

Є. ПАТАЛАХА, В. ТРЕГУБЕНКО

**ЦУНАМІ В ІНДІЙСЬКОМУ ОКЕАНІ:
ГЕОДИНАМІКА Й УРОКИ ДЛЯ УКРАЇНИ**

Вранці 26 грудня 2004 року, коли в Україні був пік подій, пов'язаних з виборами нового Президента країни, світ потрясла одна з найбільших в історії людства геокатастроф: гігантські хвилі накрыли рекреаційне узбережжя Південно-Східної Азії.

Цунамі, спричинене землетрусом в Індійському океані, за неповними даними, забрало життя як мінімум кількох сот тисяч людей, позбавило даху понад 1,5 млн осіб. Землетрус, що зародився поблизу острова Суматри, на океанічному дні західного сектора Зондського глибоководного жолоба, вибухнув на поверхні акваторії Індійського океану у формі грандіозного цунамі з висотою сейсмічної морської хвилі понад 10–30 м. Це п'ятий за рівнем енергії (з магнітудою 9 за шкалою Ріхтера) землетрус у світі від 1952 р. (Чилі, Аляска, Камчатка, Японія). Зі швидкістю реактивного лайнера хвиля прокотилася по південно-східному узбережжю Шрі Ланки, Індії, Мальдівів, західному узбережжю Таїланду, Малайзії, Індонезії, берегах Африки (Сомалі). З цієї сумної статистики, як згодом з'ясувалося, випала значна кількість розпорошених тут і там невеликих островів, мешканці і будівлі яких здебільшого були стерті з лиця землі

головною фазою цунамі на самому початку катастрофи.

Нагадаємо, що, на відміну від порівняно локальних землетрусів, цунамі охоплює величезні простори прибережних рівнин й островів, змітаючи на своєму шляху все живе [7]. Досить згадати загибель Атлантиди — легенда, в якій, як вважають, є значна частка істини. У зоні жахливого стихійного лиха виявилися велелюдні місця відпочинку світового значення. Тут хотілося б прокоментувати лише один, професійно близький нам, геодинамічний аспект, оскільки цей трагічний феномен ініціював чимало суперечливих висловлювань, які частіше малодотичні до реальної дійсності.

Одразу ж зазначимо, що існує сучасна автоматизована глобальна система геодинамічного відстеження подібних явищ — як супутникова, так і наземна (SSWWS, GPS та ін.). Достатня для планетарного масштабу, вона, однак, недостатня для регіонального. Проте з урахуванням високого рівня сучасних геодинамічних досліджень усе це не залишає місця для абсолютно непередбачуваних і несподіваних геокатастроф. Інакше кажучи, фактично є всі підстави вважати, що масштаби трагедії вдалося б

© ПАТАЛАХА Євген Іванович. Член-кореспондент НАН України.

ТРЕГУБЕНКО Віктор Іванович. Завідувач відділу регіональної геофізики УкрДГПІ (Київ). 2005.

значно звужити за таких двох умов. По-перше, якби в регіоні існувала місцева геодинамічна служба моніторингу і прогнозу, здатна осмислити й оцінити стан геодинамічних процесів та ступінь їхнього потенційного ризику. По-друге, якби глобальні відомості про зародження землетрусу і цунамі, зафіксовані з космосу наземними дистанційними сейсмічними засобами, вчасно дійшли до майбутніх жертв трагедії. Однак жодних регіональних служб відстеження і прогнозу геокатастроф не виявилось взагалі, а зафіксовані з космосу дані про цунамі до жителів рекреаційного узбережжя не дійшли із суто комерційних міркувань — через побоювання втратити клієнтів і зазнати чималих збитків. Нарешті, було сподівання, що, либонь, обмине. Тут, як і у випадку аварії на Чорнобильській АЕС, планетарна трагедія була поглиблена ще й непереборним «людським фактором» — легковажністю, безвідповідальністю, недбальством, чим зазвичай суспільство пояснює чималу частку втрат як від техногенних, так і від геокатастроф.

У засобах масової інформації, аж до найвищого рівня, останнім часом з'явилося чимало надто сміливих тлумачень причин цунамі. Висловлюються припущення, що це могло статися внаслідок падіння в Індійський океан певного космічного тіла (але ж воно було б зафіксоване службою відстеження та обчислено астрофізиками). Інші кажуть, що начебто трапився миттєвий провал у центрі океану — мантийний блок занурився в ядро Землі (що само по собі абсурдно: щільність мантиї в 2–3 рази менша від щільності ядра), або припускають якийсь вибух. Насправді ж геодинамічна ситуація, відповідальна за формування такого масштабного цунамі в Індійському океані, має не стільки екзотичні, скільки досить прозаїчні причини (рис. 1–7). У кожному разі, нічого проти чи надприродного у ній немає.

Справа у тому, що джерелом сучасних стихійних лих на планеті (землетрус і моретруси — цунамі, вулканізм, різні зсувні, обвальні процеси, зокрема лахарові та селеві потоки) найчастіше є геодинамічна поведінка тих літосферних плит завтовшки близько 100 км, які перебувають у стані постійного крипового дрейфу і на яких базується регіон, тобто геодинамічний клімат і геодинамічна погода. Самі ж плити ізостатично плавають на термічно розм'якшеній астеносфері (архімедова рівновага), а геодинамічно взаємодіють (це є головним джерелом усіх лих) — у помежів'ї плит (якщо не враховувати менш мантийні плюми чи астеноліти, які трапляються і за внутрішньоплитової ситуації). Розглядуваний регіон Індійського океану, добре відомий за класичними дослідженнями В.Р. Бемеллена, В. Гамільтона, Д.Е. Каріга, — яскрава ілюстрація цього. Власне, він представлений Індо-Австралійською плитою, що і тепер нарощується як тверде холодне тіло на південному заході, в районі серединного спредингового хребта Індійського океану, а поглинається (субдукціює з подальшим переплавленням) у регіоні, який нас цікавить, — у західному секторі Зондської дуги, на північному сході, в зоні Зондського глибоководного жолоба під однойменною вулканічною острівною дугою, представленою островами Суматра, Ява, Андаманським архіпелагом і безліччю дрібних островів. Тобто відбувається нормальна В-субдукція Індо-Австралійської (океанічної у розглядуваному секторі) плити під Зондську вулканічну острівну дугу, яка виникла внаслідок взаємодії Індо-Австралійської і розташованої на схід Південно-Китайської плит — окраїни Євразійської.

