

К вопросу о планетарной сейсмической активизации

On the question of the planetary seismic activization

УЛОМОВ В.И.

Главный научный сотрудник Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Valentin.Ulomov@mail.ru

ULOMOV V.I.

Chief scientist of the Institute of Physics of the Earth of the RAS, Moscow

Ключевые слова: планетарная сейсмическая активизация; сейсмическое затишье; землетрясения; извержения вулканов; планетарная сейсмичность; сейсмогеодинамика; литосферные плиты; геодинамическое взаимодействие; сейсмический режим Земли; уровень Мирового океана; синхронизм.

Аннотация: в статье выявляются закономерности в проявлениях глобальной сейсмогеодинамики, анализируется планетарная активизация сейсмичности и ее причины.

Key words: planetary seismic activization; seismic lull; earthquakes; volcanic eruptions; planetary seismicity; seismogeodynamics; lithospheric plates; geodynamic interaction; seismic regime of the Earth; sea level; synchronism.

Abstract: the article identifies some regularities in the global seismogeodynamics development, analyzes the planetary activization of seismicity and its causes.

Введение

В результате изучения развития глобальных сейсмогеодинамических процессов в сейсмическом режиме Земли в период с 1965 по 2010 год были выявлены значительные изменения, заключающиеся в возникновении большого количества крупных землетрясений с моментной магнитудой $M_w \geq 7,0 \pm 0,2$ начиная с середины 1993 года после почти 10-летнего аномального сейсмического затишья в 1982–1993 годах.

Начало 2010 года ознаменовалось целым рядом природных катастроф глобального масштаба. Одно за другим произошли крупнейшие землетрясения на Соломоновых островах (3 января, $M_w = 7,1$), на Гаити (12 января, $M_w = 7,1$), у берегов Чили (27 февраля, $M_w = 8,8$), на границе Калифорнии и Мексики (4 апреля, $M_w = 7,2$), в Китае (13 апреля, $M_w = 6,9$) и в других регионах мира. По магнитуде самым сильным было землетрясение в Чили ($M_w = 8,8$), а по числу человеческих жертв (свыше 270 тыс. погибших) — сейсмическая катастрофа на Гаити.

Землетрясение у побережья Чили сопровождалось цунами и привело к многочисленным разрушениям и человеческим жертвам. Его эпицентр находился в 90 км от крупного города Консепсьон. Магнитуда M_w наиболее сильных повторных толчков (афтершоков) достигала 8,0. Число жертв от цунами было минимальным, поскольку большинство жителей побережья успели укрыться в горах. Это землетрясение

было крупнейшим после Чилийского землетрясения 22 мая 1960 года ($M_w = 9,5$), произошедшего в 230 км южнее.

Мощное землетрясение на Гаити практически полностью разрушило столицу и главный порт страны Порт-о-Пренс. Под развалинами города буквально исчезли густонаселенные кварталы.

К описанным сейсмическим катастрофам добавились два мощных извержения вулканов — в Чили и Исландии. Извержение последнего надолго приостановило деятельность авиационной отрасли многих стран.

Автором настоящей статьи ранее было показано, что увеличение современной геодинамической активности Земли не случайно [5].

В результате изучения особенностей планетарных проявлений сейсмичности в период с 1965 по 2005 год были выявлены значительные изменения в глобальном сейсмическом режиме, заключавшиеся в относительно резком сейсмическом затишье в период с 1982 по 1993 г. (в уменьшении в три раза и более частоты возникновения крупных землетрясений), а начиная с середины 1993 года — в возникновении чрезвычайно большого количества крупных землетрясений с магнитудой $M_w \geq 7,0 \pm 0,2$.

Затишье способствовало накоплению упругой энергии на границах литосферных плит и соответственно последующей активизации глобальных геодинамических процессов, выражающейся в интенсивном взаимодействии литосферных плит Земли.

Этим и были обусловлены описанные выше природные катастрофы.

