



Tsunami

Paweł F. Góra
Instytut Fizyki UJ

Katastrofa, jaka 26 grudnia 2004 roku nawiedziła południowo-wschodnią Azję i pochłonęła setki tysięcy (ostatnie raporty mówią o prawie trzystu tysiącach) istnień ludzkich, każe zadać pytanie o przyczyny i mechanizm powstawania fal tsunami. Ponieważ zjawisko to występuje stosunkowo często, głównie na Oceanie Spokojnym, wiele – choć bynajmniej nie wszystko – na ten temat wiadomo. Szczegółowe informacje można znaleźć w literaturze specjalistycznej i w Internecie. W tym krótkim artykule przedstawimy tylko najważniejsze aspekty mechanizmu wywołującego tsunami.

Samo słowo tsunami pochodzi od japońskich słów *tsu*, oznaczającego zatokę, i *nami*, oznaczającego falę. Jest to zatem wielka fala, którą można zauważyć w zatoce, a więc blisko wybrzeża, nie na otwartym oceanie. Japonia, leżąca w bardzo aktywnym sejsmicznie regionie świata, w przeszłości doświadczyła wielu ataków fal tsunami (rys. 1).



Rys. 1. Katsushika Hokusai, *Wielka fala u wybrzeża Kanagawa*, fragment cyklu *Trzydzieści sześć widoków góry Fuji* (1823–1839). Choć autor zamierzał przedstawić falę tsunami, rysunek jest mylący, gdyż tsunami na ogół nie wyglądają jak wielkie, łamiące się fale

Najczęstszym typem tsunami są tsunami sejsmiczne, wywołane podmorskimi trzęsieniami ziemi zdarzającymi się na głębokich wodach otwartego oceanu. Jednak nie każde podoceaniczne trzęsienie ziemi wywołuje tsunami. Trzęsienie ziemi na Morzu Andamańskim, które wywołało tsunami 26 grudnia, miało natężenie 9,0 stopni w skali Richtera. Niewiele jednak osób wie, że trzy dni wcześniej, 400 kilometrów na południe od Nowej Zelandii, zdarzyło się trzęsienie ziemi o po-

równywalnej skali (8,2 stopnia), które nie wywołało najmniejszego nawet tsunami i znane jest tylko z zapisów sejsmicznych. Trzęsienia ziemi pojawiają się, gdy wzajemny ruch dwu płyt tektonicznych zostaje zablokowany – po jakimś czasie zgromadzona w uskoku energia zostaje wyzwolona poprzez gwałtowne ruchy skorupy ziemskiej. Są trzy główne typy trzęsień ziemi: płyty mogą przesuwać się względem siebie równolegle, trąć o siebie wzdłuż uskoku (taki był mechanizm niedawnego trzęsienia ziemi w Turcji), płyty mogą oddalać się od uskoku (tak dzieje się na przykład na dnie Oceanu Atlantyckiego), wreszcie jedna płyta może być wciągana pod drugą. Tylko ten trzeci typ trzęsienia ziemi może wywołać tsunami.

Gdy jedna płyta tektoniczna jest wciągana pod drugą, energia wyzwolona w trzęsieniu ziemi może spowodować gwałtowne wypiętrzenie fragmentu dna oceanicznego. Jeśli wypiętrzenie to jest dostatecznie duże (według obliczeń 15 metrów lub więcej), cała kolumna wody, znajdująca się nad wypiętrzoną w wyniku trzęsienia fragmentem dna, zostaje uniesiona. Oczywiście powoduje to straszliwe naruszenie równowagi mas wody – woda „rozbiega się” od epicentrum w poszukiwaniu nowego położenia równowagi. Tsunami nie jest zjawiskiem powierzchniowym, udział w nim bierze cała masa wody, od dna aż po powierzchnię oceanu.

Na otwartym oceanie, gdzie głębokość sięga tysięcy metrów, fala tsunami nie jest wysoka – nie przekracza kilkudziesięciu centymetrów ponad normalną powierzchnię morza – za to przemieszcza się z prędkością odrzutowca (około 800 kilometrów na godzinę), a jej długość może przekraczać 200 kilometrów. Gdy fala zbliża się do lądu, zwalnia, skraca się i wypiętrza. Gdy morze jest głębokie na 10 metrów, fala tsunami ma około 10 kilometrów długości, przemieszcza się z prędkością 30–40 kilometrów na godzinę i unosi się na kilka–kilkanaście (lub więcej) metrów ponad normalny poziom morza. Na skutek skomplikowanych oddziaływań mas wody i dna morskiego mogą powstawać dodatkowe prądy, dzielące jedną falę tsunami na kilka fal. Dlatego też jedno trzęsienie ziemi może spowodować rozłożony na kilka godzin atak kilku fal tsunami na wybrzeże, przy czym niekoniecznie pierwsza fala jest najwyższa i najbardziej niszczycielska. Fala, która w nocy z 22 na 23 maja 1960 roku zniszczyła miasto Hilo na Hawajach, zabijając 61 osób i ciężko raniąc 282, była trzecią z kolei i nadeszła godzinę po pierwszej fali tsunami. Po niej w ciągu następnej godziny nadeszło pięć kolejnych fal.

Wypiętrzające się na płytkich wodach tsunami może też „zasysać” wodę sprzed siebie. Poziom morza przed nadciągającym tsunami w takim wypadku spada, niekiedy bardzo znacznie. Kolejne fale tsunami mogą być więc rozdzielone czymś, co wygląda jak wyjątkowo silny odpływ (rys. 2). Niekiedy zjawisko to poprzedza atak pierwszej fali.