Ситуація назагал досить стандартна. Індо-Австралійська плита теоретично має дрейфувати від осі спредингу по нормалі до північного сходу з середньою швидкістю близько 5–6,5 см/рік [8, 9], однак далеко

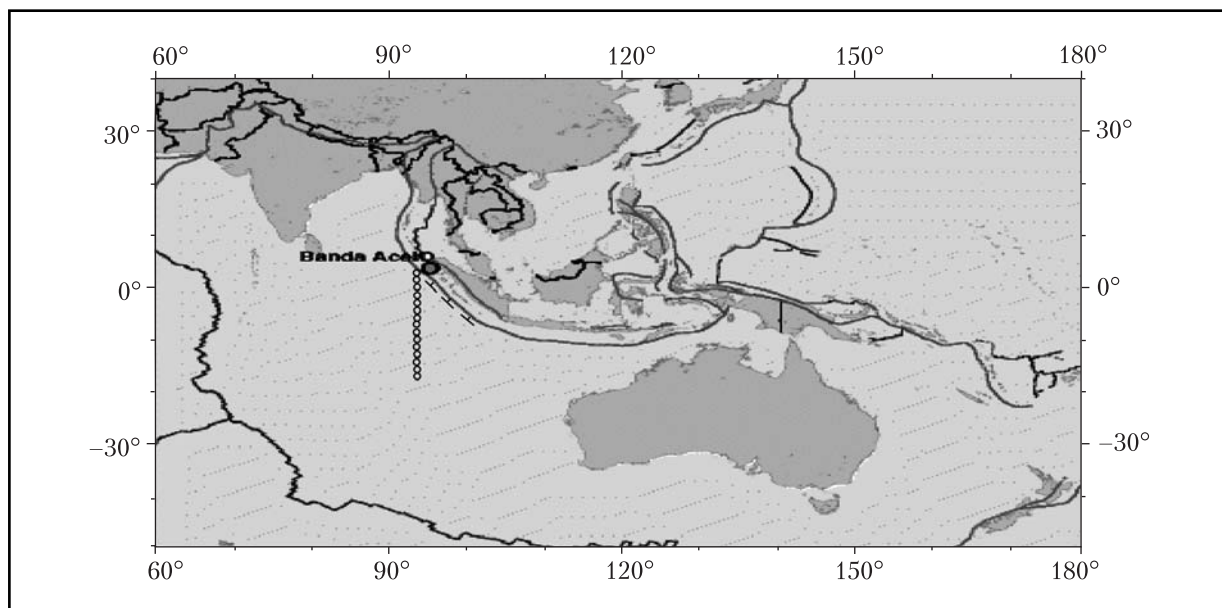


Рис. 1. Загальна геодинамічна ситуація. Індо-Австралійська плита дрейфує у Зондську субдукційну зону. Кружечком позначено головний сейсмічний удар, крапками — підводний Східно-Індійський хребет (hot spot), пунктиром — forebulge. Сайт www.neic.usgs.gov

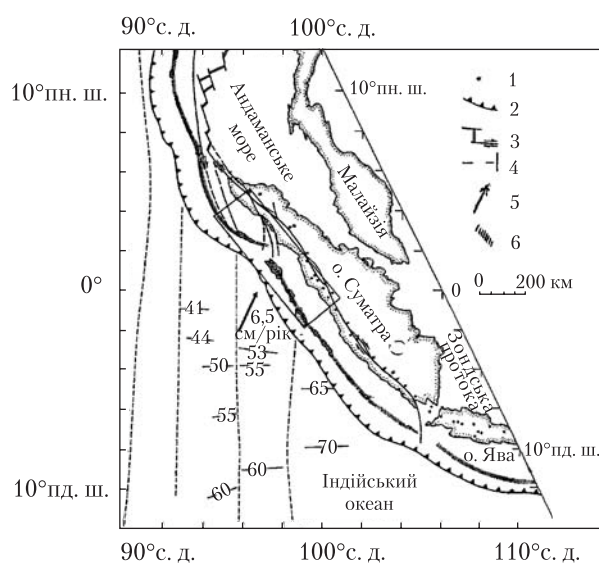


Рис. 2. Схема західної частини Зондської дуги (з роботи [4]): 1 — четвертинні вулкани; 2 — основа схилу жолоба; 3 — активні зони спредингу і зсувних рухів (пунктир — неактивні чи передбачувані структури); 4 — смугові магнітні аномалії (цифрами позначено їх вік, млн років); 5 — швидкість дрейфу Індо-Австралійської плити; 6 — зовнішня дуга = акреційна призма

не безперешкодно і не безконфліктно. І ось які причини цього явища. Якщо по зверненню до осі спредингу кормовому південно-західному контуру плити панують сейсмічно малоефективні розтяжні зусилля, то по фронтальному північно-східному контуру, навпаки, — вискоефективні для сейсміки стискувальні зусилля. По суті, вздовж глибоководного Зондського жолоба Індо-Австралійська плита конвергує з Південно-Китайською і як важча — пірнає під неї, занурюючись углиб астеносфери під середніми кутами. При цьому північно-східний дрейф Індо-Австралійської плити ускладнюється тим, що її північна континентальна вершина (у плані) — Індія, подібно до індентора, входить у тіло континентальної Євразійської плити у північному напрямку, чималою мірою продиктованому обмежувачами її зі сходу і заходу субмеридіональними трансформними розломами. Останні, наче рейки, вносять свої корективи у траєкторію переміщення плити. Переконливий доказ такого дрейфу — сам факт

наявності найвищого у світі гірського ланцюга Гімалаїв по північному фронтальному контуру Індійського індентора. Ось чому Індо-Австралійська плита не просто субдукціює під Зондську, а й зрушується на північ (що і зафіксовано, до речі, сейсмогенним зсувом острова Суматри, за даними ЗМІ, на 30 м на південь). Тобто плита переміщується не точно на північний схід (за нормаллю від осі спредингу, а скоріш — на північ-північний схід) (див. рис. 2). На орієнтування вектора швидкості переміщення плити в різних частинах впливає також специфіка геометрії плити — мембранний ефект та інші чинники. Один із лівобічних зсувів проходить уздовж острова Суматри.

Таким чином, субдукційний процес ускладнений фактором зсуву як у власній площині (косокутня субдукція), так і наявністю трансформ, власне, вже в тилу дуги. Для деяких фахівців це і послугувало приводом, щоб хибно вважати механізм основного сейсмоудару зсувно-трансформним.

На питання про те, які саме переміщення геодинамічно взаємодіючих плит генерують цунамі (горизонтальні чи вертикальні), відповідає така цитата: «Ні західному узбережжю Північної Америки — від Каліфорнії до Ванкувера, ні Північній Європі не загрожують цунамі такою мірою, як берегам Японії, Аляски і Південної Америки. Одна з причин цього полягає у тому, що на узбережжі Північної Америки і на Півночі Європи немає великих зон субдукції, в яких відбувалися б великі насувні зрушення» [2, с. 95]. Інакше кажучи, зсувна складова сейсмотектонічних зрушень вражає. Але не вона здебільшого відіграє вирішальну роль у виникненні потужного цунамі.

Тож чому такого планетарного масштабу викид накопиченої у надрах пружної енергії стався саме у районі острова Суматри і саме в цей момент, а не раніше і не пізніше?

