

Znaczenie zachowania się zwierząt w przewidywaniu trzęsień ziemi

Tadeusz Kaleta

z Katedry Genetyki i Ochrony Zwierząt Instytutu Nauk o Zwierzętach SGGW w Warszawie

Mimo tego, że zagrożeniem globalnym, na którym koncentruje się obecnie uwaga świata jest pandemia wywołana koronawirusem warto pamiętać, że w wielu miejscach globu istnieje stała groźba innych katastrof o charakterze naturalnym. Pod względem dolegliwości skutków najważniejsze z nich jest chyba trzęsienie ziemi.

Zarówno liczba ofiar, jak straty materialne powstałe w krótkim czasie w wyniku tego kataklizmu są często ogromne. Na przykład trzęsienie ziemi w Chinach w 1976 r. spowodowało śmierć prawdopodobnie ok. 700 tys. ludzi. Ten sam kataklizm, który nawiedził Tokio w 1923 r. nie tylko skutkował śmiercią 140 tys. osób, ale także stratami materialnymi przekraczającymi pięciokrotnie koszty wojny z Rosją w 1905 r. (1). Wielkie trzęsienie ziemi w Lizbonie w 1755 r. spowodowało zagładę tego bogatego miasta, a wieść o tym

zdarzeniu wywołało ogromny szok wśród mieszkańców całej Europy. Konsekwencją trzęsienia ziemi w Lizbonie były także perturbacje polityczne w Portugalii i śmiałe reformy Markiza de Pombal (2). Trzęsienie ziemi, to dla ludzi również ogromny psychologiczny stresor, ponieważ nadchodzi niepodziewanie, w przeciwieństwie do huraganów i podobnych zjawisk, których nadejście się można dziś monitorować.

Kataklizm ten zabija również zwierzęta domowe i dzikie, niszczy ich miejsca schronienia, nory, gniazda, a u zwierząt domowych zwiększa zjawisko bezdomności. Bardzo często trzęsienie ziemi podobnie jak w przypadku ludzi po prostu rujnuje zwierzętom życie. Jest też stresorem jak się wydaje o bardzo silnym i nie do końca jeszcze poznanym działaniu. Przekonują o tym między innymi obserwacje myszy laboratoryjnych w Japonii w miejscu oddalonym

o 330 km od epicentrum trzęsienia ziemi, które miało miejsce w 2011 r. Myszy te w okresie po kataklizmie pobierały znacznie więcej pokarmu bez przyrostu masy ciała, były lękliwe, jednocześnie jednak szybciej się uczyły i obserwowano u nich wzrost poziomu kortyzolu (3).

Czym naprawdę jest trzęsienie ziemi? To bardzo krótkie, ale gwałtowne wstrząsy wzbudzone we wnętrzu ziemi i rozchodzące się w postaci fal. Na powierzchni ziemi wyczuwane są w postaci drgań, falowań i kołysania. Nauka zajmująca się tymi geofizycznymi zjawiskami nosi nazwę sejsmologii. Chociaż klasyfikację trzęsień ziemi próbował podać już Arystoteles (IV wiek p.n.e.), a pierwsze urządzenie rejestrujące wstrząsy zbudował Chang Heng w Chinach (132 r. n.e.), to prawdziwy początek sejsmologii wiąże się z wynalezieniem i udoskonaleniem sejsmografu na bazie pionowego i poziomego wahadła. Dokonało tego kilku badaczy europejskich w latach 80. XIX wieku. Było to przełomem porównywalnym do roli wynalezienia i zbudowania teleskopu w astronomii (4). Do dziś sejsmograf pozostaje podstawowym narzędziem pomiarowym do rejestracji i zapisu parametrów wstrząsów ziemi.

Z czasem opracowano również teorie wyjaśniające trzęsienia ziemi oraz skale pomiarowe jego siły. Najczęściej stosuje się pomiar wstrząsów w postaci otwartej skali Richtera. „Otwartej”, bo nie ma ona wartości maksymalnej. Za bardzo silne uznaje się trzęsienie ziemi mające ponad 7 stopni w skali Richtera. W terenie zabudowanym powoduje ono zniszczenie wszystkich lub niemal wszystkich budynków (5).

Biorąc pod uwagę analizę przyczyn wyróżnia się kilka rodzajów trzęsień ziemi. W niniejszym tekście ograniczę się do tak zwanych trzęsień tektonicznych, które występują najczęściej i są najbardziej destrukcyjne. Wykaz niektórych tego typu dramatycznych zdarzeń został przedstawiony w tabeli 1.

Krótki opis tego, co dzieje się we wnętrzu Ziemi i sprawia, że na jej powierzchni występują katastrofalne wstrząsy należy rozpocząć od struktury skorupy ziemskiej. Składa się ona z kilkunastu płyt tektonicznych różnej wielkości i kształtu, które unoszą się na spodniej, częściowo płynnej warstwie płaszczka

The significance of animals behavior in predicting earthquakes

Kaleta T., Department of Animal Genetics and Conservation, Institute of Animal Science, Warsaw University of Life Sciences-SGGW.

Earthquake, the sudden ground shaking, is the natural disaster, responsible for substantial damages and loss of many human lives every year. Therefore, it is vital to develop effective earthquake early warning (EEW) system. There are at least several potential predictive signs – physical phenomena, which precede an earthquake (e.g. changes in electromagnetic field, gases emission, air ionization and many others) On the basis of historical records and contemporary observations, some scientists suggest that animals behaviour which presumably changes shortly before the earthquake, could be also treated as a part of warning system. However, there is some scepticism in the Western civilization concerning this issue. This paper is an attempt to discuss the problem with presentation of physical stimuli role in earthquake heralding and animals capacity to respond to them. This discussion is based on analysis of scientific research and also on anecdotal observations. As a conclusion it seems that looking forward for guarded but not unfavourable approach to this issue is needed.

Keywords: earthquake, prediction, animal behaviour, fish, electromagnetic field.

Ziemi. Płyty tektoniczne poruszają się wobec siebie w różny sposób: oddalają się od siebie, zderzają się ze sobą, nasuwają się jedne na drugie. Ruch mas skalnych wywołuje naprężenia i kumulację energii, która e wyładowuje się właśnie w trakcie trzęsienia ziemi. Najsilniejsze wstrząsy występują na styku płyt tektonicznych (5).