Rys. 2. Plaża Kalutara na Sri Lance, 26 grudnia 2004. Cofająca się fala tsunami powoduje gigantyczny „odpływ” morza

Wbrew popularnym opiniom i wbrew licznym artystycznym wyobrażeniom, atakująca wybrzeże fala tsunami na ogół nie przypomina wielkiego grzywacza pędzonego wiatrem. Tsunami wygląda raczej jak niezwykle silny i raptowny przypływ – cały poziom morza lokalnie podnosi się i o ląd uderza nie tyle ściana, ile wysoka na wiele metrów płyta wody. To nie wysokość fali jest najbardziej niszczycielskim czynnikiem tsunami. Niekiedy wiatry mogą wywołać powierzchniowe fale przyboju o wysokości porównywalnej do fali tsunami. Taka fala uderza o wybrzeże, łamie się i cofa, ustępuje, powodując co najwyżej lokalne zniszczenia. Tsunami nie ustępuje, tylko wdzierza się w ląd i pędzi, pędzi, pędzi, niszcząc wszystko po drodze. Najwięcej zniszczeń powodują silne prądy i porwane przez nie szczątki, często o wadze setek kilogramów, które burzą kolejne budowle, łamią drzewa, unoszą przedmioty, miażdżą i ranią ludzi.

Jak już napisałem, tsunami występują głównie na Oceanie Spokojnym, dlatego też kraje leżące wokół pacyficznego pierścienia ognia (wybrzeża Pacyfiku są bardzo aktywne sejsmicznie i upstrzone wulkanami) opracowały i zainstalowały system automatycznych mierników, ostrzegających przed nadciągającymi tsunami, co daje ludziom czas na ucieczkę na wyżej położone tereny. Katastrofalne trzęsienie ziemi i tsunami 26 grudnia 2004 miało miejsce na Oceanie Indyjskim, gdzie tsunami w nowożytnych czasach nie występowały, a położone tam kraje nie zainstalowały systemu wczesnego ostrzegania. Mieszkańcy gęsto zaludnionych

terenów narażonych na atak fal nie zostali ostrzeżeni, mimo iż był na to czas, nie schronili się i dlatego straty były tak wielkie.

Tsunami mogą powstawać także w wyniku podmorskich wybuchów wulkanicznych oraz w wyniku gigantycznych obsunięć ziemi, wywołanych trzęsieniami ziemi lub wybuchami wulkanów. Wybuch wulkanu na greckiej wyspie Santorini, który nastąpił około 1400 roku p.n.e. i dosłownie rozerwał całą wyspę, spowodował monstrialne obsunięcie ziemi do Morza Egejskiego. Przypuszcza się, iż wywołane tym tsunami spowodowało zagładę cywilizacji minojskiej na Krecie – być może echa tego właśnie zdarzenia przetrwały w postaci mitu o zatopieniu Atlantydy.



Rys. 3. Zatoka Lituya Bay widziana z tej strony, po której nastąpiło obsunięcie ziemi. W prawej części zdjęcia wyraźnie widoczne jest zbocze góry огоłocone z roślinności przez rozbryzg

Jednak największe fale oceaniczne mają pochodzenie – mówiąc żargonowo – impaktowe. Co się stanie, gdy do płytkiej kałuży wrzucimy duży kamień? Powstanie wielki rozbryzg, woda może unieść się na znaczną wysokość. Taki właśnie był mechanizm powstania największej znanej i opisaną fali: 9 lipca 1958 roku niewielkie trzęsienie ziemi spowodowało wielkie obsunięcie gruntu do płytkiej zatoki Lituya Bay na Alasce. Powstały rozbryzg zupełnie огоłocił z drzew i wszelkiej roślinności przeciwległy brzeg zatoki zostawiając nagą skałę (rys. 3), odbił się i zdewastował ten brzeg, na którym nastąpiło obsunięcie gruntu. Mierząc wedle linii zniszczeń, woda w rozbryzgu musiała unieść się na około 1720 stóp, czyli 516 metrów ponad poziom morza! Obsunięcie ziemi wywołało też lokalne tsunami – według słów naocznych świadków, fala tsunami u ujścia zatoki miała około 100 stóp, czyli około 30 metrów wysokości. Okolice ta jest bardzo słabo

zaludniona, nie było więc wielu ofiar w ludziach – zginęło kilka osób znajdujących się na pokładach łodzi, które miały nieszczęście znaleźć się tego dnia w pobliżu Lituya Bay. Rozbryzg spowodowany upadkiem meteorytu, który, jak sądzimy, spowodował zagładę dinozaurów 65 milionów lat temu, musiał być wysoki na wiele kilometrów.

Bibliografia internetowa

W Internecie można znaleźć wiele stron poświęconych tsunami. My szczególnie polecamy następujące:

- <http://pubs.usgs.gov/circ/c1187/> – relacje osób, które przeżyły różne tsunami, oraz wiele ciekawych danych naukowych.
- <http://www.globalsecurity.org/eye/andaman-pix2.htm> – wyjaśnienie mechanizmu powstawania sejsmicznych tsunami.
- <http://www.ess.washington.edu/tsunami/index.html> – odnośniki do innych stron poświęconych tsunami.
- <http://www.tsunami.org/> – wirtualne muzeum tsunami.
- http://news.bbc.co.uk/1/hi/in_depth/4136289.stm – między innymi ciekawa animacja powstawania sejsmicznych tsunami oraz przebiegu tsunami 26 grudnia 2004.
- <http://homepage.mac.com/demark/tsunami/> – fascynująca kolekcja zdjęć satelitarnych przedstawiających tsunami z 26 grudnia 2004 i, dla porównania, zdjęcia tych samych fragmentów wybrzeża sprzed ataku tsunami.
- <http://www.drgeorgepc.com/Tsunami1958LituyaB.html> – tsunami w Lituya Bay.