

zelen Komponenten für sie immer mehr einen propedeutischen Charakter aufnimmt. Darüber hinaus betonen viele Geographen, mit dieser oder jener Form, daß die Geographie die einzelnen Komponenten von der sachlichen Seite nicht studiert, sondern nur vom gewissen, für die räumliche Synthese notwendigen Standpunkt aus. Diese Entwicklungstendenz der physischen Geographie fand ihre Widerspiegelung auch am 21. Int. geogr. Kongreß (1968, die Entstehung der Sektion der „komplexen physischen Geographie“). Auch vom Standpunkt der sog. Standortsschule aus („locational school“ im Sinne von Haggett) liegt die Geomorphologie außer der Geographie. Es geht z. B. aus der Arbeit von W. Bunge (1967, p. 204) hervor.

Wenn wir die Geomorphologie aus dem System der geographischen Wissenschaften ausschließen wird keine Leere an ihrer Stelle bleiben, sondern vom Standpunkt der Landschaftsschule ausgehend wird sich dort eine Teildisziplin der physischen Geographie „einsiedeln“ und entwickeln, die ebenso eine physisch-geographische Gegendisziplin der Geomorphologie (die man z. B. „Morphogeographie“ benennen kann) darstellen wird, wie z. B. Pedogeographie, Hydrogeographie oder Biogeographie die physisch-geographischen Gegendisziplinen der Pedologie, Hydrologie und Biologie darstellen. Zur Vorstellung dieser — im Grunde genommen noch perspektiven physisch-geographischen Disziplin — gelangten auch andere Autoren, z. B. B. Zakrzewska (1967 und dort in Literatur angeführten Autoren), V. Mihăilescu (1968) und E. Winkler (1970).

L. LOYDA

## TSUNAMI — TRANSFORMOVANÝ TEKTONICKÝ POHYB

**Abstract:** TSUNAMI — A TRANSFORMED TECTONIC MOVEMENT. Main characteristics of tsunamis are described here — height and length of waves, speed of travel, period of oscillation etc. The author presumes the tsunami waves follow the block movements of the earth's crust. The beginning of a tsunami is invariable — either the sea water overflows suddenly the coast (following initial upward movement of blocks) or the arrival of a tsunami wave is preceded by a withdrawal of sea (following initial sinking of blocks). The initial movement of the sea water on the coast reflects and transforms only the character of tectonic movements in the adjacent place of the sea-bottom activity. The transgression and/or regression of seawater depends on time when tectonic movements originate. Thus the water movement gets complicated.

Mechanismus zeměřesení ři sopečných výbuchů na pevnině i na mořském dně je svou povahou jistě v zásadě tentýž. Výsledkem podmorských erupcí a pohybů ker nejsou ovšem jen změny v reliefu mořského dna. Uvolňovaná mechanická energie se přitom zároveň natolik transformuje, že si vlastně nezachovává nic ze svého počátečního projevu. Na mořské hladině ji lze sice pozorovat i v její nepříliš změněné podobě ři jako krátké ořesy a dunění, zaznamenávané ovšem jen loďmi plujícími v těsné blízkosti nebo přímo nad místem těchto výbuchů a pohybů ker. Dále odtud jsou tyto ořesy vždy vystrídány dlouhými vlnami, šířícími se od epicentra poměrně značnou rychlostí na všechny strany.

Tyto dlouhé vlny, zaplavující občas mořské pobřeží a způsobující velké škody na majetku a životech lidí, neměly dlouho vlastní pojmenování. Latinskoamerický název „maremoto“ znamená vlastně „mořetřesení“ (seaquake) a nevyjadřuje vůbec základní vlastnosti ani průběh tohoto jevu. Rozhodně výstižnějším se jeví dnes už zobecněný termín „tsunami“ — japonské označení pro „dlouhé vlny v přístavu“.

Ještě v nepříliš dávné minulosti patřil tento poměrně neobvyklý přírodní jev k úplným záhadám a ani dnes nemůžeme tvrdit, že známe bezpečně jeho podstatu. V minulosti zaznamenané údaje historiků i přímých pozorovatelů se samozřejmě musely vždy týkat pouze působení těchto dlouhých mořských vln na pobřeží anebo jen jejich často katastrofálních důsledků. Ještě v 18. a 19. století

jsou záznamy o průběhu tsunami spíše napínavým vyprávěním než vědeckou úvahou, snažící se aspoň o přesný popis celého jevu — např. záznam o kamčatském tsunami z 18. 10. 1737: „Mořská vlna zaplavila pobřeží, ale pak moře ustoupilo tak daleko od břehu, že je vůbec nebylo vidět. A potom přišla další vlna...“.

Ve starověku musel být tento neznámý úkaz nejen tajemným, ale možná i nadpřirozeným — zvláště když shodou okolností rozhodujícím způsobem zasáhl do válečných operací. Ze starého Řecka máme takový záznam z r. 479 př. n. l. Město Potidaea, ležící na pobřeží Egejského moře na JV od Soluně, bylo v zimě tohoto roku obléháno nepřitelem. Náhle však moře ustoupilo od břehu a obléhatelé se pohotově pokusili obejít město po nenadále obnaženém mořském dnu se snahou napadnout nyní již vodou nechráněný přístav. Tato improvizovaná vojenská operace však nebyla provedena přece jen dost rychle, takže vracející se mořská vlna utopila téměř všechno vojsko obléhatelů.