Trzęsienie ziemi składa się z kilku faz. Z reguły pierwotnie występują słabe wstrząsy, następnie główne i wreszcie wstrząsy wtórne. Drgania skał, które mają swój początek w jakimś punkcie (ognisku) w głębi ziemi rozchodzą się w postaci fal sejsmicznych, w głębnych podłużnych (P) i poprzecznych (S). Fale podłużne przesuwają się szybko i przechodzą przez gazy, płyny i ciała stałe. Fale poprzeczne natomiast mają ruch powolny i przechodzą tylko przez ciała stałe. Po ich dotarciu do powierzchni ziemi wzbudzone są z kolei także niszczycielskie fale powierzchniowe. Bezpośrednio nad ogniskiem, na powierzchni ziemi znajduje się epicentrum, miejsce do którego fale docierają

Tabela 1. Umieszczenie oraz charakterystyka i skutki niektórych trzęsień ziemi

Data	Miejsce	Siła (stopnie skali Richtera)	Liczba ofiar (tys.)
22 maja 1960 r.	Chile	9,5	4,5
28 marca 1964 r.	USA (Alaska)	9,2	0,13
26 grudnia 2004 r.	Indonezja (u wybrzeży Sumatry)	9,1	230
4 listopada 1952 r.	Rosja (Kamczatka)	9,0	nie było
13 stycznia 1906 r.	Ekwador (wybrzeże)	8,8	około 1
15 sierpnia 1950 r.	Chiny-Indie (Tybet -Assam)	8,6	1,5
18 kwietnia 1906 r.	USA (San Francisco)	7,8	3
16 grudnia 1920 r.	Chiny	7,8	200
5 października 1948 r.	Turkmenistan	7,3	110
12 stycznia 2010 r.	Haiti	7,0	222

Opracowano na podstawie: <https://www.theguardian.com/world/2011/mar/11/10-most-powerful-earthquakes-history> i <https://www.aa.com.tr/en/americas/10-deadliest-earthquakes-in-history/1078343>

najszybciej, powodując też największą destrukcję znajdujących się tam obiektów i istot żywych (5).

Z tego co powiedziano wyżej można wyciągnąć wniosek, że istnieją na świecie obszary, które są wyjątkowo narażone na katastrofalną aktywność sejsmiczną. To właśnie pas pogranicza płyt tektonicznych. Ze względu na częstotliwość trzęsień ziemi dwa takie ogromne obszary zwracają szczególną uwagę. Pierwszy zlokalizowany jest wzdłuż wybrzeży Oceanu Spokojnego zarówno azjatyckich, jak i amerykańskich. Ten rejon wokół-pacyficzny, to gigantyczny krąg, który nazywany jest też „ognistym” ze względu na fakt, że występuje tam również intensywna aktywność wulkaniczna. Drugi obszar aktywności sejsmicznej to pas ciągnący się poprzez Europę Południową, Turcję, i Azję Środkową do Chin i Japonii, gdzie łączy się z „ognistym kręgiem” (1). Istnieją również inne obszary, gdzie obserwuje się aktywność sejsmiczną, np. rejon Morza Karaibskiego (choćby rejon wyspy Haiti).

Dodać należy również parę słów na temat trzęsień ziemi, które mają epicentrum pod dnem morskim. Skutkuje ono powstaniem tak zwanych fal tsunami, które dodatkowo nasilają destrukcyjne efekty wstrząsów. Fala tsunami ma długość do 200 km i niewielką amplitudę na pełnym morzu, natomiast wpływając do zwężających się zatok może spiętrzyć się do wysokości 20 m i wyżej u jej czoła powodując na wybrzeżu potężne zniszczenia (6).

Trzęsienie ziemi jest odzwierciedleniem skomplikowanego procesu geologicznego, w którym występują zjawiska fizyczne i chemiczne. Dlatego oprócz ruchu ziemi obserwuje się inne fenomeny towarzyszące, a często poprzedzające (tak zwane prekursorry), takie jak: zmiany hydrologiczne bądź hydrogeochemiczne, np. zmiana poziomu wód w studniach i zmiany chemiczne w glebie; sygnały elektromagnetyczne i magnetyczne (wahanie pola magnetycznego, fenomeny świetlne, zwane światłami trzęsienia ziemi itp.); (anormalne wydzielanie się z głębi ziemi gazów lub ciepła; jonizacja powietrza 100–300 km ponad ziemią; wydzielanie promieniowania podczerwonego w epicentrum trzęsienia ziemi, ukazywane przez zdjęcia satelitarne. Niektóre zjawiska, jak np. pojawianie się światła są kwestionowane przez niektórych badaczy (7, 8).

W interesie ludzi jest rzecz jasna odpowiednio wczesne przewidywanie trzęsień ziemi. Sejsmolodzy poszukują zatem metody „wczesnego ostrzegania”, a jednocześnie standardowo monitorują aktywność sejsmiczną. Trwają spory, które z wyżej wymienionych zjawisk mogłyby zostać uznane jako prognostyki nadchodzącego trzęsienia ziemi.

Niektórzy uważają, że do takich symptomów, które można by ewentualnie wykorzystać do przewidywania należą także oznaki pochodzące od istot żywych, głównie zwierząt (choć według niektórych opinii także roślin). Chodzi o anormalną aktywność czy – mówiąc inaczej – nietypowe zachowanie się zwierząt.

Będzie to przedmiotem moich dalszych rozważań. Jest rzeczą oczywistą, że przy analizowaniu tego problemu trzeba założyć, że zwierzęta reagują na jakieś sygnały fizykochemiczne. Być może na niektóre

spośród wymienionych wyżej. Natomiast przypisywanie tym organizmom żywym jakiejś tajemniczej intuicji, która sprawia, że wcześniej wyczuwają niebezpieczeństwo jest być może hipotezą atrakcyjną, ale trudną do weryfikacji w obszarze nauk przyrodniczych.

