



STRZEŻ SIĘ TYCH MIEJSC

Mieszkańcy Kalifornii nie mogą być pewni dnia ani godziny: San Francisco i Los Angeles wcześniej czy później zniszczy potężne trzęsienie Ziemi.

MIROSLAW RUTKOWSKI

AMERYKAŃSKIM OSADNIKOM KALIFORNIA WYDAWAŁA się rajem na ziemi – łagodny klimat, żyzne ziemie, w górach obfitość rud metali, zwłaszcza złota. Szybko zaczęły powstawać miasta – Los Angeles, San Francisco i Sacramento. Okazało się jednak, że nic nie jest doskonałe – 18 kwietnia 1906 roku ziemia zatrzęsała się w San Francisco. W zrujnowanym mieście wybuchł pożar. Zginęło 700 osób, zniszczonych zostało 25 tys. domów.

Skutki przegięć

Badania przeprowadzone po tej tragedii ujawniły prawdę – w całych Stanach Zjednoczonych trudno znaleźć bardziej niebezpieczne miejsce. Z map geologicznych wynika, że Kalifornia jest poszatkowana potężnymi, wciąż aktywnymi uskokami tektonicznymi, zaś najbardziej niebezpieczny – uskoc San Andreas – przebiega przez gęsto zabudowane dzielnice San Francisco i okolice Los Angeles. Kalifornia leży na krawędzi wielkiej Płyty Północnoamerykańskiej, wzdłuż której

przesuwa się powoli na północny zachód Płyta Pacyfiku. Graniczące ze sobą płyty ścierają się z ogromną siłą, powstają naprężenia, przenoszące się w głąb kontynentu. Siły, które tu działają, są największe ze znanych w przyrodzie.

Sztywne warstwy skalne poddane stałemu naciskowi najpierw akumulują energię, zmieniając kształt. Wyginanie skał nie trwa jednak bez końca – po przekroczeniu granicy wytrzymałości pękają w najsłabszym miejscu. Drobną, niepozorną rysa błyskawicznie rozszerza się – powstaje płaszczyna uskoku, wzdłuż której mogą przesunąć się bloki skalne. Ich ruch wyzwala nagromadzoną energię i trwa do chwili ponownego zrównoważenia układu. Bloki zatrzymują się i znów akumulują energię.

Tuż przed osiągnięciem granicy wytrzymałości skały zaczynają wibrować. W momencie przełamania drgania osiągają szczyt, wygasają po zatrzymaniu bloków. Drgania te odczuwamy na powierzchni ziemi jako wstrząsy sejsmiczne. Ich źródło – pierwotne pęknięcie, na głębokości od kilku do kilkudziesięciu kilometrów pod powierzchnią, nazywa się ogniskiem trzęsienia ziemi (hipocentrum). Miejsce położone na powierzchni ziemi najbliższej ogniska nazywane jest epicentrum. Różnego rodzaju drgania emitowane przez hipocentrum mają charakter falowy i zmienną charakterystykę. Rozchodzą się radialnie i słabną w miarę oddalania się od źródła – stąd rejon objęty trzęsieniem ziemi ma zwykle kształt koła.

W miejscu, w którym przebiega uskoc San Andreas, nie znajdziemy zięjącej szczeliny sięgającej do wnętrza ziemi. Teren wygląda tak niewinnie, że nawet doświadczony geolog nie zawsze potra-



Mierzenie kataklizmu

Trzęsienia ziemi mierzy się zazwyczaj sposobem opracowanym w 1930 roku przez kalifornijskiego sejsmologa Charlesa F. Richtera – stąd „skala Richtera”. Podstawą skali jest logarytm dziesiętny największego poziomego odchylenia gruntu, mierzonego w mikronach, zapisanego przez sejsmograf określonego typu w odległości 100 km od epicentrum. Logarytm ten, zwany magnitudą, dobrze opisuje słabe trzęsienia ziemi, lecz gorzej silne wstrząsy. Dlatego kilkakrotnie modyfikowano metodę Richtera, wprowadzając różne magnitudy – homologii Richtera. W opisach trzęsień ziemi rzadko podaje się, jaką metodą określono magnitudę. W efekcie często występują różnice w ocenie tego samego trzęsienia. Skala Richtera ma podstawę nierównomierną – logarytmiczną, dlatego na przykład magnituda 7 oznacza wstrząsy dziesięciokrotnie większe niż magnituda 6. Intensywność trzęsienia ziemi określa się według jakościowej skali Mercallego [również wielokrotnie modyfikowanej]. Stopnie Mercallego – od I do XII – odwołują się do efektów wstrząsów: dzwonienia szklanek, trzaskania drzwi, pęknięcia tynków, zawalania się domów itp.



fi określić, gdzie właściwie jest uskok. Na zdjęciach lotniczych widać jednak wyraźnie, że formy terenu wzdłuż strefy uskokowej mają podejrzanie regularne, linearne kształty. Doliny i jeziora ciągną się jak „pod sznurek”, nawet wzgórza zdradzają tendencję do wydłużania się w kierunku zgodnym z przebiegiem uskoku.