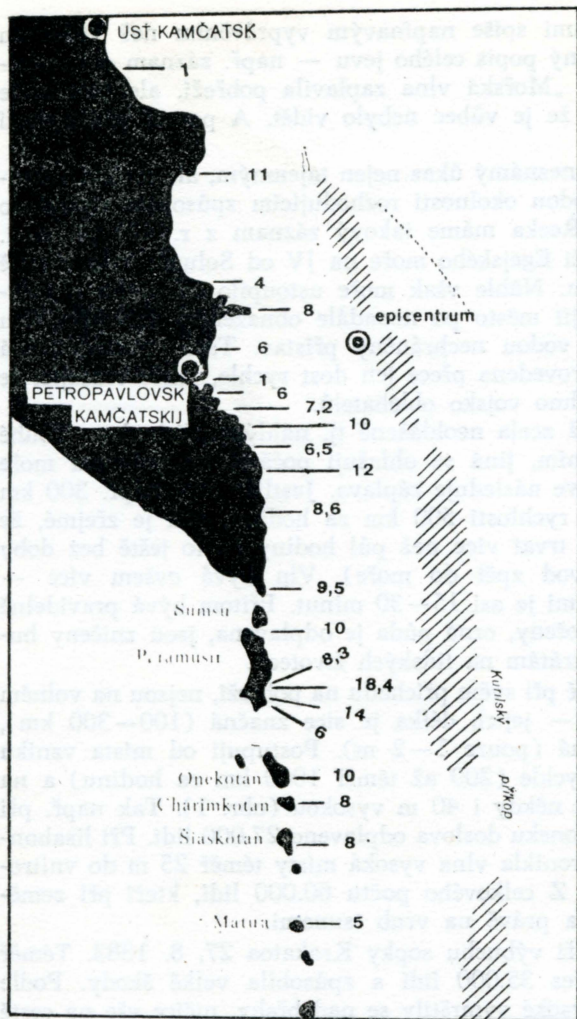
Některé tsunami začínají totiž zcela neohlášeně tj. náhlým příchodem dlouhé vlny na pobřeží a jeho zatopením, jiná se ohlašují počátečním ústupem moře na 10–30 minut, po němž teprve následuje záplava. Jestliže tedy např. 300 km dlouhá vlna přichází k pobřeží rychlostí 500 km za hodinu, pak je zřejmé, že zaplavení pobřežní nížiny musí trvat více než půl hodiny (a to ještě bez doby nutné k odtoku záplavových vod zpět do moře). Vln bývá ovšem více — obvykle 3–9 a interval mezi nimi je asi 15–30 minut. Přitom bývá pravidelně vyrvána vegetace ze země i s kořeny, orná půda je odplavena, jsou zničeny budovy a dochází i ke značným ztrátám na lidských životech.

Dlouhé mořské vlny, tak ničivé při svém příchodu na pobřeží, nejsou na volném moři zpravidla vůbec viditelné — jejich délka je sice značná (100–300 km), ale výška naopak zcela nepatrná (pouze 1–2 m). Postupují od místa vzniku často i přes celý oceán velmi rychle (200 až téměř 1000 km za hodinu) a na pobřeží vytvářejí příbojovou vlnu někdy i 40 m vysokou (obr. 1). Tak např. při tsunami 15. 11. 1896 bylo v Japonsku doslova odplaveno 27.000 lidí. Při lisabonském zemětřesení 1. 11. 1755 pronikla vlna vysoká místy téměř 25 m do vnitrozemí až do vzdálenosti 15 km. Z celkového počtu 60.000 lidí, kteří při zemětřesení zahynuli, připadá většina právě na vrub tsunami.

Velké tsunami vzniklo také při výbuchu sopky Krakatoa 27. 8. 1883. Téměř 40 m vysoká vlna zahubila přes 35.000 lidí a způsobila velké škody. Podle Flammariona „... vlny 35 m vysoké vymrštily se nad břehy, ničíce vše na cestě své a metajíce lodi přes vesnice a lesy na kilometry do nitra země“.

Vlnění se od místa svého vzniku na mořském dně šíří celkem pravidelně. Při zemětřesení 1. 4. 1946 v blízkosti ostrova Unimak (Aleuty) vlny tsunami dorazily na Havajské ostrovy, vzdálené odtud 3700 km, za 5 hodin. Délka těchto vln byla 200 km, rychlost jejich postupu 740 km za hodinu a na pobřeží narážely v intervalech po 20 minutách (obr. 2). Největší byla 3. vlna, která na Unimaku zničila věž majáku, stojící 14 m nad hladinou moře, a její trosky vynesla na skálu až do výšky 35 m nad vodou.