Opowieści o niezwykłym zachowaniu się zwierząt poprzedzającym wielkie katastrofy (nie tylko trzęsienia ziemi) są dobrze znane z tradycji i folkloru ludów zarówno Starego jak i Nowego Świata. Wiara w profetyczne właściwości zwierząt opierała się to na przekonaniu, że dostrzegają one to, co umyka ludziom. Arabowie na przykład twierdzili, że zwierzęta odbierają przekaz ze świata ponadnaturalnego. *Ich oczy są szeroko otwarte, podczas, gdy oczy ludzi są zamknięte* (10). Szczególna rola przypada tu ptakom, które z natury będąc bliżej świata pozaziemskiego (nieba) są predestynowane do przepowiadania ludziom różnego typu katastrof. W tradycji skandynawskiej kruki mogły wieszczyc osuwanie się ziemi, podczas gdy wśród Indian Ameryki Północnej – Czirokezów i Pimów panowało przekonanie, że ptaki przewidują mającą nastąpić powódź. W Grecji okresu starożytnego powoływano się na obserwacje, że myszy, łasice i węże pospiesznie opuszczały miejsca, które miało być nawiedzone przez trzęsienie ziemi (9). Nie chodzi o to, że zwierzęta, jak sądzono, posiadają umiejętność racjonalnego analizowania, ale uznawano, że są one zdolne do recepcji pewnych sygnałów, które zwiastują katastrofę. Pisarz grecki, ale żyjący w Italii, Elian (175–ok. 235 r. n.e.) w dziele *O właściwościach zwierząt* pisał: *Psy, woły, świnię, kozy, węże i inne zwierzęta potrafią przewidzieć nadchodzącą klęskę głodu. One pierwsze wyczuwają zbliżającą się zarazę, albo trzęsienie ziemi...* (11).

Związek pomiędzy zmianą zachowania się zwierząt a mającym nadejść kataklizmem jest bardzo dobrze widoczny w tradycji azjatyckiego wschodu, u ludów szczególnie narażonych na trzęsienia ziemi (Chiny, Japonia). Według japońskich wierzeń ludowych kataklizm ten powodują ruchy ogromnej ryby, suma, który przebywa w głębi ziemi. Związek tej ryby z trzęsieniem ziemi nie jest przypadkowy, ponieważ u sumów występują faktycznie spektakularne, gwałtowne zachowania ruchowe, które jak wynika z obserwacji mogą zwiastować trzęsienie ziemi, o czym niżej (11). Liczne przysłowia i powiedzenia z Dalekiego Wschodu odnoszą się do nietypowych form behawioru różnych zwierząt wskazujących na zbliżający się kataklizm. W skróconej wersji zaprezentowano je w tabeli 2.

Historyczne i współczesne relacje dotyczące anormalnego zachowania się różnych zwierząt przed trzęsieniem ziemi zebrał niemiecki geofizyk Helmut Tributsch, który uchodzi dziś za klasyka tej problematyki (12). Tributsch, a również i inni autorzy zwrócili uwagę, że przed trzęsieniem ziemi zwierzęta wykazują specyficzne reakcje, podobne jak pod wpływem stresu. I tak pies nadmiernie szczeka i nie odstępował właściciela, kot chowa się i odmawia kontaktu z człowiekiem, ryby próbują wyskoczyć z wody, kury uciekają na wyższe żerdzie, konie wpadają w panikę, świnię ogryzają sobie wzajemnie ogony, a myszy nierucho miały, ulegając jakby paraliżowi (13).

Tabela 2. Anomalie w zachowaniu się zwierząt, które według tradycji dalekowschodniej zwiastują nadejście trzęsienia ziemi (według Daigo, za Ikeya, 2004)

Grupa zwierząt	Zachowanie się
Ssaki	koty i szczury uciekają z domu, psy wyją, nie jedzą; ssaki zamieszkujące nory opuszczają schronienie; nietoperze krążą w powietrzu w czasie, kiedy powinny hibernować
Ptaki	wzmoczona wokalizacja u kur i bażantów, szczególnie w nocy; koguty wskakują na dachy domostw
Gady i płazy	węże i żaby nie zimują, węże tworzą zbiorowiska w zaroślach bambusowych
Ryby i bezkręgowce morskie	ryby wynurzają się na powierzchnię, próbują wyskoczyć z wody lub zagrzebać się w piasku akwarium (złota rybka), znacznie maleją połowy ryb w strefie brzegowej; ławice sardynek płyną w górę rzek, oszołomione osmiornice wynurzają się z wody, kraby podążają w głąb łądu
Owady i inne bezkręgowce lądowe	ważki formują chmury poruszające się w jednym kierunku, pszczoły intensywnie wydają dźwięki i tworzą roje poza ulem, dżdżownice wychodzą z ziemi, stonogi leżą martwe w różnych miejscach

Tabela 3. Nasilenie zachowania się zwierząt w różnym czasie przed występującymi wstrząsami (za Buskirk i wsp., 1981)

Miejsce	Czas przed trzęsieniem ziemi						
	1–2 min	10–30 min	1–4 godz	6–12 godz	1 dzień	kilka dni	kilka tygodni
Punkt 0 (epicentrum trzęsienia ziemi)	E*** KD*** PŚ** B* F*	P** G* B* PŚ* PM*	P**** G** E** KD* K* J*	P*** K* KD*	B* G*	R* G*	R** PŚ*
20–50 km od epicentrum	KD* PŚ* PM*	P* PŚ*	R** SU* W*	P* R* F*	R*** SU* B* G* KD*	R** SU*	R** SU* W*
70–100 km od epicentrum	KD** R* E*	F* Ż*	R* KD* J*	brak danych	R* K* B*	R*** P* E*	G* R* SU* SN*
150–200 km od epicentrum	PŚ* E*	R* PŚ*	W* G*	R*	G* KD* PM*	KD* W*	G***
>250 km od epicentrum	P* E*	brak danych	B*	brak danych	R*	R*	R*

Objaśnienia: liczba gwiazdek oznacza nasilenie zachowań nietypowych danego zwierzęcia; skróty oznaczające gatunki: B – bydło domowe (*Bos taurus*), E – koń domowy (*Equus caballus*), F – żaba, G – gryzoni, J – jelen, K – kot domowy (*Felis catus*), KD – kura domowa (*Gallus gallus*), P – pies domowy (*Canis lupus domesticus*), PŚ – ptaki śpiewające, PM – ptaki morskie, R – ryby (z wyjątkiem węgorza i suma), SU – sum, SN – wąż, W – węgorz (*Anguilla sp.*), Ż – żółw; w omawianych tekstach często trudno zorientować się, o jaki gatunek chodzi. Stąd podano wyższe grupy taksonomiczne (np. wąż, żółw).