Причиной землетрясения на Гаити явилась тектоническая подвижка вдоль границы литосферной плиты Наска, погружающейся под Южно-Американскую плиту. Возникновение Чилийского землетрясения было обусловлено резкой подвижкой на границе между Тихоокеанской и Южно-Американской литосферными плитами.

Активизация вулканической деятельности в Исландии приурочена к оси подводного Срединно-Атлантического хребта, являющегося границей между расходящимися Северо-Американской и Евразийской плитами. Вулканическому извержению предшествовало резкое усиление сейсмической активности в районе вулкана.

Совместные исследования особенностей развития сейсмогеодинамических и гидрогеодинамических процессов в планетарном масштабе позволили автору обнаружить синхронизм в изменениях сейсмического режима Земли и уровня водной поверхности Мирового океана [6]. Было также показано, что согласованные сейсмические и гидрологические явления можно объяснить закономерностями в расположении и взаимодействии литосферных плит.

Глобальная упорядоченность сейсмогенерирующих структур

Системный подход к изучению сейсмогеодинамических процессов в литосферной оболочке Земли открывает новые большие возможности в фундаментальных исследованиях различных сторон сейсмических явлений. Основополагающим фактором здесь является глобальная упорядоченность сейсмогенерирующих геологических структур, их энергетики и динамического развития [1, 2, 7].

Сейсмогенерирующие структуры достаточно упорядочены по своим размерам и местоположению (рис. 1). Связь региональной сейсмичности со структурой и динамикой литосферы наиболее ярко выражена в глобальном

масштабе и обусловлена сейсмогеодинамическими взаимодействиями между литосферными плитами. Самыми активными в сейсмическом отношении являются конвергентные (сходящиеся) структуры, представленные дугообразными границами по периферии океанов (зонами субдукции, где одна плита погружается под другую), а также их реликтами на континентах.

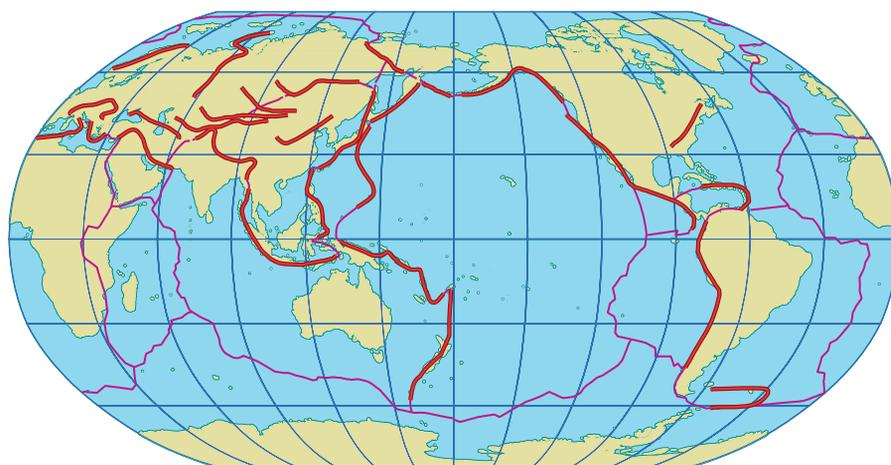
Среднестатистическая протяженность каждого из конвергентных регионов мира составляет около 3000 км. Размеры этих областей и их пространственное распределение имеют самое непосредственное отношение к величине максимально возможных в их пределах магнитуд землетрясений, что чрезвычайно важно для оценки сейсмической опасности и сейсмического районирования сейсмоактивных регионов.

Не менее важным является и то, что каждый из таких регионов характеризуется свойственными ему внутренней структурой и повторяемостью землетрясений с разными магнитудами, что отражает установившийся в нем своеобразный сейсмогеоценоз (понятие «сейсмогеоценоз» было введено автором этих строк в 1991–1997 годах для адекватной магнитудной параметризации региональных сейсмогенерирующих структур при сейсмическом районировании Северной Евразии).