Výsledky působení tsunami bývají katastrofální a to jak ničením lidských životů, obydlí, lodí ap., tak i zásahem do ostatní živé přírody (odplavení pobřežní vegetace a zahubení množství ryb v oceánu nad místem podmořského výbuchu či otřesu). Všechny tyto destruktivní zásahy člověk i příroda rychle zahlazují, změny trvalejšího rázu však vznikají přemístováním pobřežních zvětralin a sedimentů. Ustupující vlny odnášejí z pevniny množství tohoto materiálu a nárazové vlny jej opět jinde ukládají. Zajímavým příkladem této činnosti může být tsunami, které zaplavilo chilské pobřeží při zemětřesení 22. 5. 1960. Přístav



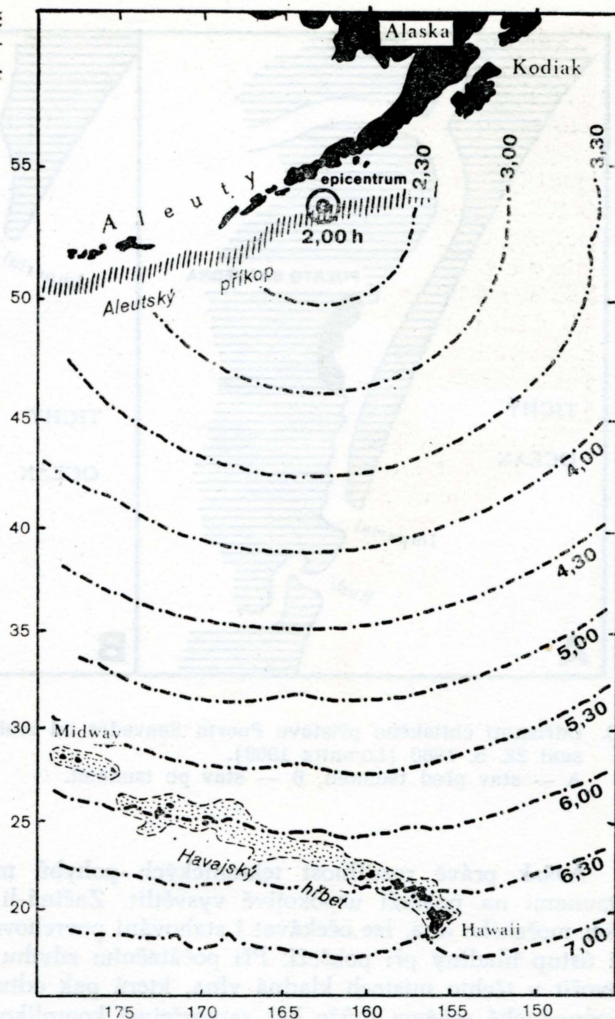
1. Tsunami na pobřeží Kamčatky a severních Kuril dne 5. 11. 1952. Jeho příčinou byl tektonický otřes, který vznikl na vnitřním okraji Kurilského příkopu. Výška záplavové vlny na jednotlivých místech pobřeží je udána v metrech (Svjatlovskij 1957).

Puerto Saavedra, ležící na pobřeží při ústí řeky Imperial, se stal v jediném dni vnitrozemským městem. Tsunami úplně zaneslo staré ústí řeky a vytvořilo nové na zcela jiném místě (obr. 3). Toto zemětřesení bylo jedním z nejsilnějších vůbec. Vlny tsunami byly u chilského pobřeží vysoké sice jen asi 12 m, ale u Alasky dosahovaly stále ještě 5 m.

Při dalším velmi silném zemětřesení, které proběhlo na Alasce 27. 3. 1964, vznikl v zálivu Alasky na mořském dně zlom asi 700 km dlouhý, podle něhož se sousední kry navzájem vertikálně posunuly prům. o 1–2 m (Michalev 1966). Na jz. o ostrova Montague bylo naopak zjištěno náhlé vyklenutí mořského dna, dosahující až 150 m (Malloy 1966). Při tak velkých pohybech mořského dna muselo proto jistě vzniknout i tsunami. Postižen jím byl hlavně ostrov Kodiak, kde mořské vlny zničily mimo jiné i 12 mostů (Kachadoorian 1968). Vln zde vzniklo celkem 8, byly 10 m vysoké a záplava pobřeží trvala několik hodin.