На наш погляд, головна причина полягає ось у чому. До геодинамічного процесу

взаємодії Індо-Австралійської і Південно-Китайської плит уздовж однойменного Зондського жолоба (траси виходу на денну поверхню однойменної зони субдукції), крім зазначених вище, долучається ще один, як ми вважаємо, вирішальний фактор, а саме: наявність у тілі Індо-Австралійської плити досить потужної вулканічної підводної гірської споруди — Східно-Індоокеанського хребта, зорієнтованого субмеридіонально під дуже гострим (відкритим на південь) кутом до Зондського жолоба [6]. За сучасними поняттями, це слід гарячої точки (hot spot), залишеної на тілі Індо-Австралійської плити внаслідок її дрейфу астеносферою над фіксованою гарячою точкою у нижній мантії. Слід цей добре вписується у загальну картину смугових магнітних аномалій морського дна, які маркують ізохрони процесу спредингу, що підтверджує генезис підводного хребта, а також причину косокутнього характеру субдукції.

Про «аномальну» передісторію субдукційного процесу свідчить різко редукований вироджений характер негативної ізостатичної аномалії (понад 200 мілігал), що відображається вузькою безперервною смугою Зондського глибоководного жолоба у секторі острова Суматри [1]. Тут жолоб геоморфологічно ледь простежується. Власне, він «зайнятий» зовнішньою дугою, тобто акреційною призмою. Зате перед його траєю чітко встановлюється гомологічне, характерне для форландів, передове підняття — forebulge, підкреслене такою самою вузькою смугою позитивної ізостатичної аномалії (50–63 мілігал). Форбалдж — показник трансформного («насильницького») стиснення субдукційної системи, що випереджає саму субдукцію [5, розділ XII]. А наявність такої потужної акреційної призми (дорівнює зовнішній дузі), що, по суті, перекрыла весь глибоководний жолоб, свідчить: субдукціююча океанічна плита — форланд — виявилася настільки переван-

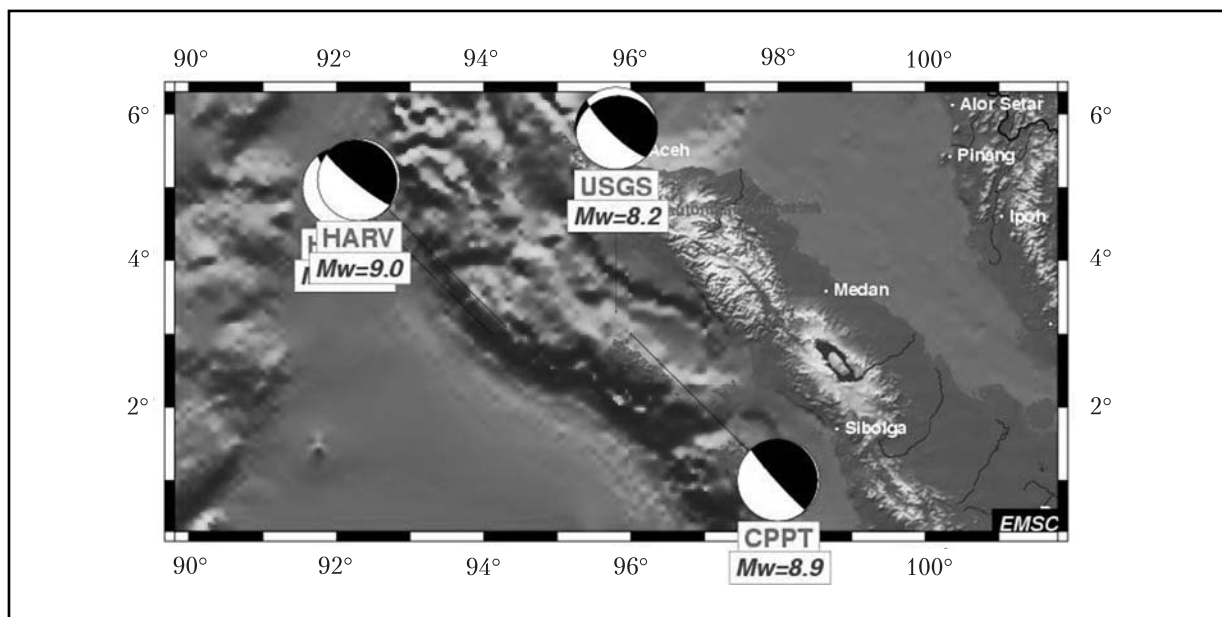


Рис. 3. Приуроченість сейсмофокальної зони до «сейсмічного кута» сходження Східно-Індійського підводного вулканічного хребта із Зондською субдукційною зоною. Визначення головного сейсмоосередку головного удару провідними лабораторіями світу. Сайт www.emsc-csem.org

таженою, тобто надбудованою зверху, що ефект бульдозерного зрізання топографічних перевищень її понад лінію розмежування обох плит став відчутним (рис. 5). Отже, форобалдж (як ознака втрати стійкості) у поєднанні з акреційною призмою, замість глибоководного жолоба, засвідчує аномальне інтенсивне зовнішнє стиснення субдукційної системи. Це можна вважати зародженням колізійного процесу в мініатюрі.

Дана ситуація нагадує сходження дуги Лусон (фронт Філіппінської океанічної плити) під таким самим гострим кутом до субмеридіонального південно-східного узбережжя Китаю (пасивна країна Євразійської плити), що спричинило великомасштабний колізійний процес (зіткнення Філіппінської та Євразійської плит) й утворення орогену острова Тайвань. Цей процес, що почався близько 6–8 млн років тому, триває і нині, причому супроводжується надзвичайно інтенсивними сейсмічними ударами, яких зазнає Тайвань як продукт зіткнення літосферних плит.

Таке саме «фатальне» значення, на наш погляд, має і «сейсмічний кут» сходження Східно-Індійського підводного хребта та Зондської субдукційної зони, до якого, як бачимо з рис. 3 і 4, приурочена екстремальна сейсмічність.

На рис. 6 і 7 показано гіпертрофовану схему механізму виникнення цунамі в Індійському океані. Вулканічно надбудовані підводні хребти на зразок Східно-Індійського вирізняються істотно підвищеною потужністю кори (вдвічі та більше). А це означає, що такі потовщені ділянки кори відіграють роль симаунтів — своєрідних клинів, які гальмують і різко сповільнюють (аж до тимчасового припинення) субдукційний процес поглинання океанічної літосфери під островною дугою, оскільки ширина субдукційної щілини лімітована [3]. Цілковито заклинити субдукційний процес такі симаунти найчастіше не здатні, оскільки у масштабі субдукційної зони (а також плити — тисячі кілометрів простягання) процес цей виглядає точковим. Натомість вони можуть

уповільнити субдукцію на обмежений час (період нагромадження сейсмогенної пружної енергії), що і відбулося у даному випадку.