Выявленная упорядоченность регионов говорит о регулярности не только в системах тектонических разломов и геоблоков, но и в иерархии очагов землетрясений. Очаги, ранжированные по интервалам в 0,5 единицы магнитуды, закономерно распределены не только во времени, но и в пространстве. А чем крупнее землетрясения, тем дальше друг от друга расположены их очаги.

Среднестатистические размеры (протяженность) очагов землетрясений, ранжированных по 0,5 единицы магнитуды, и расстояния между эпицентрами ближайших пар очагов одного ранга изменяются с каждым шагом в $M_s = 0,5$ примерно в 2 раза. Например, протяженность очагов землетрясений с магнитудой $M_s = 6,5$ составляет примерно 25 км, с $M_s = 7,0$ – 50 км, с $M_s = 7,5$ – 100 км, с $M_s = 8,0$ – 200 км и т.д. (магнитуда M_s определяется по поверхностным сейсмическим волнам). При этом величины преимущественных межэпицентральных расстояний, обусловленные размерами соответствующих геоблоков, примерно в 4 раза превышают размеры сейсмических очагов, а отношения этих величин друг к другу не зависят от магнитуды, отражая тем самым самоподобие (фрактальность) в иерархии размеров взаимодействующих геоблоков и очагов землетрясений.

Ярко выраженная упорядоченность наблюдается и в повторяемости землетрясений. Чем выше их магнитуда, тем реже они возникают. С ее уменьшением число сейсмических событий воз-



— конвергентные границы литосферных плит (оси зон современной и древней субдукции)
— дивергентные границы литосферных плит (оси растяжения океанической литосферы)

Рис. 1. Глобальная упорядоченность сейсмоактивных регионов мира [2]

растает в геометрической прогрессии. Частота возникновения землетрясений с разными магнитудами определяет глобальный сейсмический режим, который, в свою очередь, обусловлен структурой сейсмоактивных регионов и особенностями пространственно-временного и энергетического развития глубинных сейсмогеодинамических процессов. Изменения сейсмического режима нередко проявляются в виде относительных сейсмических затиший и возникающей после них сейсмической активизации. Обнаруживаются волнообразные региональные и глобальные флуктуации, обусловленные синергетическими явлениями в планетарной сейсмогеодинамике [1, 2].

Как показывают исследования, иерархическая фрактальная структура

литосферы обуславливает ее особую реакцию на деформационные воздействия [1, 3]. Если эти воздействия слабые, то сейсмический режим почти стационарен и характеризуется хаотическим возникновением слабых землетрясений. При увеличении вынуждающих сил сейсмогеодинамическая система переходит в качественно новое и более организованное состояние. На макроскопическом уровне возникает самоорганизация, обусловленная взаимодействием иерархии геоблоков, очагов землетрясений и деформационных процессов. В результате формируются деформационные волны — геоны, имеющие солитонную природу и распространяющиеся в межблочных швах фрактально построенной литосферы. Эти волны играют существенную роль