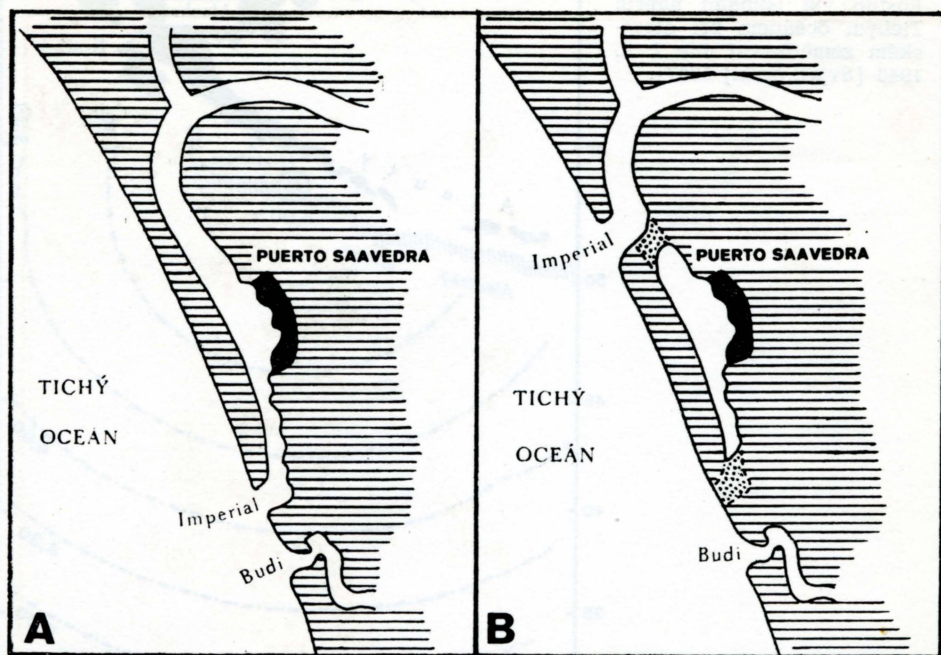
Naštěstí nejsou tsunami příliš častým přírodním jevem. Za posledních 2500

2. Postup vln tsunami napříč Tichým oceánem při aleutském zemětřesení dne 1. 4. 1946 (Svjatlovskij 1957).



let se jich na celém světě vyskytlo jen 355 (Svjatlovskij 1957). Z nich jen 30 bylo vulkanického původu, kdežto ostatní vznikla při podmořských zemětřeseních v hlubokomořských příkopech riftových údolích a při okrajích ostrovních oblouků (obr. 4, 5). Na další možnou příčinu jejich vzniku jsou považovány i podmořské sesuvy.

Problém vzniku tsunami je zřejmě stále ještě diskutabilní. Zdá se však, že tuto otázku lze přece jen poněkud zjednodušit. Především je třeba vycházet z faktu, že ne každé zemětřesení či podmořská erupce jsou provázeny vznikem tsunami. Protože víme, že jak zemětřesení tak i sopečná činnost jsou vlastně jen průvodními jevy pohybů ker zemské kůry, není třeba vázat vznik tsunami na tyto průvodní jevy, ale přímo na jejich bezprostřední příčinu tj. na tektonický pohyb. Kdyby také tsunami vznikalo jen při zemětřesení či sopečném výbuchu, pak by jeho počátek musel být asi vždy stejný — buď jen ústup moře od pobřeží nebo jen jeho záplava.



3. Odříznutí chilského přístavu Puerto Saavedra od moře vlnami tsunami při zemětřesení 22. 5. 1960 (Lomnitz 1969).

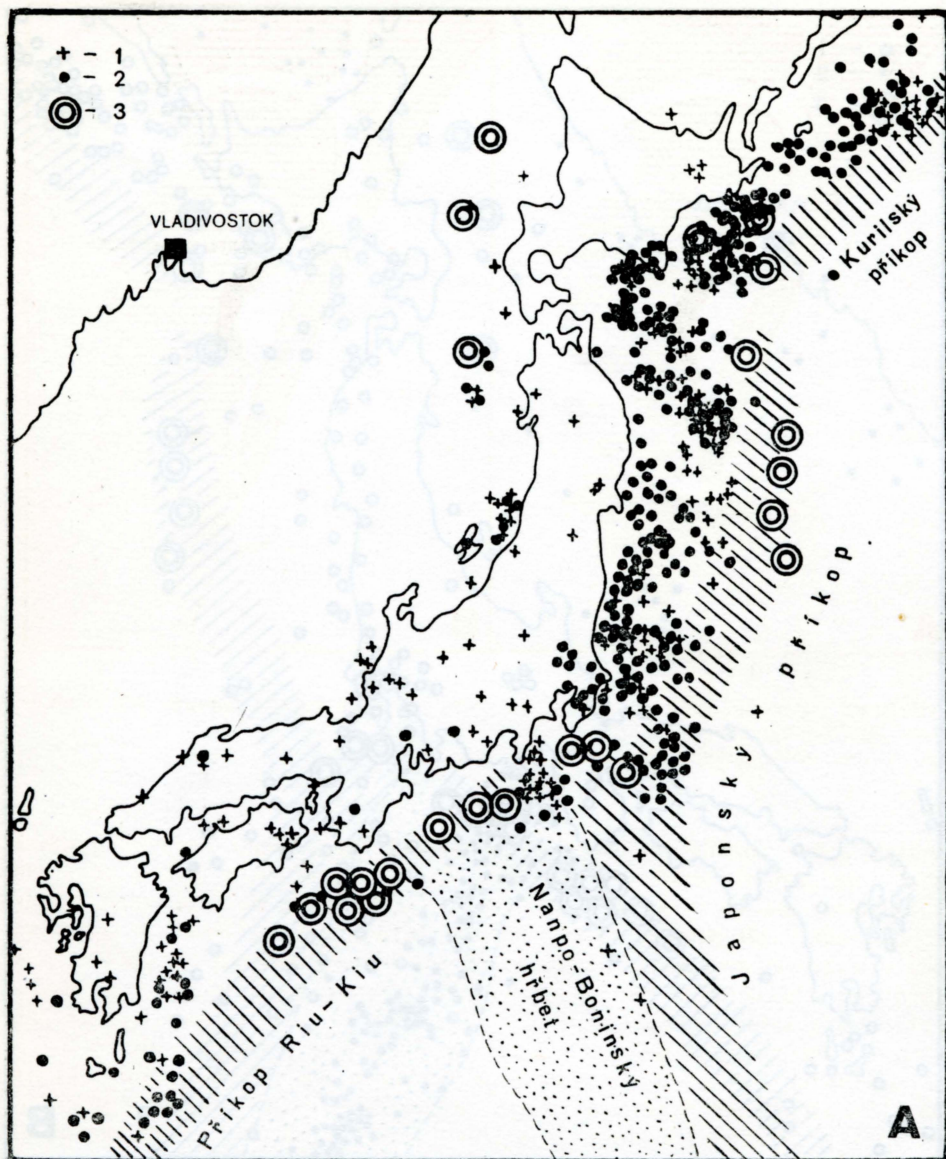
A — stav před tsunami, B — stav po tsunami.