Interesujące było również odnotowane w różnych częściach świata zachowanie się krów na pastwiskach. Na Alasce (USA) i na Sumatrze (Indonezja) przed trzęsieniem ziemi i tsunami zwierzęta te próbowały wejść na wyższy teren. I przeciwnie, we Włoszech i USA (okolice San Francisco) przed trzęsieniem ziemi krowy schodziły niżej. Ponadto w Malezji zwierzęta te pojawiły się na peryferiach miasta, a w Nowej Zelandii zaobserwowano interesujące i raczej nietypowe zachowanie synchroniczne, przyjmowanie pozycji siedzącej w tym samym czasie przez wiele osobników. Taka zmianę zachowania się odnotowano w czasie od kilku minut do dwóch dni przed wstrząsami (14).

Ze względu na to, że objawy behawioralne u zwierząt muszą wystąpić jakiś czas przed trzęsieniem ziemi, na podstawie dostępnych świadectw spróbowano także zrekonstruować chronologię i miejsca nasilenie zachowania się (epicentrum wstrząsów i strefa poza nim) przedstawicieli różnych gatunków zwierząt

przed trzęsieniami ziemi na całym świecie. Podsumowanie relacji z 36 katastrof przedstawione są w **tabeli 3**. Analiza objęła 15 grup kręgowców. Najczęściej obserwowano zachowania ryb, a w przypadku zwierząt towarzyszących – psa i gryzoni. Z zestawienia można wyciągnąć szereg interesujących wniosków. Na przykład konie reagowały bezpośrednio przed trzęsieniem ziemi nawet w miejscu odległym od epicentrum. Z kolei ryby i gryzoni mogły reagować nawet na tygodnie przed wstrząsami (13).

Przegląd dokonany przez innego autora, pochodzącego z Indii obejmuje ponad 80 różnych zwierząt, u których zaobserwowano nietypowe zachowania przed trzęsieniem ziemi. W wykazie zawarte jest znaczne spektrum świata zwierzęcego od mrówek i ślimaków poprzez bezkręgowce morskie i pająki do małp i tygrysa (*Panthera tigris*; 15). Obserwacje zebrane przez tego autora pochodzące z Chin i Japonii pokazują znaczną liczbę przypadków ryb wyływających na powierzchnię, także masowe ich

ginięcie, pojawianie się różnych zwierząt w nieoczekiwanych miejscach, ucieczkę szczurów, porzucanie przez ptaki morskie ich normalnych habitatów itd. Czas pojawiania się tych zachowań wahał się od miesięcy do godzin przed wystąpieniem trzęsienia ziemi. U psa domowego np. odnotowano okresy od 1 do 24 godzin (15).

Największe zasługi dla badań systemu ostrzegania przed trzęsieniem ziemi opartym na obserwacji zachowania się zwierząt mają również Chińczycy i Japończycy. Regularne obserwacje zachowania się zwierząt prowadzone były w tym celu w Chinach od 1971 r. Naukowcy chińscy twierdzą, że dzięki temu monitoringowi, jak również analizie danych geofizycznych udało im się przewidzieć wielkie trzęsienie ziemi w Haiczeniu w 1975 r. (7,3 stopni w skali Richtera). Z tego powodu udało się uratować ponad 100 tys. istnień ludzkich. I przeciwnie, trzęsienie ziemi w Tangszan w 1976 r. (8,2 stopni w skali Richtera) zostało przewidziane, lecz wyniki obserwacji behawioru zwierząt zostały zignorowane. Zginęło ponad 200 tys. ludzi (16). Władze chińskie nadal uważają, że w przypadku przewidywania trzęsień ziemi obowiązuje zasada „kolektywnego badania i kolektywnej obrony”, co oznacza masowy udział ludności, wykorzystanie wszystkich obserwacji i staranne opisywanie symptomów, które mogą zwiastować trzęsienie ziemi, w tym również zachowanie się zwierząt (17).

Z kolei naukowcy japońscy przeprowadzili doświadczenia laboratoryjne próbujące zbadać, na czym polega wpływ wstrząsów sejsmicznych na organizm zwierzęcy. Dokonali oni symulacji trzęsienia ziemi, w którym potężna prasa o nacisku kilkuset ton stopniowo zgniatała kawałki skały o wymiarach 15 × 15 × 30 cm. Ściśle mówiąc, urządzenie to służyło do odtworzenia pierwszej fazy trzęsienia ziemi, kiedy zwiększający się nacisk powoduje początkowo małe pęknięcia skał. Wiadomo, że w tym czasie w warunkach naturalnych następuje tworzenie promieniowania elektromagnetycznego i aerozoli, a z ziemi wydostają się gazy. Te parametry fizyczne, a zwłaszcza promieniowanie elektromagnetyczne, były w centrum zainteresowania badaczy (11).

W odległości 1 m od prasy zgniatającej skały znajdowały się klatki ze szczurami (*Rattus norvegicus*), myszami (*Mus domesticus*) oraz papużkami falistymi (*Melospittacus undulatus*), akwarium z węgorzem (*Anguilla* spp.) oraz pojemniki z gąsienicami jedwabników mrowych (*Bobyx mori*). Zachowanie się zwierząt było monitorowane przez kamerę wideo. U szczurów badano także poziom neurotransmiterów, jak adrenalina, noradrenalina, serotonina, dopamina oraz kwas gamma-aminomasłowy – GABA (11).

W eksperymencie promieniowanie elektromagnetyczne osiągnęło natężenie 10–50 miliwoltów/m (mV/m). Odnotowano następujące formy zachowania się zwierząt. Szczury, które spały budziły się, przejawiały zaniepokojenie, długo pielęgnowały się przed pękaniem skały, a w jego trakcie nieruchomiały. Myszy zachowywały się bardzo podobnie, a ponadto przejawiały wzajemną agresywność. Papużki faliste stroszyły pióra, wokalizowały i fruwały po klatce. Węgorz

poruszał się niespokojnie, a czasem robił wrażenie, jakby poraził go prąd. U gąsienic jedwabnika zaobserwowano nietypowe ruchy głową. Badania hormonów wykazały, że u szczurów wzrastał poziom noradrenaliny, natomiast malała adrenaliny. W przypadku innych wyżej wymienionych neurotransmiterów nie można było stwierdzić jakichś jednoznacznych tendencji (11).