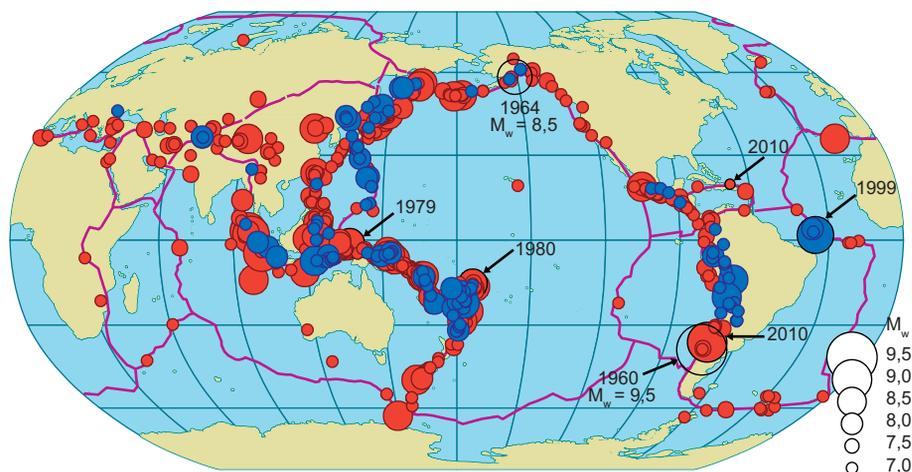


Рис. 2. Эпицентры крупнейших землетрясений Земли за период с января 1996 г. по апрель 2010 г. Градация землетрясений по магнитуде показана справа внизу. Красным цветом окрашены очаги, расположенные на глубине до 70 км, синим цветом — глубже 70 км. Год возникновения указан лишь у тех землетрясений, которые упоминаются в тексте. Окружностями околнурены очаги землетрясений на Аляске (1964 г.) и в Чили (1960 г.). Тонкие красные линии — границы между литосферными плитами

в направленности пространственно-временного и энергетического развития сейсмогеодинамических процессов.

Глобальные изменения сейсмического режима Земли

Сейсмический режим отдельных регионов Земли и планеты в целом обычно изображается в виде графиков повторяемости землетрясений с различными магнитудами, а при изучении развития сейсмических процессов во времени нередко рассматривается общее количество или суммарная энергия всех произошедших землетрясений. Такое интегральное представление о сейсмическом режиме нивелирует природные особенности и не позволяет выявлять закономерности в его пространственно-временном и энергетическом развитии.

Полученные автором результаты основаны на методологическом подходе к изучению сейсмогеодинамического режима, в котором поток сейсмических событий анализируется не интегрально, а дифференциально — по интервалам магнитуд, отражающим природу геодинамики иерархической разломно-блоковой структуры геологической среды [3, 7]. В данном случае объектами исследований явились после-

довательности возникновения крупных землетрясений, дифференцированных по интервалам магнитуд ($M = 7,0 \pm 0,2$; $M = 7,5 \pm 0,2$; $M = 8,0 \pm 0,2$; $M \geq 8,5 \pm 0,2$), в период с 1965 по 2005 год на всем земном шаре. Местоположение очагов землетрясений с такими магнитудами, произошедших на Земле за период с 1996 года по настоящее время, иллюстрирует рис. 2.

На рис. 3 приведены кумулятивные графики, характеризующие скорость накопления во времени сейсмических событий планеты в рассматриваемых интервалах магнитуд. Следует подчеркнуть, что часть рис. 3, как и рис. 2, за период 1996–2005 годов была опубликована в 2007 году [5, 6]. Здесь же эти рисунки пополнены информацией о землетрясениях, произошедших с 1996 года по апрель 2010 года. Как видно, абсолютно все сейсмические события последних лет подтверждают обнаруженную в 2007 году планетарную сейсмическую активизацию. Например, землетрясение в Чили с $M = 8,8$, как и другие крупные события такого рода, четко вписалось в соответствующую ему последовательность.

Вдоль горизонтальной оси на рис. 3 отложены порядковые номера землетрясений (n) во временной последовательности их возникновения, а по оси орди-

нат — время их возникновения (t , годы). Интервал времени относительного сейсмического затишья (с середины 1992 года до середины 1993 года) выделен горизонтальными пунктирными линиями. 1–4 — это условные номера групп землетрясений с разными магнитудами с очагами на глубине до 70 км включительно. (1)–(4) — то же самое для очагов глубже 70 км. Группа 4 показана на графике не полностью, чтобы чрезмерно не увеличивать размер рисунка, хотя и в этой группе в вышеуказанном интервале времени наблюдается аналогичное сейсмическое затишье.