System uskoków kalifornijskich powstał około 20 mln lat temu. Przez ten czas skały po obu stronach strefy uskokowej przebyły pokazałą drogę. Badania w rejonie Tejon Pass wykazały, że części pierwotnie ciągłych struktur geologicznych po przecięciu uskokiem oddaliły się od siebie o 240 km. Ocenia się, że niektóre fragmenty skorupy ziemskiej zlokalizowane za pomocą badań sejsmicznych, są obecnie oddalone o 20° szerokości geograficznej. Największe pojedyncze przesunięcie odnotowano w rejonie Tomales Bay – części drogi przesunęły się w czasie trzęsienia ziemi o 6,3 m.

Przeżyć trzęsienie

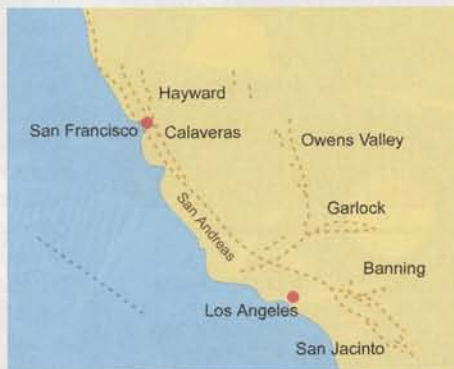
Ludzie, którzy przeżyli trzęsienie ziemi, wspominają to jako najgorsze doświadczenie swego życia. Ci, którzy znajdują się blisko epicentrum doznają „pełni wrażeń” – czują pierwsze gwałtowne szarpnięcia, głuchy huk, później serię szybkich drgań, zastąpionych w końcu przez kołysanie i falowanie gruntu. Później następuje krótka

Uskok San Andreas, widoczny z powietrza jako linia, to w rzeczywistości tysiące drobnych minuskoków. Razem tworzą strefę o szerokości od 200 do 2000 m i długości ponad 1300 km

przerwa, a po niej grunt zaczyna tańczyć w skomplikowany sposób. Te ostatnie drgania – dosyć wolne, lecz o dużej amplitudzie – powodują najwięcej zniszczeń. Pojedynczy epizod trwa zwykle krótko: 10–60 s. Wstrząsy mogą się jednak powtarzać nawet przez wiele dni, gdyż masy skalne przesuwały się skokami, zanim wyczerpią zapas nagromadzonej energii.

Zróźnicowanie wstrząsów – kołysanie, drgania, szarpnięcia – wynika z odmiennej natury fal sejsmicznych emitowanych jednocześnie z ogniska trzęsienia, ale poruszających się z różnymi prędkościami i dochodzących do powierzchni ziemi w różnym czasie (patrz: ramka „Fale sejsmiczne”).

Skutki trzęsienia ziemi zależą od wielu czynników – jakości i rodzaju zabudowy, wielkości i rodzaju wstrząsów oraz budowy geologicznej podłoża. Sztuczne i twarde skały osłabiają wstrząsy, grunty luźne i słabe wzmacniają je. Najgorszą kombinacją jest cienka warstwa luźnych gruntów na twardym podłożu – w takich warunkach wstrząsy mogą ulec znacznemu wzmocnieniu. ▶



Ruchoma Kalifornia – fragmenty układanki pod naciskiem płyt tektonicznych przesuwały się poziomo względem siebie

Fale sejsmiczne

Skąły rozrywane i przelamywane w ognisku trzęsienia ziemi drgają na dwa różne sposoby:

- zmieniają rytmicznie objętość (kurczą się i rozszerzają);
- zmieniają rytmicznie położenie (kotłyszają).

Rytmiczne drgania cząsteczek w ognisku wymuszają podobny ruch coraz dalej – w ten sposób powstają fale sejsmiczne, rozchodzące się kulistnie od źródła wibracji. Zmiany objętości powodują powstanie fal podłużnych (P) – cząsteczki drgają w przód i w tył wzdłuż drogi fali. Zmiany położenia są źródłem fal poprzecznych (S) – cząsteczki drgają poprzecznie do drogi fali. Dwa typy fal mogą mieć częstotliwość od 1 do 30 Hz i amplitudy rzeczywiste rzędu kilku mikrometrów.

Uderzenie fal sejsmicznych o powierzchnię ziemi powoduje efekt, który można porównać do skutków wrzucenia kamienia do kałuży – rodzą się fale, koncentrycznie biegnące po warstwie powierzchniowej. Te fale, nazywane powierzchniowymi, są odpowiedzialne za większość zniszczeń na obszarze dotkniętym wstrząsami. Mają one niską częstotliwość – 0,1–1 Hz, lecz ogromne amplitudy – ponad kilku milimetrów.