Avšak právě rozdílnost tektonických pohybů může tento nestejný počátek tsunami na pobřeží uspokojivě vysvětlit. Začíná-li tektonický pohyb poklesem ker mořského dna, lze očekávat i stahování povrchové vody do těchto míst, a tedy i ústup hladiny při pobřeží. Při počátečním zdvihy nebo vyklenutí se musí vytvořit v těchto místech kladná vlna, která pak odtud postupuje k pobřeží. Toto jednoduché schéma může být samozřejmě komplikováno jak současnými zdvihy a poklesy ker, tak i opakováním těchto pohybů ap. V těchto případech může pak docházet k zesílení nebo zeslabení či úplnému rozrušení počáteční vlny.

V učebnicích bývá tsunami stále ještě řazeno k seismickým jevům. Protože však jde o zřejmé předávání energie při mechanickém pohybu pevných ker zemské kůry a její pouhou transformaci ve vlnění vodního prostředí, patří vysvětlení tohoto přírodního jevu ne do seismologie či vulkanologie, ale buď do tektoniky (resp. neotektoniky), nebo ještě přesněji do kapitoly o moři a pohybech mořské vody.

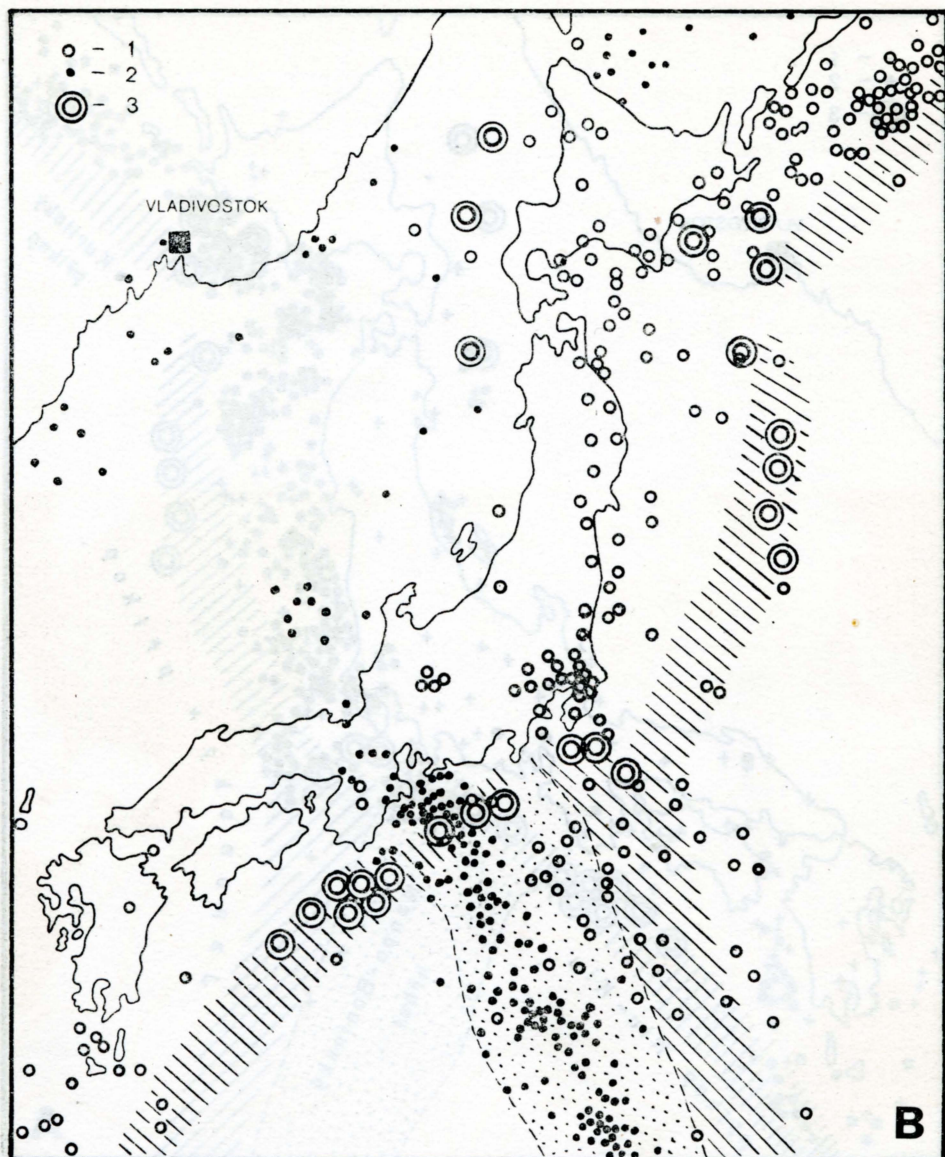
Z uvedených 355 bezpečně zaznamenaných tsunami připadá podle Svjatlovského na *Pacifik* 308 a z toho na Japonsko 99, Kamčatku a Kurily 14, Aleuty 4, Indonézii, Filipíny, Mariany 60, Severní Ameriku 15, Jižní Ameriku 54, Havajské ostrovy 38; *Atlantik* 47 a z toho na Západní Evropu 9, Venezuelu a Antily 17, Středozemní moře 21.