Углы наклона аппроксимирующих прямых (которые на рис. 3 показаны тонким пунктиром) характеризуют среднюю скорость накопления сейсмических событий с соответствующими магнитудами. Чем больше графики накопления событий, тем чаще возникают соответствующие землетрясения. Увеличение крутизны отражает уменьшение частоты возникновения землетрясений с ростом магнитуд.

Если бы землетрясения возникали ритмично, то есть с одинаковой частотой в каждой из последовательностей, то абсолютно все моменты времени их возникновения располагались бы строго на соответствующих прямых линиях. Тогда можно было бы предсказывать очередные землетрясения с более высокой степенью точности. В реальности же отклонения в сейсмическом режиме обусловлены нелинейным развитием геодинамических процессов вследствие сложных взаимодействий между блоками земной коры и всей литосферы, влияющих на напряженно-деформированное состояние среды и соответственно на проявления сейсмичности. Аналогичная картина наблюдается не только на глобальном уровне, но и в региональных масштабах и во внутриочаговых процессах.

Анализ конфигурации дифференциальных (интервальных) графиков накопления сейсмических событий позволил обнаружить определенные особенности развития глобальных сейсмогеодинамических процессов во времени. Прежде всего это относится к существенному замедлению возникновения землетрясений в течение примерно 11-летнего промежутка времени (ограниченного на рис. 3 горизонтальным пунктиром) — с середины 1982 года до середины 1993 года. Как видно, смена скорости накопления событий в рассматриваемых интервалах магнитуд произошла довольно быстро, что выражается в четком изломе всех графиков на концах аномального участка в интервале времени 1982,5–1993,5 гг. Причем как до, так и после обнаруженного сейсмического затишья частота возникновения землетрясений была не только значительно выше, но и сохраняла практически одну и ту же скорость накопления сейсмических событий.