Fale podłużne docierają najwcześniej do powierzchni ziemi – osiągną prędkość 24 tys. km/h. Dwa razy wolniejsze są fale poprzeczne. Jako ostatnie docierają fale powierzchniowe.



Mimo prób z setkami różnych wskaźników – zmianami pogody, chemizmem wód, polem magnetycznym itp. wciąż nie znaleziono pewnej metody, która pozwalałaby przewidzieć nadciągający kataklizm

▶ Oprócz bezpośredniego działania na budynki wstrząsy mogą spowodować specyficzne zmiany w gruncie, groźniejsze w skutkach od samego trzęsienia ziemi. Wilgotne grunty piaszczyste, stanowiące w normalnych warunkach dobre podłoże budowlane, z powodu wibracji tracą wytrzymałość i zaczynają się zachowywać jak gęsty płyn. Łatwo sobie wyobrazić, co się dzieje z budynkiem, którego fundament traci nagle oparcie. Wielki pożar San Francisco w 1906 roku mógł bezkarnie strawić prawie całe miasto właśnie z powodu upłynięcia gruntu: w hydratantach zabrakło wody, gdyż rurociągi pękały, tonąc w błotnistej masie. Uplynniony grunt z łatwością zsuwa się ze stoków nachylnych zaledwie o 0,3°, zalewając tereny, na których nikt nie spodziewał się osuwisk. W czasie trzęsienia ziemi w Kansu (Chiny) w 1920 roku zginęło około 100 tys. ludzi właśnie pod osuwiskami błota zalewającego lessowe wąwozy, w których mieszkali i uprawiali pola.

Rybka powróży

Od tysięcy lat ludzie usiłują przewidzieć trzęsienia ziemi. W Chinach przez wieki obserwowano w tym celu złote rybki trzymane w akwariach.

Dziś rolę złotych rybek pełnią obserwatoria sejsmologiczne, prowadzące ciągłą rejestrację najdrob-

niejszych nawet drgań. W ten sposób udaje się sporządzić prognozę krótkoterminową wyprzedzającą trzęsienie o kilka godzin lub dni. Jednak sejsmologowie wciąż szukają zwiastunów wyprzedzających trzęsienie o całe lata. Wielkie nadzieje wiążą z geodezyjnymi pomiarami przesunięć terenu. W latach osiemdziesiątych używano do tego celu dalmierzy laserowych, obecnie rozbudowywana jest sieć oparta na systemie GPS. Dokładność pomiaru odległości w tym systemie wynosi obecnie 1 mm na 160 km. Stałe odbiorniki GPS pracują dzisiaj w 143 stacjach na terenie całego globu, dostarczając ważnych informacji o ruchu wielkich płyt tektonicznych.

W latach 1996–1997 przeprowadzono pierwsze pomiary przesunięcia Płyty Pacyfiku w rejonie wejścia do Zatoki San Francisco. Okazało się, że przesuwa się ona w stosunku do wnętrza Meksyku o 50,4 mm \pm 3,4 mm/rok wzdłuż azymutu N59°W. Pomiar ten potwierdzony został wielokrotnie przez sieć stacji monitorujących zachodnie wybrzeże Stanów Zjednoczonych.

Szczególnie starannie obserwowany jest uskok San Andreas. Wiadomo od dawna, że w czasie trzęsień ziemi dochodzi tu do poziomych przesunięć mas skalnych. Jednak nie wszystkie części uskoku uruchamiane są jednocześnie. Niektóre segmenty przesuwa się ustawicznie podczas częstych, lecz bardzo słabych trzęsień ziemi (pełną, jak nazywają to sejsmologowie), inne są uruchamiane w czasie średniej wielkości trzęsień. Sen z powiek sejsmologom spędzają jednak te fragmenty San Andreas, które od bardzo dawna są nieruchome. Zablokowane elementy uskokuwej mozaiki podlegają takim samym naciskom jak fragmenty pełnące. Skoro jednak nie przesuwa się, to znaczy, że akumulują energię – tak jak napinany luk gromadzi energię przekazywaną przez strzelca. Naukowcy poszukują gorączkowo odpowiedzi na pytanie – kiedy strzala zeskoczy z cięciwy?

Od precyzyjnej odpowiedzi na to pytanie może zależeć życie tysięcy ludzi mieszkających w najpiękniejszym i... najniebezpieczniejszym zakątku Stanów Zjednoczonych.

Największe...

Największe trzęsienie ziemi, które zarejestrowały przyrządy, zdarzyło się w Kolumbii 31 stycznia 1906 roku – miało siłę 8,9 w skali Richtera. Taką samą magnitudę – 8,9 – odnotowano na Honsiu 2 marca 1933 roku. Najwięcej ofiar powodują trzęsienia ziemi w gęsto zaludnionych Chinach: 23 stycznia 1556 roku w Shansi zginęło 830 tys. osób, zaś 27 lipca 1976 roku w Tangshan straciło życie 655 tys. osób [władze chińskie podały zaniżoną liczbę 255 tys. ofiar].