Tento poslední údaj však bude zřejmě třeba opravit, protože jen z Řecka uvádí Galanopoulos (1960) celkem 41 tsunami. Indický oceán je velmi klidný — větší tsunami se zde zatím objevilo jen jednou a to v r. 1945 v Arabském moři.



4. Rozmístění zemětřesení [Miyamura 1969] a místa vzniku hlavních tsunami (Svjatlovskij 1957) v okolí Japonských ostrovů. Téměř všechna tsunami vznikla v hlubokomořských příkopech.

Rozmístění epicenter zemětřesení menších hloubek: 1 — od 0 do 30 km, 2 — od 30 do 70 km, 3 — místa vzniku tsunami.



5. Rozmístění epicenter zemětřesení větších hloubek a místa vzniku hlavních tsunami v téže oblasti jako na obr. 4. 1 — od 70 do 300 km, 2 — od 300 do 720 km, 3 — místa vzniku tsunami.

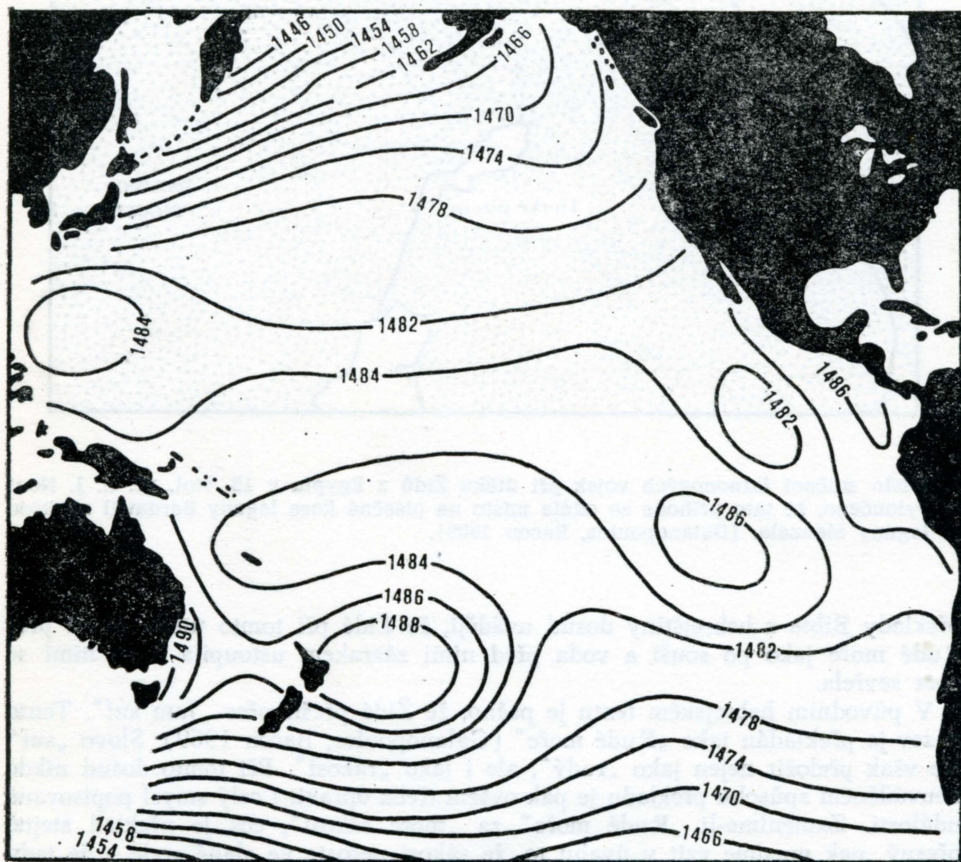
Tsunami lze tedy sice očekávat po zemětřesení či sopečném výbuchu, avšak žádné prognózy aspoň několik dní předem zatím neexistují. Jedním z bezprostředních příznaků je ovšem ústup hladiny moře od pobřeží — dosud však nedovedeme odhadnout, zda se tsunami předem takto ohlásí, či zda začne hned zatopením pobřeží. Je proto nutné sledovat stále údaje seismografů, mareografů