Jednakże w laboratoriach japońskich największego znaczenia nabrały obserwacje zachowania się sumy (*Parasilurus azotus*), który, jak wspomniano wyżej, już w dalekowschodniej tradycji ludowej wiązany był z trzęsieniem ziemi. U sumy regularnie można stwierdzić gwałtowne ruchy w akwarium przed zbliżającym się kataklizmem. Na przykład, jak twierdzą Japończycy, w 2001 r. odnotowano taki behawior na 20 godzin przed wstrząsami w odległości 240 km od epicentrum. Obecnie laboratoria japońskie stworzyły sieć monitorującą zachowanie się sumy, działającą we współpracy z Miejskim Akwariem w Tokio i Akwariem Osaka. Uruchomione zostały także kamery internetowe umożliwiające szeroki dostęp do obserwacji zachowania się tej ryby (11).

O ile badacze z Azji są pozytywnie nastawieni do wykorzystania zwierząt w prognozowaniu trzęsień ziemi, o tyle naukowcy zachodni wykazują w tej materii daleko posunięty sceptycyzm. Stanowisko to datuje się mniej więcej od końca lat 80. XX wieku, kiedy okazało się, że nadzieje na uczynienie ze zwierząt „żywych seismografów” zdaniem badaczy zachodnich (przede wszystkim amerykańskich) się nie sprawdziło. Pod adresem badań nad zachowaniem się zwierząt, które miałyby zwiastować wstrząsy ziemi, wysuwa się szereg obiekcji. Po pierwsze, obserwowane zmiany w behawiorze zwierząt opisuje się po zdarzeniu, a nie przed nim. Mają one więc charakter retrospektywny, a także anegdotyczny (pojawiają się sporadycznie) i nie poddają się łatwo rygorom opracowania statystycznego (każde jest w pewnym sensie niepowtarzalne; 18, 19). Ponadto *a priori* trudno jest powiedzieć, czy np. odnotowywane w danej chwili słabe wstrząsy oznaczają tylko wstrząsy pierwotne, czy też jest to po prostu słabe trzęsienie ziemi (11). Po drugie, zachowania zwierząt, które interpretowano jako zwiastun trzęsienia ziemi okazują się czasem normalną aktywnością określonego gatunku (lub gatunków). Tak np. gromadzenie się żab i ropuch oraz ich masową migrację opisywano jako reakcję na zbliżające się wstrząsy. Tymczasem, jak się okazało, jest to zazwyczaj behawior młodych osobników, które opuszczają zbiorniki wodne, w których przeobraziły się z formy larwalnej. Badanie wykazało, że tylko 2 z 28 przeanalizowanych tego typu zdarzeń poprzedziły trzęsienie ziemi (20). Po trzecie, zwierzęta zachowują się czasem w sposób, który opisujemy jako anomalie, natomiast nie następuje po nim żadna dramatyczna katastrofa (21). W ogóle zmienność indywidualna behawioru właściwa dla każdego gatunku każe bardzo ostrożnie podchodzić do oceny zachowania czy jest ono normalne, czy nie. Badacze opisują także zjawisko psychologiczne zwane skłonnością do potwierdzania (confirmation bias), które charakteryzuje się tym, że przywołuje się zachowania

zwierzęcia przed wstrząsami, natomiast nie analizuje się go w normalnej sytuacji. To tylko niektóre argumenty wysuwane przez krytyków tezy o zdolnościach zwierząt do sygnalizowania nadchodzącego trzęsienia ziemi. Wypada jeszcze dodać, że niektórzy badacze zachodni powątpiewają w doniesienia Chińczyków dotyczące roli zwierząt „przewidywających” trzęsienie ziemi w Haiczen, nazywając je polityczną propagandą (21).

Ankieta przeprowadzona w 2012 r. wśród 42 badaczy amerykańskich, geofizyków i sejsmologów, potwierdziła to krytyczne stanowisko. Aż 67% wśród naukowców zaprzeczało, jakoby analiza zachowania się zwierząt miała przyczynić się do postępu w dziedzinie przewidywania trzęsień ziemi, a jedynie 19% udzieliło zdecydowanej odpowiedzi twierdzącej. Pozostali badacze ograniczyli się do opinii, że być może istnieje taka możliwość (21). Natomiast oficjalne stanowisko agencji amerykańskiej badań geologicznych (US Geological Survey), które figuruje na stronie internetowej, głosi, że co prawda znaleźć można wiele anegdotycznych informacji o dziwnych zachowaniach różnych zwierząt przed trzęsieniem ziemi, jednak wciąż brak rzetelnego opisu i analizy tego zjawiska (22).

Wobec sprzecznych stanowisk warto zastanowić się, w jaki sposób zwierzę może odbierać sygnały świadczące o nadchodzącym trzęsieniu ziemi. Jak widać z powyższego przeglądu, mogą tu wchodzić w grę różne skale czasowe (od minut do dni). Najłatwiej prześledzić recepcję przez zwierzę sygnałów bezpośrednio poprzedzających kataklizm.

Jak już wspomniano, istnieją dwa rodzaje fal sejsmicznych: P i S. Większość nietypowych zachowań zwierząt zaobserwowano wraz z pojawieniem się szybko poruszających się fal P. Z chwilą, gdy zwierzę wyczuje obecność fali P, od trzęsienia ziemi dzieją się sekundy lub minuty, w zależności od odległości od epicentrum (12). Logicznie byłoby więc poszukiwać zdolności do odbierania przez zwierzę pewnego typu wibracji z ziemi. Trzeba powiedzieć, że istnieją gatunki o tak specjalistycznych umiejętnościach. Niektóre zwierzęta tworzą komunikaty, uderzając w ziemię łapą lub nogą, np. kanguroszczur kalifornijski (*Dipodomys californicus*), słoń indyjski (*Elaphus maximus*) i słoń afrykański (*Loxodonta africana*; 12, 23). Rzecz jasna, jeśli jest to przekaz komunikacyjny w stopach zwierząt, muszą znajdować się receptory wyspecjalizowane w przechwytywaniu tych wibracji. Pewną rolę może odgrywać również słuch, bowiem wibracje to jednocześnie dźwięki o bardzo niskiej częstotliwości.