Поки Східно-Індоокеанський хребет як потовщення кори не досяг горловини субдукційної зони під Зондською острівною дугою, дрейф Індо-Австралійської плити під Зондську відбувався порівняно безконфліктно. Але як тільки північний край підводного хребта (а точніше — східні його відрогі) досяг зони поглинання і перекрив горловину субдукційної щілини в районі острова Суматри, стаціонарний (криповий) процес

дрейфу Індо-Австралійської плити ускладнився різкою гальмівною роллю підводного хребта, що виступає як грандіозний симаунт. Істотне тимчасове зниження швидкості поглинання Індо-Австралійської плити на величезному, але (порівняно із загальною територією регіону) локальному просторі, призвело до нагромадження грандіозної за масштабами пружної енергії. Її розрядка у вигляді сейсмічного удару на глибині і цунамі — на поверхні акваторії океану відбулася внаслідок тимчасового руйнування симаунту під час входження його в акреційну призму, а ймовірніше — на стадії уже

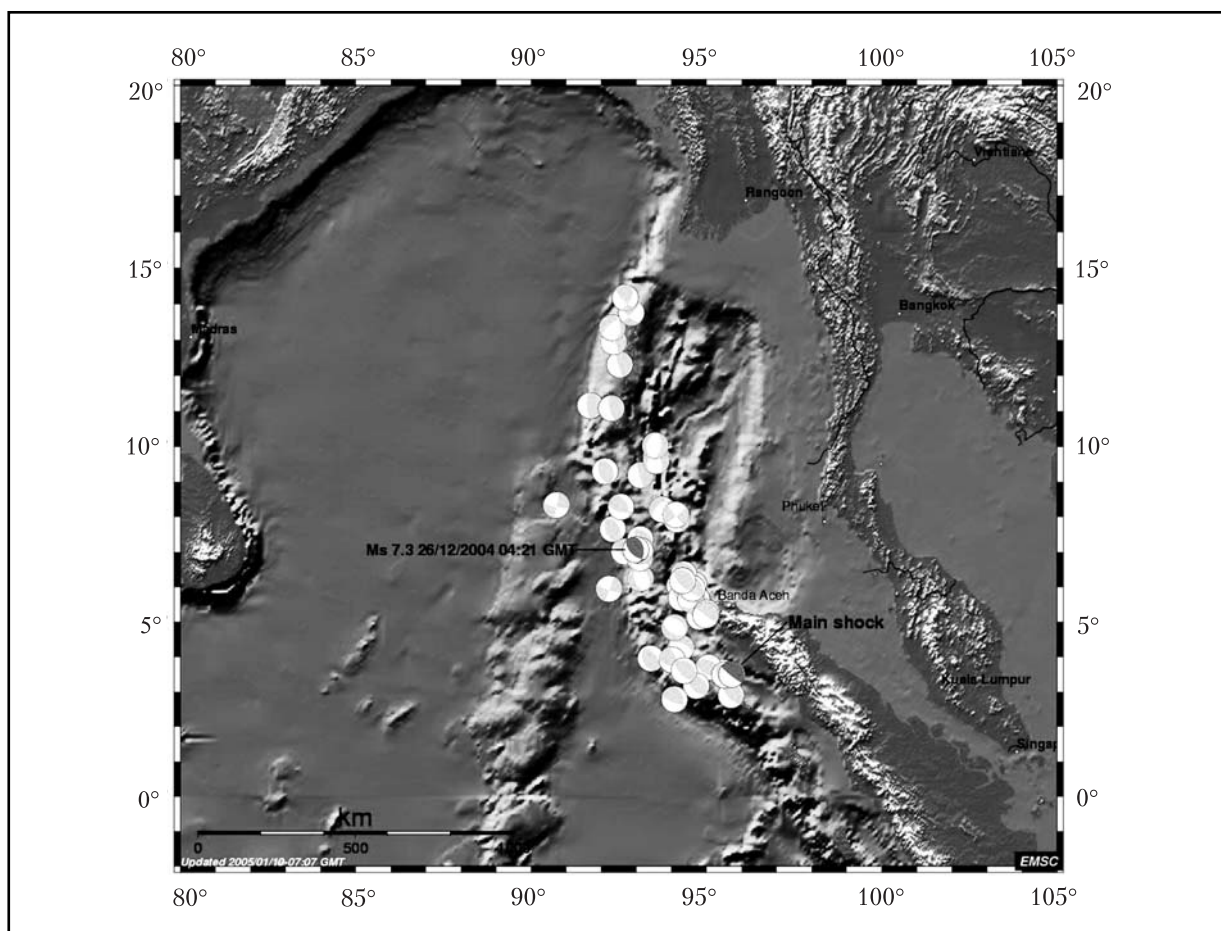


Рис. 4. Стереограми орієнтування осей головних нормальних напружень, за даними визначення сейсмоосередків: головного удару (відповідає реверсивному витисненню із субдукційної щілини) і найбільш представницьких афтершоків (комбінація попереднього типу із підкидним і скидним типами). Трансформний тип не характерний. Темною смугою ліворуч позначено найбільший афтершок. Сайт www.emsc-csem.org