a sofarů (tj. hydroakustických přístrojů měřících rychlost zvuku ve vodě). Zvukové vlny postupují ve vodě rychlostí asi 1,4–1,5 km za vteřinu (obr. 6), rychlost seismických vln v zemské kůře je 3–10 km za vteřinu a tak záznam o blížícím se tsunami (rychlost vln prům. 100–200 m za vteřinu) lze obdržet přece jen včas, aby bylo možno provést aspoň nejnutnější ochranná opatření.

Zvláště v případech, kdy vlny postupují přes celý oceán, je k tomu jistě dostatek času. Zvláště zajímavým případem bylo tsunami, které vzniklo u pobřeží Japonska 2. 3. 1933. Mareografy v Austrálii a na Novém Zélandě zachytily jeho vlny, odražené už od břehů Ameriky. Tsunami tak proběhlo za 47 hodin vlastně dvakrát napříč Pacifikem.

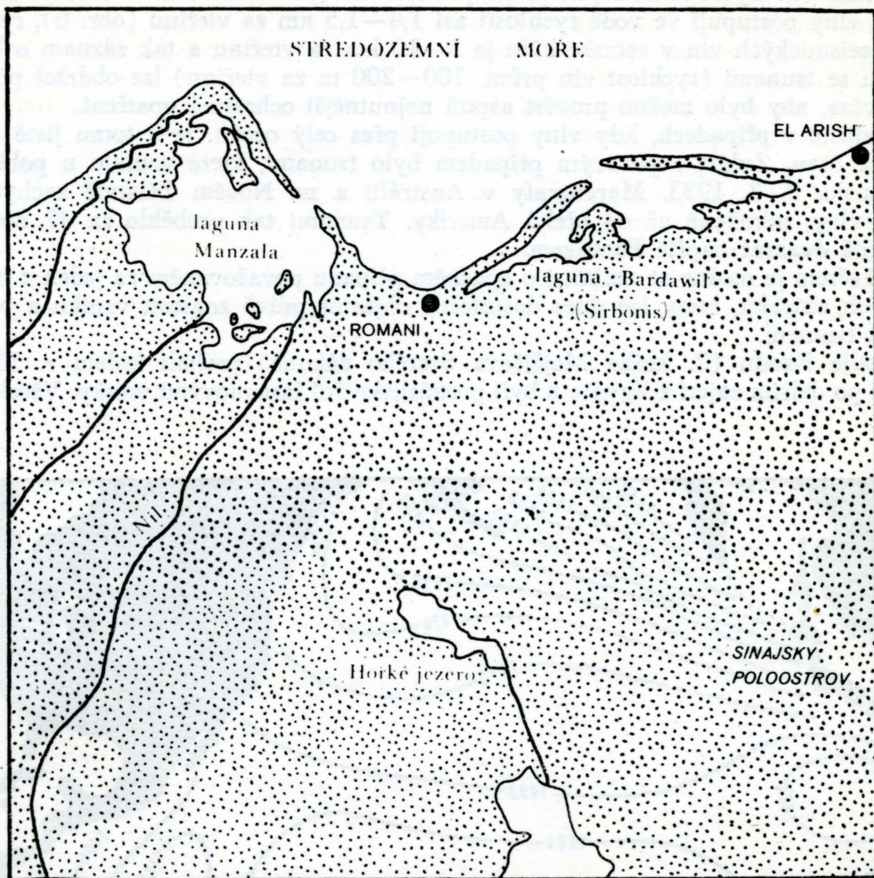
Závěrem je možno se zmínit i o opačném případě považovaném za jeden z biblických zázraků, který lze dnes dostatečně objasnit právě znalostí vzniku a průběhu tsunami.

Podle Exodu (2. kniha Mojžíšova Starého zákona) prchali kolem r. 1500 Židé po delším zajetí z Egypta a byli pronásledováni faraonovými vojsky. Všechny



6. Rychlosti šíření zvukových vln v Pacifiku [Johnson 1969]. Různá rychlost postupu zvukových vln v mořské vodě je dána hlavně rozdíly v její teplotě a obsahu soli. Číselné údaje jsou uvedeny v m/s.





7. Místo zničení faraonových vojsk při útěku Židů z Egypta v 15. stol. př. n. l. Není vyloučeno, že tato příhoda se udála místo na písčité kose laguny Bardawil na kose laguny Manzala. [Galanopoulos, Bacon 1969].

překlady Bible z hebrejštiny dosud uvádějí, že Židé při tomto útěku přešli přes Rudé moře jako po souši a voda před nimi zázrakem ustoupila a za nimi se opět sevřela.