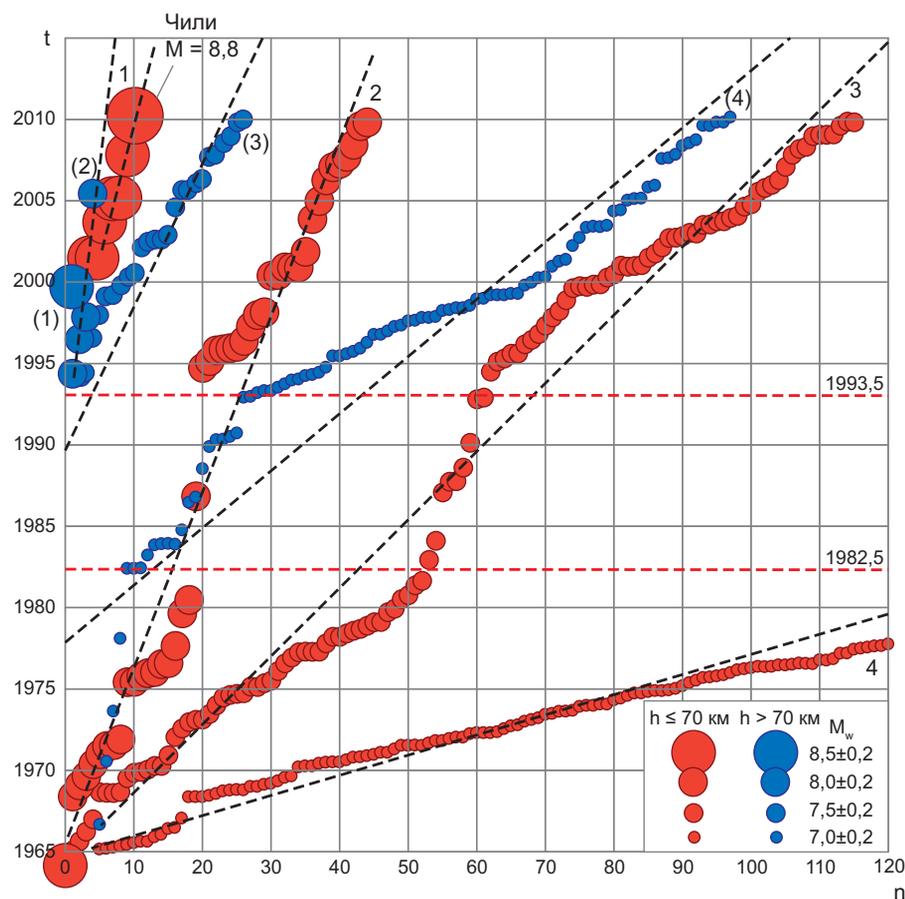


Рис. 3. Графики накопления количества землетрясений разных магнитуд, произошедших в период t после 1965 г. по апрель 2010 г. Как видно, землетрясение в Чили с $M = 8,8$, как и другие сильные землетрясения, «уложилось» в соответствующую ему последовательность. Большим кружком в начале координат помечено землетрясение на Аляске с $M_w = 8,5$ в 1964 г.

С целью сравнения частоты возникновения землетрясений с рассматриваемыми магнитудами в таблице, опубликованной в 2007 году [5, 6], показано число событий за равные 11-летние интервалы времени до сейсмического затишья, в период затишья и после него. При этом отсчет ведется от середины года (как в аномальный период сейсмического затишья). Как видно, в интервале 1982,5–1993,5 гг. землетрясения с $M = 7,0 \pm 0,2$ и $M = 7,5 \pm 0,2$ возникали в 3–4 раза реже, а с $M = 8,0 \pm 0,2$ — не менее чем в 10 раз реже по сравнению с предыдущими и последующими 11-летними интервалами. Самые крупные сейсмические события с $M \geq 8,5 \pm 0,2$, вообще отсутствовавшие в двух первых интервалах, начиная с 2001 и по 2006 год начали происходить практически ежегодно (см. левый верхний угол рис. 3). В их числе — катастрофические землетрясения у берегов Суматры 26 декабря 2004 года ($M = 8,8$) и 28 марта 2005 года ($M = 8,5$), сопровождавшиеся гигантскими цунами и многочисленными жертвами. До этого момента таким же крупным в земном шаре было землетрясение с $M = 8,5$ на Аляске в 1964 году (см. рис. 2 и 3), после которого фактически и начался рассматриваемый период времени.

Другим не менее важным обстоятельством является то, что глубокофокусная ($h > 70$ км) сейсмическая активность возникла практически сразу же после всеобщего затишья мелкофокусной ($h \leq 70$ км). При этом землетрясения с магнитудой $M \geq 7,5 \pm 0,2$ до момента этого «перелома» вообще не наблюдались, после него возникло сразу 12 землетрясений с $M = 7,5 \pm 0,2$, 4 — с $M = 8,0 \pm 0,2$ и 1 — с $M = 8,8$. Последнее было уникальным по величине магнитуды и случилось в 1999 году в Атлантическом океане на глубине около 90 км у восточных берегов Южной Америки (см. рис. 2). Как видно на рис. 3, глубокофокусные землетрясения с $M = 7,0 \pm 0,2$ происходили очень и очень редко вплоть до начала активной стадии. Так, если с середины 1993 года и позже они возникали почти по 5 раз в год, то в период затишья их частота была в 2,5 раза ниже.

Природа планетарных изменений сейсмического режима может быть объяснена с позиции представлений о глобальной геодинамике литосферных плит, наиболее ярким проявлением которой является сейсмичность. Так, события с глубиной очагов $h > 70$ км непосредственно связаны с погружением литосферных плит в верхнюю мантию Земли в зонах субдукции, в островных дугах на периферии океанов, а также в реликтах таких зон на континентах, например в Восточных Карпатах, в центральном Каспии, на северо-западном и юго-восточном окончаниях Гималаев (в Афганистане и Мьянме). Очаги землетрясений, расположенные на глубине