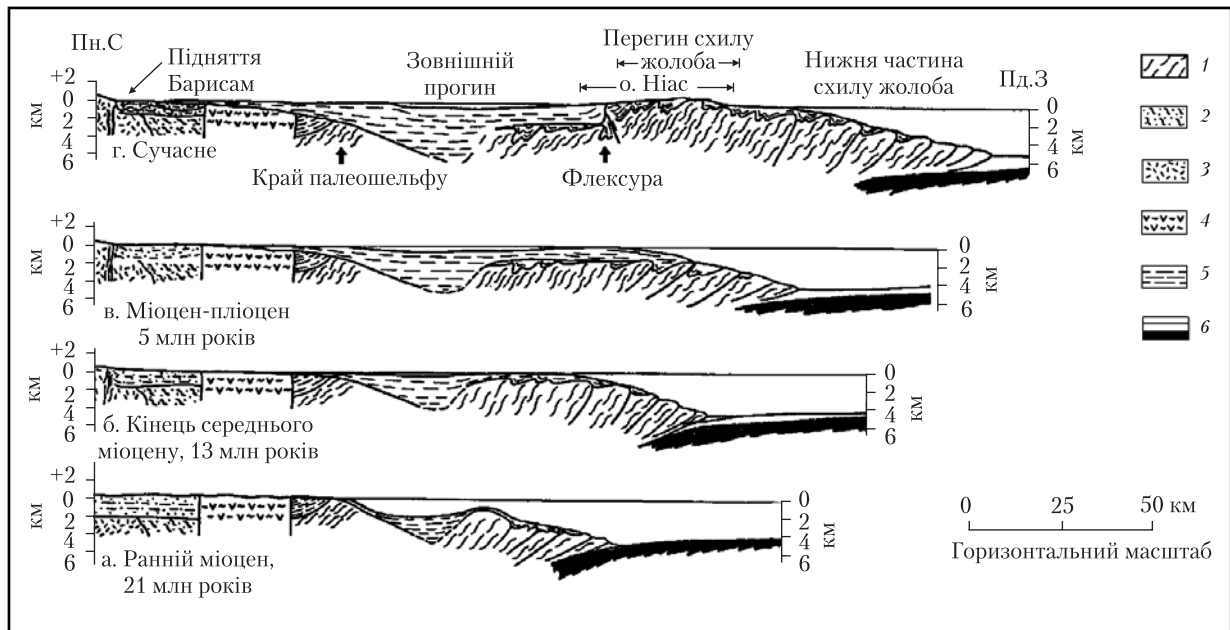


Рис. 5. «Заміщення» Зондського глибоководного жолоба потужною акреційною призмою = зовнішньою дугою (запозичено з роботи [4]). Геологічні розрізи через острів Ніас і континентальну окраїну півночі Суматри. На розрізах показано еволюцію цієї області в неогені: 1 – товщі, що зазнають субдукції; 2 – метаморфізовані осадові породи палеозою; 3 – граніти пермського і тріасового віку; 4 – метаморфізовані вулканогенні породи; 5 – кайнозойські осади; 6 – океанічна кора та осадовий чохол

«виштовхування» симаунту з неї (рис. 6). Цей процес відбито в орієнтуванні осей головних нормальних напружень, отриманих у результаті визначення сейсмоосередку головного удару провідними світовими лабораторіями США та Європи (рис. 3). Тип напруженого стану свідчить про інтенсивне реверсивне витиснення із субдукційної щілини (максимальне стиснення по лінії падіння–підняття субдукційної зони), що може розглядатися на тлі нормального вільного субдукційного процесу у північному і південному напрямках від досліджуваного сектора Зондської дуги саме як результат заклинювання цього процесу. Це вказує також на дрібнофокусний характер (близько 10 км) головного сейсмоудару, що припав на акреційну призму. Стереограми орієнтування осей головних нормальних напружень решти афтершокових сейсмоосередків, отримані таким самим способом, вкладаються у досить типовий

діапазон для субдукційного процесу (крім відзначеного вище, – підкидний, скидний тощо). Однак це виключає трансформний тип. Афтершоки, на наш погляд, можуть розглядатися у контексті продовження цього процесу, але дедалі більшого здібнювання міцних магматичних фрагментів – продуктів первинного руйнування Східно-Індійського хребта у горловині субдукційної зони, а точніше – у сфері формування акреційної призми шляхом шар'яного підшаровування, до якого магматити, з огляду на їх високу міцність (крихкість) і монолітність, навряд чи взагалі пристосовані.

Отже, такі три аргументи підтверджують правдоподібність пропонованої моделі сейсмотектонічного процесу, що ініціював гігантське цунамі в Індійському океані.

1. Найголовніший із них – це приуроченість сейсмофокальної зони до кута сходження Зондської субдукційної зони в сек-

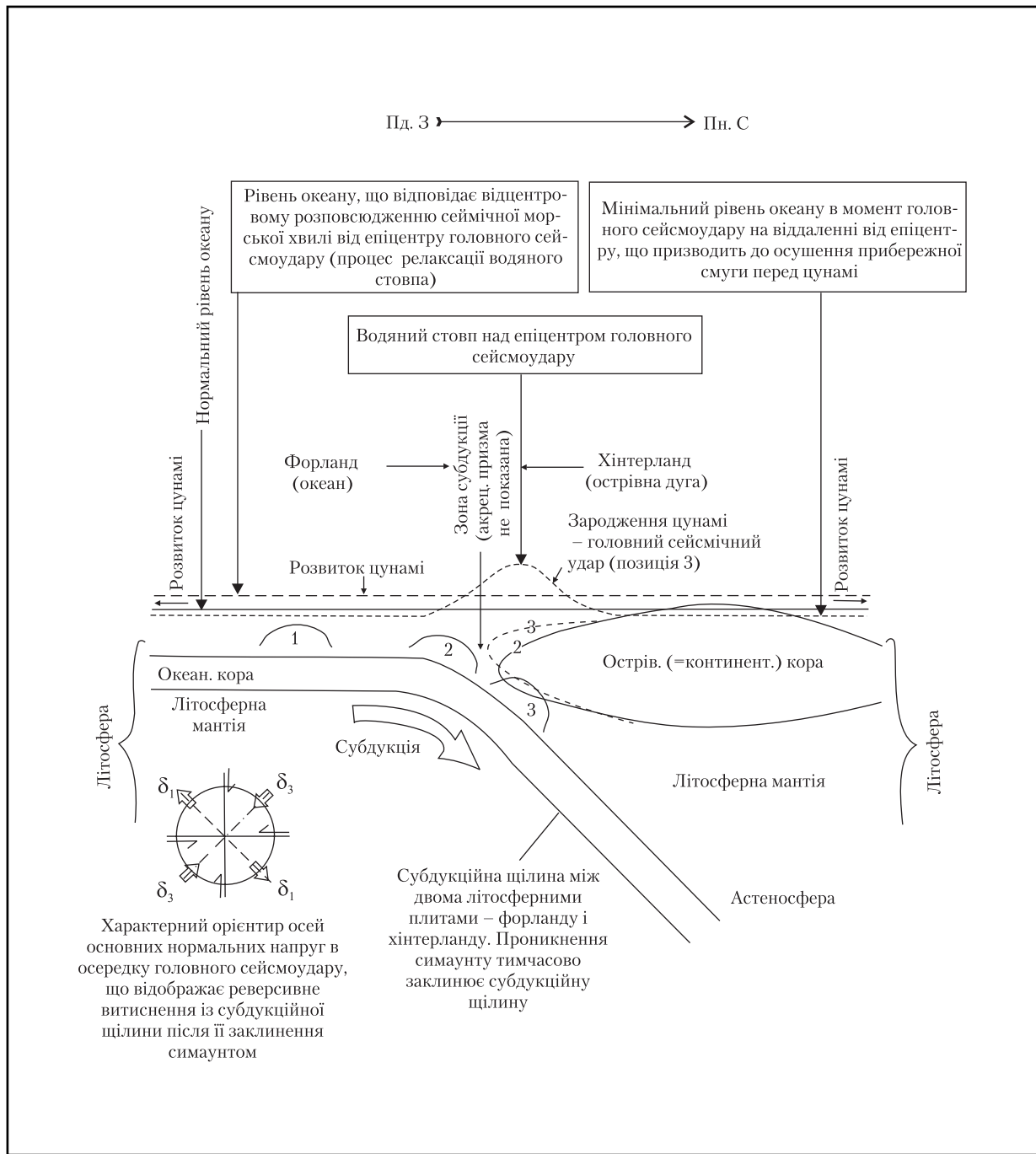


Рис. 6. Умовна гіпертрофувана схема виникнення землетрусу, що генерує цунамі, внаслідок стрибкоподібного проходження симаунту через горловину (акреційну призму) субдукційної щілини. У ролі симаунту виступає Східно-Індійський підводний хребет – hot spot. Еволюцію процесу умовно відображають позиції 1 – 3 симаунту. Стрибкоподібний перехід його з позиції 2 у позицію 3 внаслідок пружної віддачі потовщеної кори нависаючого над субдукційною щілиною підводного краю острівної дуги означає гідрравлічний удар з викидом нагору грандіозного стовпа води в океані. Позиція 3 відображає катастрофічний розвиток цунамі в результаті передачі сейсмічного удару від твердого субстрату до водної товщі. На схемі горизонтальний масштаб надто стиснений порівняно з вертикальним, а масштаб пружної віддачі – надто гіпертрофований