V původním hebrejském textu je psáno, že Židé přešli přes „Jam suf“. Tento název je překládán jako „Rudé moře“ (Galanopoulos, Bacon 1969). Slovo „suf“ lze však přeložit nejen jako „rudý“, ale i jako „rákosí“. Při tomto dosud nikde neuváděném způsobu překladu je pak ovšem třeba opravit i celý smysl popisované události. Zaměníme-li „Rudé moře“ za „moře rákosí“, což je překlad stejně přesný, pak musíme vzít v úvahu to, že rákosí neroste ve slané vodě a že tedy ani Židé při útěku nemohli přejít přes moře, ale pravděpodobně přes rákosím zarostlou lagunou nebo sladké jezero.

Takovou lagunou by mohla být např. dnešní Sebcha el-Bardawil, laguna na východ od nilské delty, oddělená od Středozemního moře písčitou kosou (obr. 7).

Herodotos se o ní zmiňuje (tehdy se jmenovala „Sirbonis“) jako o hranici Egypta a popisuje i průliv Ekregma, prorážející kosu a spojující lagunu s mořem. Podle Strabona byl přechod přes lagunu velmi nebezpečný a Diodorus dokonce uvádí, že zde zmizely celé armády.

Dnes víme, že útek Židů z Egypta lze klást do téhož období, kdy v Egejském moři vybuchla sopka Santorin a kdy také zcela prokazatelně došlo ke vzniku velké vlny tsunami, která zaplavila velkou část pobřeží ve východním Středomoří a dokonce zničila i celé obchodní a válečné loďstvo Kréťanů (Minojců).

Při erupci Santorinu se propadla i část ostrova pod hladinu a tsunami tedy muselo začínat ústupem moře od pobřeží. Tomuto propadnutí a ponoření předcházel samozřejmě výbuch do té doby ovšem ještě suchozemské sopky, který nemohl vyvolat sám vznik tsunami — podobně jako nebyl nikdy jeho příčinou ani výbuch Etny, Stromboli či havajských sopek.

Právě v době tohoto výbuchu tábořili pravděpodobně pronásledovaní Židé na jedné části kosa laguny Sirbonis. Jestliže před záplavou došlo i zde k ústupu moře od pobřeží — podobně jako u obléhaného města Potidaea — pak Židé skutečně mohli rychlým pochodem přejít přes obnažené dno průlivu. Vracející se vlna tsunami zastihla už ovšem jen vojska pronásledovatelů a obstarala jejich likvidaci: „... a navrátili se vody, zatopily vozy i jezdece se vším vojskem Faraonovým, což jich koli vešlo za nimi do moře, tak že nezůstal z nich ani jeden“ (Exodus, kap. 14/28).

Rozumový výklad této biblické příhody vypadá dnes dost věrohodně, avšak přesto jej zatím nelze brát se stoprocentní jistotou. Časové určení výbuchu Santorinu a zničení egyptského vojska při útěku Židů z Egypta by musely souhlasit na jediný den — a to asi nebude možno nikdy bezpečně prokázat.

#### Literatura

- GALANOPOULOS A. G. (1960): Tsunamis observed on the coasts of Greece from antiquity to present time. — *Annali di Geofisica*, XIII: 3—4: 369—386, Roma.
- GALANOPOULOS A. G., BACON E. (1969): Atlantis. The truth behind the legend. — T. Nelson and Sons Ltd., London, 2. vyd., 216 p.
- JOHNSON R. H. (1969): Synthesis of point data and path data in estimating Sofar speed. — *J. Geophys. Res.*, 74:18:4559—4570.
- KACHAROORIAN R. (1968): Effects of the earthquake of March 27, 1964, on the Alaska highway system. — *Geol. Surv. Profess. Paper* 545-C, 66 p.
- LOMNITZ C. (1969): Sea floor spreading as a factor of tectonic evolution in Southern Chile. — *Nature*, 222:5191:366—369.
- LOMNITZ C., CABRÉ R. (1968): The Peru earthquake of October 17, 1966. — *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 58:2:645—661.
- MALLOY R. J. (1966): Vertical crustal movement associated with the 1964 Alaskan earthquake. — *Trans. Amer. Geophys. Union*, 47:1:176—177.
- MICHALEV D. N. (1966): Zemletrjasenija na Alaske. — *Izv. Vses. Geogr. obšč.*, 98: 179—182.
- MIJAMURA S. (1969): Sejsmičnost, Japonii i okrestnostej. — *Fizika Zemli*, 7:21—50, Moskva.
- RICHTER Ch. F. (1958): Elementary seismology. — Freeman and Co., San Francisco, 768 p.
- RUSSO P. (1966): Zemletrjasenija. — Progress, Moskva, 248 p. Z franc. orig. Rousseau P.: Les tremblements de Terre. Paris 1961.
- SVJATLOVSKIJ A. Je. (1957): Cunami. — AN SSSR, Sovet po sejsmologii, Moskva 1957, 71 p.
- ZÁTOPEK A. (1949): Jak se studují zemětřesení. — *Cesta k vědě*, sv. 50, 124 p, Praha.