данильян В. И. Глобальная проблема дефицита пресной воды / В. И. Данилов-Данильян // Век глобализации. – 2008. – № 1. – С. 45–56.
- Нестеров В. В. Исследования литосферных деформаций средствами большебазовой лазерной интерферометрии: автореф. дисс. ... д-ра физ.-матем. наук. – Симферополь: Симферопольский государственный университет, 1996. – 29 с.
- Островский А. А. Возможная причина сезонной периодичности некоторых Калифорнийских землетрясений / А. А. Островский // Доклады АН СССР. – 1990. – Т. 313, № 1. – С. 83–86.
- Тетельмин В. В. Воздействие строительства крупных гидроузлов на изостатическое состояние земной коры / В. В. Тетельмин // Гидротехническое строительство. – 2009. – № 11. – С. 46–50.
- Чехов В. Н. Сверхдлиннопериодные литосферные деформации, возбуждаемые сейшевыми колебаниями / В. Н. Чехов, В. В. Нестеров, Ю. Б. Иванов, В. А. Насонкин // Доклады РАН. – 1994. – Т. 336, № 3. – С. 391–393.
- Швец В. А. Аппаратно-программные системы для регистрации взаимодействия геосфер: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Владивосток: Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева, 2006. – 32 с.
- Gupta H. K. A review of recent studies of triggered earthquakes by artificial water reservoirs with special emphasis on earthquakes in Koyna, India. *Earth-Science Reviews*, 2002, Vol. 58, No. 3, p. 279–310. doi: 10.1016/S0012-8252(02)00063-6.
- Gupta H. K. Artificial Water Reservoir Triggered Earthquakes / *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*. Editor: Gupta H. K. – Springer, 2011. – P. 15–24.
- Konikov E. Fluctuations of the Black Sea level in Neoeuxine-Holocene versus catastrophic flood hypothesis / E. Konikov, S. Fashevsky, G. Pedan // *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. – 2009. – № 3. – С. 55–69.
- Matishov G. G., Inzhebeikin Y. I. Numerical Study of Azov Sea Level Seiche Oscillations. *Oceanology*, 2009, Vol. 49, iss. 4, pp. 445–452. doi: 10.1134/S0001437009040018.
- Ryan W. B. F., Pitman W. C., Major C. O., Shimkus K., Moskalenko V., Jones G. A., Dimitrov P., Gorur N., Sakinc M., Yuce H. An abrupt drowning of the Black Sea Shelf. *Marine Geology*, 1997, Vol. 138, iss.1–2, pp. 119–126.
- Talwani P. On the Nature of Reservoir-induced Seismicity. *Pure and Applied Geophysics*, 1997, Vol. 150, iss.3–4, p. 473–492. doi: 10.1007/s000240050089.

П. В. АНАХОВ

Государственный университет телекоммуникаций, 03680, г. Киев, ул. Соломенская, 7, 38(050)385-78-41, anakhov@i.ua

ВОЗБУЖДЕНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЛИТОСФЕРЕ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА
СЕЙШЕВЫМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ ДНА

Цель. Оценка возможных причин землетрясений в зоне водоемов путем сравнения деформаций поверхности Земли, обусловленных собственными колебаниями воды, с деформациями, которые вызваны нагрузкой от созданного водоемами давления. **Методика.** Методика основывается на предположении о возможности возбуждения землетрясения за счет усталостных нарушений, которые накапливаются в пределах напряженного тектонического разлома при раздражении его сейшевой волной. Литосферные деформации от давления сейшевой волны образуют решетку из линий пучностей. **Результаты.** Повышение среднего уровня океана на 104,99 м за последние 17 700 лет привело к наполнению котловины Азовского моря и увеличению площади Черного моря. Сравнение величин деформаций дна Черного моря, вызванных нагрузкой от созданного водоемами давления, с деформациями сейшевого происхождения не опровергает предположения о том, что колебания поверхности воды в море, вызванные стоячими волнами, могут способствовать возбуждению землетрясений. Допускается влияние на сейсмическую интенсивность водного бассейна сейш Азовского моря, максимальный усталостный эффект от действия которых сравним с усталостным эффектом от действия сейш Черного моря. Таким образом, косвенно подтверждается возможное влияние на изменение нормативной сейсмичности зоны водоемов как статической нагрузки, обусловленной весом воды и созданное этим поровое давление, так и сравнимые с ними вариации порового давления, которые обусловлены режимом подземных вод. В нашем случае режим подземных вод является функцией собственных, сейшевых колебаний воды. Кроме того, влияние сейш на сейсмически активный тектонический разлом отличает положение силовых линий, которые образуют решетку. **Научная новизна.** Разработана модель сейшевого деформирования дна. Согласно модели, силовые линии поля длиннопериодных сейшевых колебаний образуют решетку, размеры ячеек которой зависят от морфометрических характеристик водоемов. Изменения сейсмической интенсивности зоны водоема происходят за счет накопления усталостных нарушений сейсмически активного тектонического разлома, сосредоточенного в окрестности силовых линий. **Практическая значимость.** Использование решеточной модели сейшевого деформирования дна позволит прогнозировать возможные землетрясения. Для оценки сейсмической интенсивности служат два критерия: тип сейсмически активного тектонического разлома и его местоположение по отношению к силовым линиям поля сейшевых колебаний; направленность изменения величины усталостных нарушений разлома.