Warto zwrócić również uwagę na fakt, że różne grupy ssaków prowadzą całkowicie lub niemal całkowicie podziemny tryb życia. Wśród gryzoni są to cztery rodziny, ponadto krety należące do owadożernych i torbacze, czyli krety workowate z Australii (24). U zwierząt tych istnieje ograniczona możliwość zarówno nadawania komunikatów (np. sygnały terytorialne, poszukiwanie partnera), jak i odbioru sygnałów. Mając praktycznie wyeliminowaną zdolność widzenia (redukcja oczu), polegają raczej na słuchu, węchu i dotyku. Wokalizacja u tych gatunków jest

często złożona, ale, co charakterystyczne – tworzone są dźwięki o niższej częstotliwości (kilkaset Hz, a nawet poniżej 100 Hz). Tworzone, a nie wydawane, ponieważ nie bierze w tym udziału aparat głosowy. U gołca (*Georychus capensis*) np. dzieje się to dzięki bębnieniu, uderzaniu łapą w podłóżę podziemnego korytarza. Powstałe fale dźwięku rozchodzące się w ziemi w płaszczyźnie pionowej i tworzą rodzaj komunikacji sejsmicznej obejmującej dźwięk i wibrację. Komunikaty tworzone w ten sposób mają duży zasięg (24). Inny wariant tego behavioru stosują ślepce z rodzaju *Spalax* (= *Nannospalax*), które bębnią, nie używając do tego łap, lecz górnej, spłaszczonej części głowy, którą uderzają w sufit korytarza (25). Nie do końca rozstrzygnięty jest problem, w jaki sposób odbywa się recepcja tych wibracji – przy pomocy ucha czy drogą somatosensoryczną. Niektórzy badacze wskazują, że u niektórych gatunków istnieje na głowie strefa wrażliwa na odbiór drgań, kiedy zwierzę przykładą głowę do ściany korytarza. Inne badania (np. u ślepców) podkreślają rolę słuchu w przetwarzaniu tych sygnałów. W tym kontekście należy także wspomnieć o nie do końca poznanej funkcji tzw. narządu Eimera znajdującego się na pysku kreta. Prawdopodobnie jest to narząd dotykowy, być może przeznaczony także do odbioru wibracji (24).

Podsumowując, u ssaków prowadzących podziemny, a niekiedy także naziemny tryb życia istnieją mechanizmy generowania i odbioru wibracji oraz dźwięków, co teoretycznie może pozwolić im na przechwytywanie sygnałów związanych z trzęsieniem ziemi.

Wśród innych zwierząt, poza ssakami, zwracają uwagę węże, których słuch jest praktycznie zredukowany do odbioru wibracji za pośrednictwem szczęki dolnej i szczątkowego ucha środkowego. Wąż może odbierać bodźce, mając głowę przy ziemi. Jak wskazują badania, zmysł ten jest czuły (26). Istnieją zatem podstawy, by uznać, że hibernujące czy też przystępujące do hibernacji węże mogą zostać „zbudzone” przez wibracje związane z trzęsieniem ziemi, co tłumaczy ich nieoczekiwane pojawianie się i aktywność poza kryjówką.

Umiejętność odbierania drgań w środowisku zewnętrznym występuje także u zwierząt wodnych, zwłaszcza ryb. Dysponują one bardzo wrażliwym na bodźce dotykowe narządem linii bocznej. Reaguje on zarówno na przyspieszenie ruchu wody dookoła ciała, jak i wykrywa fale dźwiękowe wywołane przez ten ruch (11). Wydaje się, że mechanizm ten może przynajmniej częściowo uzasadniać opisaną wyżej skłonność suma czy węgorza do spektakularnych reakcji na bodźce pochodzenia sejsmicznego.

Oprócz wibracji i towarzyszących im dźwięków o niskiej częstotliwości także inne bodźce o charakterze abiotycznym poprzedzające trzęsienie ziemi mogą być brane pod uwagę jako sygnały ostrzegawcze dla zwierząt. I tak np. powstałe w pierwszej fazie mikroszczeliny wydostają się na zewnątrz gazy, takie jak radon, wodór, dwutlenek węgla, metan, a także związki azotu i siarki. Jednak jak do tej pory nic nie wiadomo na temat możliwości recepcji tych sygnałów przez zwierzęta, zwłaszcza, że wydzielają się one

w małej koncentracji (11). Możliwa jest natomiast reakcja na wydzielane ciepła z głębi ziemi (które także należy do wczesnych sygnałów), a towarzyszące promieniowanie podczerwone może działać na niektóre zwierzęta, np. na gady.

Wraz z gazami przed niektórymi trzęsieniami ziemi wydzielają się aerozole (posiadające cząsteczki o wielkości 0,1–0,0001 mm), które mają ładunki elektryczne. Niektórzy badacze sugerowali, że to właśnie aerozole odpowiadają za zmianę zachowania się zwierząt lądowych, ponieważ wpływają one rzekomo na zmianę poziomu serotoniny, która – jak wiadomo – reguluje nastrój (27). Większość badaczy powątpiewa jednak, czy istnieje taka zależność, bo poza badaniem Tributscha nie stwierdzono tego typu zmian w organizmach zwierząt (11).

W analizowaniu parametrów, które mogłyby odgrywać rolę w recepcji sygnałów przed trzęsieniem ziemi, ważną rolę pełni pole elektromagnetyczne i jego zmiany. Należy tu rozpatrywać odrębnie komponent magnetyczny i elektryczny. Pola te występują na Ziemi jako naturalne zjawiska, do których człowiek dodał efekt rozmaitych urządzeń elektrycznych, trakcji przesyłowych, komputerów, telefonów komórkowych itd. Działanie pola elektromagnetycznego uzależnione jest od częstotliwości, a ta jest odwrotnie proporcjonalna do długości fal. I tak np. fale o częstotliwości 1 herca (Hz) – komunikacja z łożdzą podwodną – mają długość 300 tys. km, natomiast częstotliwość powyżej 1 gigaherca (GHz) odpowiada fali o długości poniżej 3 cm (mikrofales; 11). W rozważaniach mowa będzie o polach o częstotliwości niższej niż w przypadku mikrofal.

Naturalne pole elektryczne jest wynikiem oddziaływania ładunków elektrycznych pomiędzy ziemią a jej otoczeniem. Na poziomie morza ma ono natężenie ok. 100–150V/m (28). U zwierzęcia lub człowieka stojącego na ziemi rozkład ładunków elektrycznych może powodować różnice pomiędzy nosem a stopami rzędu 100–200 V. Jednak prąd nie przepływa przez ciało, ponieważ różnica ta jest znoszona przez odwrotny rozkład ładunków elektrycznych w polu zewnętrznym (11).