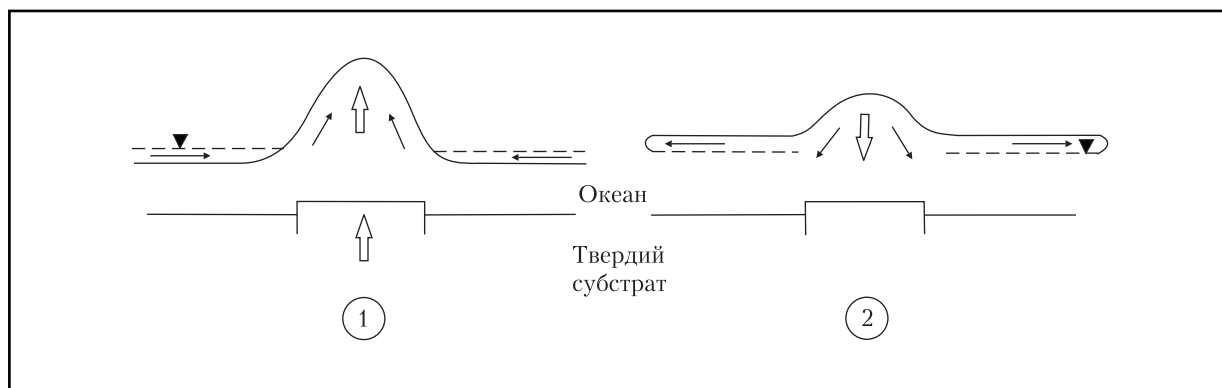


Рис. 7. Модель цунамі: 1 — головний сейсмоудар й утворення гігантського водного стовпа в епіцентрі з декомпресією і доцентровим підтоком (засмоктуванням) води по латералі, внаслідок чого рівень води в океані знижується; 2 — релаксація — відцентрове розтікання водного стовпа — у результаті рівень води в океані різко зростає, а сам процес і є цунамі. Чорним трикутником позначено нормальний рівень океану

торі Суматри з підводним вулканічним Східно-Індійським хребтом (його східні відроги).

2. Редукований характер Зондського глибоководного жолоба у секторі острова Суматри, «заміщеного», власне, акреційною призмю у формі передової дуги, а також розвиток саме в цьому секторі передового валу — форебалджу.

3. Отриманий шляхом визначення сейсмоосередку головного удару ймовірний тип напруженого стану, який відповідає, вірогідно, реверсивному витисненню із субдукційної щілини, що пов'язує сейсмічний процес із субдукційним (але ніяк не з трансформним). Визначення всіх інших, афтершокових сейсмоосередків, укладається у певний діапазон напруженого стану, що виключає, однак, трансформний тип сейсмоджерел.

Суть моделі, в остаточному підсумку, полягає у тому, що в акреційну призмю надходили особливо великі і достатньо міцні фрагменти вулканічного хребта. Переробити й асимілювати їх (подібно до пластичного флішу на попередніх етапах) субдукційній зоні шляхом шар'яжного підшаровування і формування «нормальної» акреційної призми виявилось не так-то й просто. Такі фрагменти застрягали перед входом до субдук-

ційної щілини, заклинюючи її, перекочуючись та обламуючись доти, поки процес їх дезінтеграції не досяг певного оптимального рівня. Саме цей чи близький до нього процес і генерував сейсмоактивність. Однак звернемося знову до розглянутої нами моделі (рис. 6 і 7).

Найцікавіші аргументи на користь подібного механізму землетрусу ми знайшли у недавньому повідомленні з Інтернету (С. Рибников, 10.02.05), коли ця стаття вже була підготовлена до друку. «Корабель Королівської військово-морської гідрографічної служби HMS Scott побував поблизу берегів Суматри відразу після землетрусу. На отриманих тривимірних зображеннях можна детально побачити, як стихія деформувала дно океану. Ще два місяці тому це місце було вкрите товстим шаром мулу, а тепер тут виростили гори (рис. 8). Деякі з них вельми високі — до 100 м і завдовжки до 2 км, всюди видно накопичення мулу завтовшки у кілька сот метрів». «Сьогодні це місце схоже на Великий Каньйон», — стверджує Тім Хенсток, учений, що перебував на борту HMS Scott.

Через пасмо підводних скель проходить межа між Індійською і Бірманською (Індо-Австралійською та Південно-Китайською,

за прийнятою нами термінологією, тектонічними плитами (остання — частина Євразійського плато). Дослідники не сумніваються, що гігантські хвилі утворилися після того, як Бірманська плита, яку Індійська, що опускалася роками, тягла до центру Землі, зненацька піднялася. Саме такий розвиток подій і передбачає наша модель (рис. 6, 7).

Процес можна розглядати гротескно, наприклад, як результат пружної віддачі нависаючого краю острівної дуги, що «вистрілює» нагору гігантський стовп океанічної води (гідралічний удар). В основі такого стовпа тільки один гідростатичний тиск вимірюватиметься сотнями бар. До того ж діятиме і динамічний інерційний тиск, потужність якого не дарма часто порівнюють з гарматним пострілом. Щоб виразніше уявити собі ситуацію, досить нагадати, що вода має в даних p , t умовах практично нульову в'язкість, тобто майже нульовий в'язкий опір тертю. Тому наступної після утворення стовпа миті відбудеться його релаксація, причому з тим більшою швидкістю, чим більший об'єм води був залучений до підняття. Якщо процес простежити у повільній кінематичній формі, все це нагадуватиме розтікання стовпа води по латералі. У момент утворення стовпа рівень води в океані знижується, осушується прибережна зона (тому часто вона буває вкритою живою рибою). Однак наступної миті, в міру відцентрового розтікання стовпа води, вона заливає єдиною хвилею дедалі більший простір океану. Власне, стовп води повертається в океан. Саме тому формується єдина довга сейсмічна морська хвиля певної висоти, що покриває величезні океанічні простори, зокрема прибережні зони й острови.