Ключевые слова: гидротехническое строительство; глобальное потепление; возбуждения землетрясений; усталостное нарушение тектонического разлома; решеточная модель деформирования дна; сейши.

P. V. ANAKHOV

State University of Telecommunications, 03680, Kyiv, Solomenska str., 7, (050)385-78-41, anakhov@i.ua

TRIGGERING OF EARTHQUAKES OF AZOV-BLACK SEA BASIN
BY SEICHE DEFORMATION OF THE GROUND

Purpose. Evaluation of possible causes of earthquakes in the area of waters by comparing the Earth's surface deformations, caused by their own variations of water, with deformations, caused by stress from pressure created ponds. **Method.** The method is based on the hypothesis of the possibility of excitation of the earthquake as a result of the fatigue defects, which accumulated in the intense tectonic fault due to oscillation of seiche-triggered wave. Lithosphere deformations, caused by pressure of seiche-triggered waves, form the lattice of antinode lines. **Results.** Increasing of mean sea level at 104.99 meters in the last 17 700 years has led to the filling of the basin of Azov Sea and to the increase of the area of Black Sea. Comparison of deformations of the Black Sea bottom, which caused by the load from the pressure created by waters, with deformations of seiches origin does not disprove the assumption that fluctuations of water surface in the sea, caused by standing waves, can contribute to the excitation of the earthquake. It is assumed impact on seismic intensity of the basin from seiches of Azov Sea, the maximum fatigue effect of which is comparable to the effect of fatigue actions seiches of Black Sea. Thus, indirectly confirmed the possible impact on normative seismicity of water seismic zone static load, caused by the weight of the water and created this pore pressure, and compared these changes with the variation of pore pressure conditions, caused by groundwater. In our case, groundwater condition is a function of its own, seiche fluctuations of water. In addition, the impact on seiche seismically active tectonic fault distinguished position power lines that form a grid. **Originality.** We developed model of seiche-triggered deformation of the ground. According to the model, field lines of the field of long-period seiches oscillations form lattice with sizes of cells,

which depend on the morphometric characteristics of waters. Changes of the seismic intensity of zone of waters occur due to the accumulation of fatigue defects in seismically active tectonic fault, concentrated in the vicinity of field lines. **Practical significance.** Using the lattice model of seiche-triggered deformation of the ground allows predicting possible earthquakes. To evaluate the seismic intensity we propose two criteria: type of seismically active tectonic fault and its location relative to the field lines of seiche-triggered oscillations; direction of change of the fatigue defects of the fault.

Key words: hydraulic engineering; global warming; triggering of earthquakes; fatigue defect of tectonic fault; lattice model deformation of the ground; seiches.