Trzęsienia ziemi wiążą się z występowaniem fenomenów elektrycznych. Udowodniło to omówione wyżej doświadczenie japońskie, kiedy przy zgniataniu skał uwalniane jest promieniowanie elektromagnetyczne o natężeniu 150 miliwoltów/m, mające prawdopodobnie wpływ na reakcje stresowe zwierząt. Wśród różnych gatunków w szczególności ryby wyposażone są w czułe receptory umożliwiające detekcję słabych pól elektrycznych. Receptory te, które posiada prawdopodobnie większość, jeśli nie wszystkie gatunki ryb, zwane są ampułkami Lorenzini. Odbierają one fale o częstotliwości 10 Hz. Dzięki nim np. rekiny mogą wykrywać pole elektryczne o natężeniu zaledwie 0,04 mV/m (11). To o wiele mniej niż stwierdzono w doświadczeniach nad zgniataniem materiału skalnego (zob. wyżej). Jednak trzeba wziąć także pod uwagę fakt, że wyczuwanie zmian pola elektrycznego i reakcję nań ryb nie zawsze są tożsame. Mimo że węgorz i sum mają zdolność recepcji znacznie słabszych pól elektrycznych, to węgorz

reaguje ucieczką na zaaplikowane sztucznie impulsy elektryczne tworzący pole o natężeniu 0,5 V/m, podczas gdy sum wykazuje reakcję wycofania dopiero przy ok 4 v/m (11).

Wydaje się, że niektóre ssaki mogą być również zdolne do odbierania impulsów elektrycznych związanych z trzęsieniem ziemi. Na przykład doświadczenia z zastosowaniem prądu stałego wskazują na możliwość wykorzystania do tego celu przez psa domowego receptorów znajdujących się na powierzchni języka i na łapach. Także u ludzi przed trzęsieniem ziemi bywa wyczuwalne mrowienie na głowie (11).

Indukcja magnetyczna waha się od 0 mikrotesli (mT) na biegunie do 67 na równiku. Może się ona regularnie zmieniać od 0,03 do 0,5 mikrotesli (28). Tak zwany wiatr słoneczny (strumień zjonizowanych cząstek wyrzucanych z powierzchni Słońca) to główny czynnik wpływający na niestabilność pola magnetycznego. Nieregularnie powstają również inne zjawiska, burze magnetyczne, czyli gwałtowny wyrzut materii ze Słońca w kierunku Ziemi. Indukcja magnetyczna zwiększa się wówczas nawet do 1000 nanotesli (nT). Burza magnetyczna może trwać od kilku godzin do kilku dni (29).

Badacze zajmujący się sejsmologią i geologią w większości zgadzają się co do tego, że zaburzenie pola magnetycznego mogą być wywołane także przez trzęsienie ziemi. Znaczące wyniki uzyskano na przykład, analizując słynne trzęsienie ziemi w Loma Prieta w Kalifornii (październik 1989 r.). W połowie września pojawił się tam anormalny sygnał wzrostu indukcji magnetycznej, który na początku października osiągnął 30-krotną wartość normalnego poziomu. Na kilka dni przed trzęsieniem ziemi nastąpił z kolei spadek tej wartości, po czym odnotowano ponownie gwałtowny wzrost na trzy godziny przed wstrząsami¹. W przypadku innego trzęsienia ziemi na Alasce w 1964 r. odnotowano kilka zaburzeń magnetycznych, w tym najsilniejsze ze wzrostem do 100 nT na godzinę i sześć minut przed trzęsieniem ziemi (30). Wydaje się więc, że w ciągu dni i godzin przed kataklizmem, a więc w szerszej skali czasowej, mogą wystąpić zaburzenia pola magnetycznego, które mogą być alarmowym prognostykiem dla ludzi i zwierząt (30).

Recepcja pola magnetycznego przez zwierzęta odbywa się dzięki wyspecjalizowanym receptorom. Zdolność ta ma znaczenie dla gatunków migrujących takich, jak wiele ptaków, ryb i waleni, pozwala bowiem na orientację, zwłaszcza gdy inne środki zawodzą. Pod tym względem najlepiej poznane są chyba ptaki. W mózgach tych zwierząt odnaleziono cząsteczki magnetytu, określane jako magnetosomy, które są hipotetycznymi receptorami natężenia pola magnetycznego. Drugim rodzajem receptorów, które są przydatne zwłaszcza dla ptaków migrujących nocą, jest znajdujący się w siatkówce oka barwnik światła niebieskiego i UV, kryptochrom (28). Jak potwierdziły liczne badania, ptaki potrafią wykrywać nawet nieznaczne zmiany pola magnetycznego, które przebiegają w przestrzeni i w czasie. Gołąb (*Columba livia*), który nie jest co prawda ptakiem

¹ Dla uproszczenia pomijam pasma częstotliwości, w jakich wystąpiły te zmiany.

migrującym, ale wykonuje się na nim wiele badań ze względu na homing (zdolność do powrotu z większej odległości) postrzega różnice w natężeniu pola zaledwie o 10–30 nanotesli (31). Warto jednak dodać, że postrzeganie pola magnetycznego występuje u wielu zwierząt. Wniosek ten można wysunąć, analizując zjawisko tak zwanego magnetycznego ułiniowania behawioru², (magnetic alignment), czyli ustawiania się zwierząt w trakcie określonego zachowania wzdłuż linii pola magnetycznego. Tak zachowują się na przykład przeżuwacze w trakcie wypasu i jaszczurki w czasie wygrzewania się na słońcu (32). Mechanizm postrzegania i cel tego zachowania nie są dokładnie poznane (być może ma ono związek z orientacją).