Таким чином, елементарне цунамі (рис. 7) можна розглядати як процес, що складається з двох стадій. Перша — це утворення гігантського водного стовпа — результат пружної віддачі під дією твердого субстра-

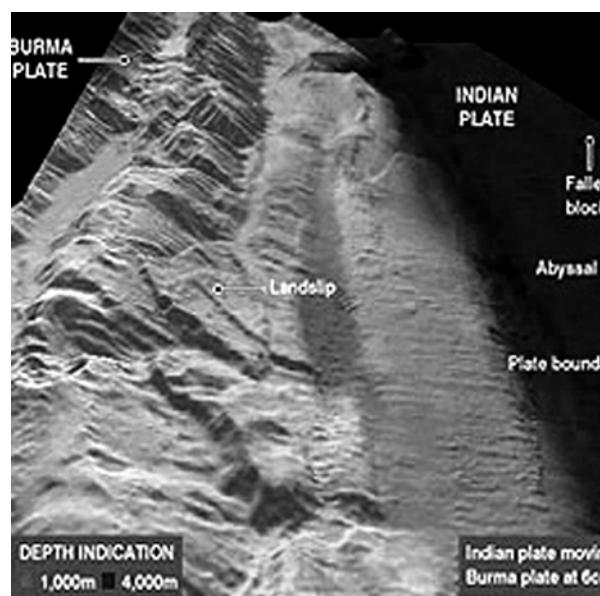


Рис. 8. Вигляд підводного хребта, що виник внаслідок головного сейсмоудару

ту на океанічний шар води (процес усмоктування і декомпресії). Друга стадія — розтікання стовпа поверхнею океану зі швидкістю реактивного лайнера (процес компресії і нагнітання, що реалізується з величезною швидкістю, оскільки наявні високий тиск стовпа води, з одного боку, і практично нульова її в'язкість — з другого). Цей механізм нагадує роботу гігантського насоса (чергування декомпресії і компресії). Хвилі цунамі, зрештою, розбиваються об берегову зону. Саме тут їх величезна руйнівна сила і висота досягають максимуму, особливо вздовж вузьких, поперечних до хвилі, долин й ущелин крутопохилої берегової зони. Оскільки сейсмічні удари повторюються у часі, повторюється у часі і цунамі.

Східно-Індійський хребет, що відіграє роль симаунту, має величезну довжину (тисячі кілометрів). Тому процес високого рівня вивільнення руйнівної сейсмічної енергії може виявитися досить тривалим (безперервно-переривчастим, що нагадує їзду по грудкуватій дорозі), а для багатьох

покоління жителів регіону — практично нескінченним. Отже, бачимо, що геодинамічний аналіз чимало прояснює у механізмі землетрусів.

Однак тільки внутрішніми геодинамічними причинами проблема прогнозу землетрусів аж ніяк не вичерпується. Існує інший, ще більш загадковий, — космічний фактор. Не вдаючись у непрості оцінки реальних космічних умов, відзначимо, що саме їх тригерний (індукційний) вплив на «дозріваючі» потенційні сейсмоосередки регіону може відіграти вирішальну роль у визначенні конкретного часу прояву головного сейсмудару. На жаль, питання це поки що мало розроблене.

Подальші події можуть розвиватися за кількома сценаріями. Інакше кажучи, геодинамічна взаємодія плит може призвести до таких наслідків (у масштабі людського життя).

Сценарій перший. Розклинювання субдукційної щілини відбувається настільки ефективно, що подальша субдукція підводного хребта може виявитися безперешкодною — умова стаціонарного крипу. Режим субдукції нормалізується. Сильні землетруси і цунамі не повторюються.

Сценарій другий. Субдукційна щілина не розклинюється. Субдукція тимчасово припиняється, що спричинює накопичення сейсмогенної пружної енергії та нову катастрофу.

Сценарій третій. Субдукційна щілина оптимізується: періоди стаціонарного крипу чергуються з періодами сейсмічних пароксизмів, не менш потужних, аніж у другому випадку.

Найоптимістичніший сценарій — перший, а найбільш реальний — останній. Природа, як відомо, мудріша від нас і вибирає найраціональніші варіанти подій.

Однак замало вірити у мудрість Природи (мовляв, планетарні катастрофи не трап-

ляються часто). Треба все перевіряти розрахунками. Катастрофічні події сьогодні слід науково прогнозувати, тобто передбачати, а не очікувати пасивно і байдуже удару стихії, готуючись лише до боротьби з її наслідками. Йдеться про глибоке осмислення геодинамічного клімату і геодинамічної погоди з використанням відповідних аналітичних програм. А це може зробити тільки спеціально створений мозковий Геодинамічний центр, що володіє високим науковим потенціалом.

Головне завдання такого Центру — вивчення плитної геодинамічної структури регіону в геологічному минулому і сьогодні, характеру взаємодії плит у просторі і часі тощо. Якби такий Центр існував у Південно-Східній Азії, то катастрофи можна було б або уникнути, або різко мінімізувати її згубні наслідки. Крім того, Геодинамічний центр міг би відіграти важливу роль у прогнозуванні не тільки можливих геокатастроф, а й у пошуку корисних копалин.

Все це актуально і для України — країни, що не одне десятиліття відчуватиме важкі наслідки Чорнобильської глобальної катастрофи. Наша держава перенасичена дуже складною системою дорогих промислових вузлів, транспортних мереж, технологічних центрів і комунікацій. На пильну увагу заслуговують енергосистеми, особливо атомні електростанції. Разом з тим геодинаміка території країни і досі не вивчається системно, що не відповідає європейським стандартам. Міністерству надзвичайних ситуацій України варто було б мати для цього науково-прогностичний відділ. Як свідчить наш досвід поглибленого дослідження геодинаміки України із широким застосуванням новітніх методик, сучасні літосферні плити, які утворюють інфраструктуру території країни і відповідають за геокатастрофи, насправді мають досить обмежені розміри, а кількість їх така знач-