REFERENCES

- Anakhov P. V. *Vysokotochne rujnuvannja ljodovogho pokryvu vodojmy* [Precise destruction of ice cover reservoir]. *Vodne gospodarstvo Ukrainy – Water industry of Ukraine (Ukraine)*, 2014a, No. 3, pp. 22–25.
- Anakhov P. V. *Pidvyshhennja vyrobittu potuzhnosti ghidroelektrostantsij za rakhunok energhiji sejshev* [Increase of hydroelectric power due to seiches energy]. *Energhetyka: ekonomika, tekhnologhiji, ekologhija – Power Engineering: economics, technique, ecology (Ukraine)*, 2014b, No. 3, pp. 51–55.
- Arsen'eva N. M., Davydov L. K., Dubrovina L. N., and Konkina N. G. *Sejshti na ozerah SSSR* [Seiches of the Lakes of the USSR]. *Leningrad: Publ. House of Leningrad State University*, 1963, 184 p.
- Baklanovskaya V. F., Blatov A. S., Kondrin A. T., and Chechel I. I. *Rezultaty chislennogo modelirovanija poverhnostnyh i vnutrennih sejshevnyh kolebanij v Chernom more* [Results of numerical simulating surface and internal seiche fluctuations in the Black sea]. *Meteorologija i gidrologija – Russian meteorology and hydrology (Russia)*, 1986, No. 6, pp. 74–81.
- Bol'shaja sovetskaja jenciklopedija* (v 30 tomah) [Great Soviet Encyclopedia (in 30 volumes)]. Gl. red. A. M. Prohorov. 3-e izd. Moskva: Sovetskaja jenciklopedija – Moscow: Soviet encyclopedia, 1970.
- Gorjachkin Ju. N., and Ivanov V. A. *Izmenenija klimata i dinamika beregov Ukrainy* [Climate change and the coast dynamics of Ukraine]. *Dopovidi NAN Ukrainy – Proceedings of the Academy of Sciences of Ukraine (Ukraine)*, 2008, No. 10, pp. 118–122.
- Danilov-Danilyan V. I. *Global'naja problema deficita presnoj vody* [Global Problem of the Sweet Water Shortage]. *Vek globalizacii – Age of Globalization (Russia)*, 2008, No. 1, pp. 45–56.
- Nesterov V. V. *Issledovanija litosfernyh deformacij sredstvami bol'shebazovoj lazernoj interferometrii*. Avtoref. diss. Dr. fiz.-mat. nauk [Research lithospheric deformations by methods of large-base laser interferometry. Avtoref. Dr. phys. and mat. sci. diss.]. Simferopol: Tavrida National V.I. Vernadsky University, 1996, 29 p.
- Ostrovsky A. A. *Vozmozhnaja prichina sezonnoj periodichnosti nekotoryh Kalifornijskih zemletrjasenij* [Possible cause of seasonal periodicity of some California earthquakes]. *Doklady AN SSSR – Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR (Russia)*, 1990, Vol. 313, No. 1, pp. 83–86.
- Tetelmin V. V. *Vozdejstvie stroitel'stva krupnyh gidrouzlov na izostaticheskoe sostojanie zemnoj kory* [Effect of building large-scale hydraulic engineering construction on isostatic state of crustal]. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo – Hydraulic building (Russia)*, 2009, No. 11, pp. 46–50.
- Chekhov V. N., Nesterov V. V., Ivanov Yu. B., and Nasonkin V. A. *Sverhdlinnoperiodnye litosfernye deformacii, vozvuzhdaemye sejshevnyimi kolebanijami* [Overlong-period lithospheric deformations excited by seiche oscillations]. *Doklady RAN – Proceedings of the Russian Academy of Sciences (Russia)*, 1994, Vol. 336, No. 3, pp. 391–393.
- Shvets V. A. *Apparatno-programmnye sistemy dlja registracii vzaimodejstvija geosfer*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Hardware and software systems for the registration interaction of geospheres. Avtoref. Cand. techn. sci. diss.]. Vladivostok: V. I. Ilyichov Pacific Oceanological Institute, 2006, 32 p.
- Gupta H. K. A review of recent studies of triggered earthquakes by artificial water reservoirs with special emphasis on earthquakes in Koyna, India. *Earth-Science Reviews*, 2002, Vol. 58, No. 3, p. 279–310. doi: 10.1016/S0012-8252(02)00063-6.
- Gupta H. K. Artificial Water Reservoir Triggered Earthquakes. In: H. K. Gupta (Editor). *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*. Springer, 2011, p. 15–24.
- Konikov E., Fashevsky S., and Pedan G. Fluctuations of the Black Sea level in Neoeuxine-Holocene versus catastrophic flood hypothesis. *Geologija i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana – Geology and Mineral Resources of the World Ocean (Ukraine)*, 2009, No. 3, pp. 55–69.
- Matishov G. G., and Inzhebeikin Y. I. Numerical Study of Azov Sea Level Seiche Oscillations. *Oceanology*, 2009, Vol. 49, iss.4, pp. 445–452. doi: 10.1134/S0001437009040018.
- Ryan W. B. F., Pitman W. C., Major C. O., Shimkus K., Moskalenko V., Jones G. A., Dimitrov P., Gorur N., Sakinc M., and Yuce H. An abrupt drowning of the Black Sea Shelf. *Marine Geology*, 1997, Vol. 138, iss.1–2, pp. 119–126.
- Talwani P. On the Nature of Reservoir-induced Seismicity. *Pure and Applied Geophysics*, 1997, Vol. 150, iss.3–4, p. 473–492. doi: 10.1007/s000240050089.

Надійшла 02.03.2016 р.