Zjawisko trzęsienia ziemi jest niezwykle trudne do opisanego i analizowania z powodu swojej złożoności. Według niektórych specjalistów badając je, można wyróżnić aż 3000 różnych parametrów (33). Obserwacje zachowania się zwierząt, zwłaszcza o charakterze monitoringu w laboratoriach, można traktować tylko jako pewien wkład do prognozowania trzęsień ziemi. Jak się wydaje, szczególną przydatność do tego wykazują przedstawiciele gatunków, które mają rozwiniętą zdolność reagowania na pole elektromagnetyczne. Zwracają uwagę zwierzęta wodne, zwłaszcza ryby, które wyposażone są w specyficzne receptory, jak linia boczna czy ampułki Lorenzini. W namierzaniu nadchodzącego trzęsienia ziemi pomocne mogłyby być także zwierzęta bezpośrednio wyczuwające wibracje, jak węże i niektóre gatunki ssaków żyjących w podziemnych norach. Jakkolwiek wykorzystanie behawioru zwierząt do prognozowania trzęsień ziemi stwarza szereg trudności metodycznych (o czym wyżej) i wymaga krytycznej analizy oraz starannego opracowania statystycznego, całkowite ignorowanie i lekceważenie tego typu informacji oraz zaprzestanie badań jest przysłowiowym wylewaniem dziecka z kąpielą. Myślę, że biorąc pod uwagę tragiczny bilans, który często jest wynikiem tego kataklizmu, nie można sobie na to pozwolić.

Piśmiennictwo

- Lityniecki I.: *O przewidywaniu zjawisk przyrody*. Wiedza Powszechna, Warszawa 1989.
- Aquirre B.: Better Disaster Statistics: The Lisbon Earthquake. *J. Interdiscip. History* 2012, 43, 27–42.
- Yanai S., Semba Y., Endo S.: Remarkable changes in behavior and physiology of laboratory mice after the massive 2011 Tohoku earthquake in Japan. *PLoS One* 2012, 7, 1–8.
- Ben-Menahem A.A.: Concise History of Mainstream Seismology: Origins, Legacy and Perspectives. *Bull. Seism. Soc. America* 1995, 85, 1202–1225.
- Dmowski S.: Wnętrze Ziemi. Procesy endogeniczne. 6. Trzęsienia ziemi, ruchy epejrogeniczne i izostatyczne. https://www.geografia24.eu/geo_prezentacje_pr_1/301_5_procesy_endogeniczne/r1_5_06a.pdf
- Emiliani C.: *Wszystkie światy – Ziemia – Życie*. Amber, Warszawa 1997.
- Hough E.: *Predict Unpredictable*. Princeton University Press, Princeton 2010
- Freund F.: Earthquake probabilities and earthquake signals. *Curr. Biol.* 2008, 94, 311–313.
- Krappe A.: Warning Animals. *Folklore* 1948, 59, 8–15.
- Eljan K.: *O właściwościach zwierząt*. Prószyński i Ska., Warszawa 2005.
- Ikeya M.: Earthquake and Animals. From World Legends to Science. World Scientific Publishing 2004. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/sggw-ebooks/detail.action?docID=1223275>

- Kirschvink J.: Earthquake prediction by animals; Evolution and sensory perception. *Bull. Seism. Soc. America* 2000, 2, 312–323.
- Bukirk R., Frohlich C., Latham G.: Unusual animal behavior before earthquake. A review of possible sensory mechanisms. *Rev. Geophys.* 1981, 19, 247–270.
- Fidani C., Freund F., Grant R.: Cows come down from the mountains before the earthquake (M=6,1) Colfiorito in September 1997; a single case study. *Animals* 2014, 4, 292–312.
- Deshpande B.: Earthquakes, Animals and Man. Chapter III-Animal Response to Earthquake. *Proc Indian Nat. Sci. Acad.* 1986, 5, 585–618.
- Bhargava N., Katiyar V., Sharma M., Pradhan P.: Earthquake prediction through animal behaviour: a review. *Indian J. Biomech.* 2009, 7–8, 159–165.
- Aronova E.: Earthquake prediction, biological clocks and the cold war psy-ops: Using animals as seismic sensors in the 1970s California. *Stud. Hist. Philos. Sci.* 2018, 70, 50–57.
- Turcotte D.: Earthquake Prediction. *Annu. Rev. Earth Plan. Sci.* 1991, 19, 263–281.
- Banyal R., Saigeetha A.: Natural calamities and pseudoscientific menace. *Curr. Sci.* 2005, 89, 1781.
- Grant R., Conlan H.: Frog Swarms: Earthquake Precursor or False Alarms? *Animals* 2013, 3, 962–977.
- Harnett C.: To what extent can animal aid earthquake prediction? *Young Sci. J.* 2012, 12, 60–65.
- Schnytzer A., Schnytzer I.: Animal modelling of earthquakes and prediction markets. Econstor 2011, Working Paper no.20. <https://www.econstor.eu/handle/10419/96039>
- Armason B., Hart L., O'Connell-Rodmwell C.: The properties of geophysical fields and their effect on Elephants and other animals. *J. Comp. Psychol.* 2002, 116, 123–132.
- Mason M., Narins P.: Seismic Signal Use by Fossorial Mammals. *Am. Zool.* 2001, 41, 1171–1184.
- Rado R., Terkel J., Wollberg Z.: Seismic communication in the blind mole rat (*Spalax ehrenbergi*) electrophysiological and behavioral evidence for their processing by the auditory system. *J. Comp. Physiol. A* 1998, 183, 503–511.
- Christensen C., Christensen -Dalgaard J., Brandt C., Teglbjerg P.: Hearing with an atympanic ear: good vibration and poor sound-pressure detection in the royal python, *Python regius*. *J. Exp. Zool.* 2012, 215, 331–341.
- Tributsch H.: Do aerosol anomalies precede earthquakes? *Nature* 1978, 276, 606–608.
- Rochalska M.: Wpływ pól elektromagnetycznych na organizmy żywe: rośliny, ptaki i zwierzęta. *Medycyna Pracy* 2007, 58, 37–48.
- Anonim. Magnetyka. <https://www.pgi.gov.pl/mogepl-home/o-monitoringu-geodynamicznym/magnetyka/9703-magnetyka.html>
- Rokityansky Y., Babak V., Tereshyn V.: Low-Frequency Electromagnetic Signals Observed before Strong Earthquakes. 2019 <https://www.intechopen.com/books/seismic-waves-probing-earth-system/low-frequency-electromagnetic-signals-obs>
- Beason R.: Mechanism of Magnetic Orientation in Birds. *Integr. Comp. Biol.* 2005, 45, 565–573.
- Diego-Basilio F., Perez-Mellado V., Perez-Cembranos A.: Spontaneous magnetic alignment in free-living lizards. *Science of Nature* 2017, 104, 1–13.
- Urusan A.: The Earths Magnetic Field Lines and Earthquake Relations. *AIP Conference Proceedings* 2011, 1400, 15. <https://doi.org/10.1063/1.3663077>.