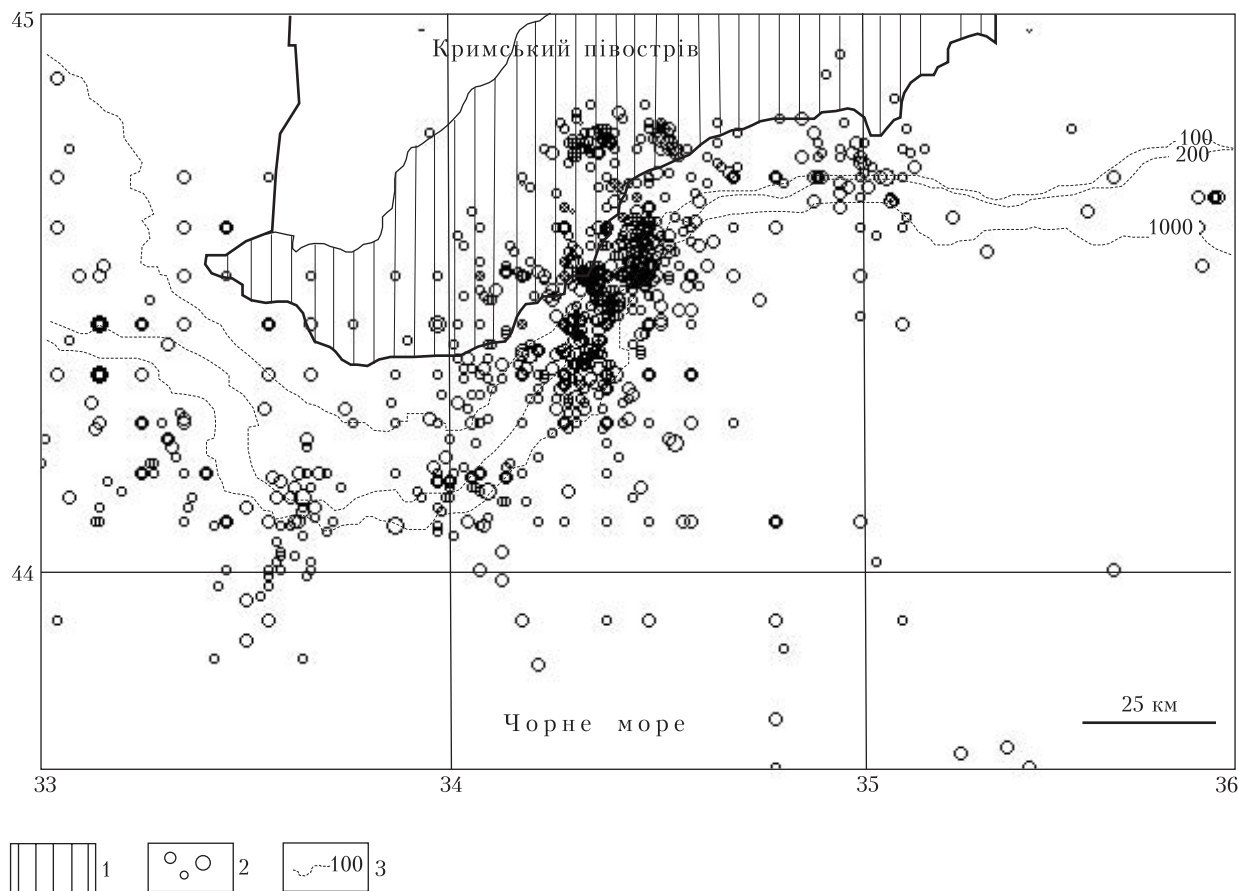


Рис. 9. Потенційна цунамійнебезпека Південного Берега Криму. 1 – Гірський Крим; 2 – епіцентри сейсмоосередків Кримської сейсмофокальної зони; 3 – ізобати у метрах.

на, що взаємодія плит у деяких регіонах, наприклад Кримсько-Чорноморському, нагадує картину торосіння льоду під час льодоходу. Коли десь, навіть, здавалося б, у віддаленому регіоні (Вранча, Загрос, Кіпр тощо) виникають сильні землетруси, система торосіння плит отримує додатковий енергетичний імпульс, при цьому за принципом тригерного впливу спрацьовують давно зріючі потенційні сейсмоосередки, як це не раз уже траплялося.

Особливо не слід забувати про Південний Берег Криму – цю вузьку безцінну рекреаційну смугу, яка зазнає максимального ризику бути зруйнованою місцевими землетрусами і цунами, що ініціюють зсу-

ви, селі та обвали вже за досить незначної магнітуди сейсмоосередку (6,5 бала, виходячи з наслідків найбільшого землетрусу 1927 року).

Тому хочемо привернути увагу вітчизняних науковців та урядовців України: всі три головні компоненти виникнення цунамі, на жаль, існують на Південному Березі Криму (рис. 9). По-перше, це досить енергійна сейсмофокальна зона субдукційної природи з характерною вертикальною амплітудою головного сейсмоудару; по-друге, достатньо потужний шар води, що покриває сейсмоактивну зону (глибина акваторії – до 1–2 км), в якій зароджується цунамі під впливом сейсмоудару; по-третє, досить кру-

топохила, з вузьким шельфом, порізана бухточками і ярами берегова зона. Все це — беззаперечні свідчення не тільки сейсмо-, а й цунамінебезпеки Південного Берега Криму.

Отже, створення Геодинамічного центру, принаймні в рамках Національної академії наук, — завдання номер один для України як цивілізованої європейської держави з потужним інтелектуально-технологічним потенціалом. Це стало б реальним кроком у прогнозуванні не тільки геокатастроф, а й родовищ корисних копалин. Країни ЄС уже давно мають подібні інституції.

1. *Бемеллен В.Р.* Геология Индонезии. — М.: Мир, 1957. — 390 с.
2. *Болт Б.* Землетрясения. — М.: Мир, 1981. — 254 с.
3. *Добрецов Н.Л., Кидряшкин А.Г., Кидряшкин А.А.* Глубинная геодинамика. — Новосибирск, 2001. — 405 с.
4. *Митчелл А., Гарсон А.* Глобальная тектоническая позиция минеральных месторождений. — М.: Мир, 1984. — 492 с.
5. *Паталаха Е.И., Сенченков И.К., Трофименко Г.Л.* Тектоно-геодинамическая эволюция юго-западного форланда Восточно-Европейского кратона и его орогенического обрамления. — К., 2004. — 233 с.
6. Тектоническая карта Евразии. М-6 1:5 000 000 / Гл. ред. А.Л. Яншин. — М., 1967.
7. *Щетников Н.А.* Цунами. — М., 1979. — 90 с.

8. Global tectonics and tectonic regimes. — 1:25 000 000. — 1992.SPT.

9. *Maruyama Sh.* Plume tectonics // J. Geol. Soc. Japan. — 1994. — Vol. 100, N 1. — P. 24–34.

Є. Паталаха, В. Трегубенко

ЦУНАМІ В ІНДІЙСЬКОМУ ОКЕАНІ: ГЕОДИНАМІКА Й УРОКИ ДЛЯ УКРАЇНИ

Резюме

Запропоновано геодинамічну модель найграндіознішого за своїми руйнівними наслідками цунамі в Індійському океані (головний сейсмоудар — 26.12.2004 р.) як на підставі інформації, що надходила з Інтернету, так і за даними класичної геології. Показано, що землетрус, який генерує цунамі, пов'язаний з впливом Східно-Індійського підводного хребта — своєрідного симаунту — на субдукційний процес підсунення Індійсько-Австралійської плити під Зондську острівну дугу.

Ye. Patalakha, V. Tregubenko

TSUNAMI IN THE INDIAN OCEAN: GEODYNAMICS AND LESSONS FOR UKRAINE

Summary

The article represents a geodynamic model of the most enormous destructive tsunami in the Indian Ocean (the main seismic strike occurred on 26.12.2004) based on information from the Internet and classical geology data. It's shown that a tsunami generating earthquake is connected with an influence of Eastern-Indian underwater mountain range on subduction process of Indo-Australian plate drift under Zond insular arch.