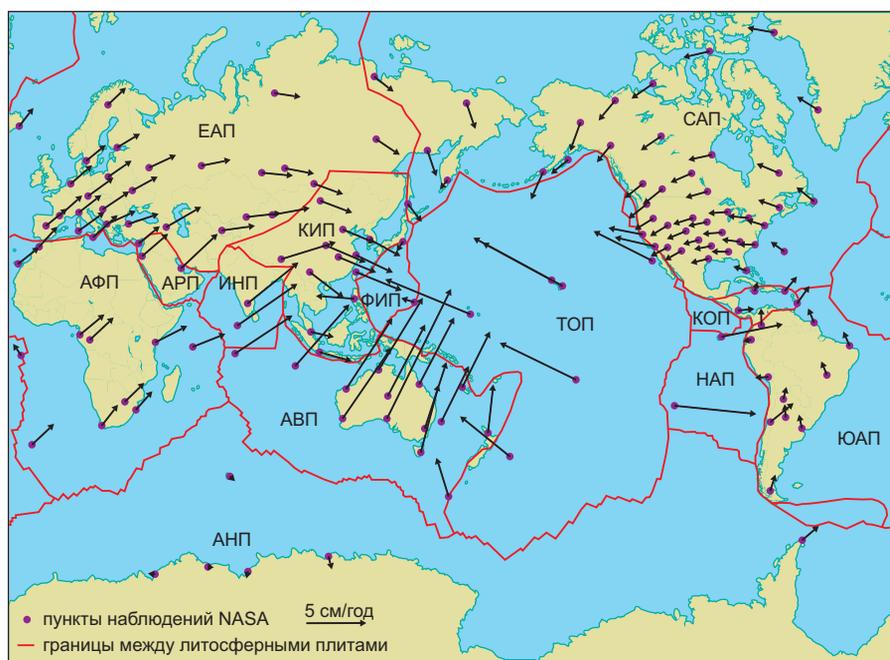


Рис. 4. Современные горизонтальные перемещения литосферных плит (стрелки), выявленные по данным GPS-измерений NASA в пунктах наблюдений на континентах и островах. Литосферные плиты: ЕАП — Евроазиатская, САП — Северо-Американская, ТОП — Тихоокеанская, АФП — Африканская, АРП — Аравийская, ИНП — Индийская, КИП — Китайская, АВП — Австралийская, ФИП — Филиппинская, ЮАП — Южно-Американская, КОП — плита Кокос, НАП — плита Наска, АНП — Антарктическая плита. Масштаб скорости перемещений указан слева внизу

$h < 70$ км, распространены на континентах и в узких океанических рифтовых зонах раздвигания литосферных плит. Вместе с тем возникновение как мелких, так и глубоких сейсмических очагов обусловлено единым сейсмогеодинамическим процессом, охватывающим всю планету в целом.

Сейсмогеодинамика и гидрогеодинамика Земли

Выполненные автором ранее комплексные исследования региональных

изменений сейсмического режима Прикаспийского региона и уровня Каспийского моря и сопоставление глобального сейсмического режима с изменениями уровня Мирового океана (УМО) (по данным работы [8]) позволили выявить закономерности, подтверждающие общую глубинную природу этих явлений [6].

Оказалось, что резкая смена знака изменения УМО приходится на начало 80-х годов прошлого века, а самая высокая скорость его снижения практически совпадает с 1982–1983 годами,

Таблица

Количество землетрясений с разными магнитудами в течение 11-летних периодов времени до, во время и после сейсмического затишья 1982,5–1993,5 гг.				
Период времени по отношению к сейсмическому затишью	Количество землетрясений с магнитудой			
	7,0	7,5	8,0	8,5
Глубина гипоцентров $h \leq 70$ км				
1993–2005 гг.	141	39	17	4
1982–1993 гг.	40	9	1	0
1971–1982 гг.	111	36	12	0
Глубина гипоцентров $h > 70$ км				
1993–2005 гг.	53	12	4	1
1982–1993 гг.	22	0	0	0
1971–1982 гг.	2	0	0	0

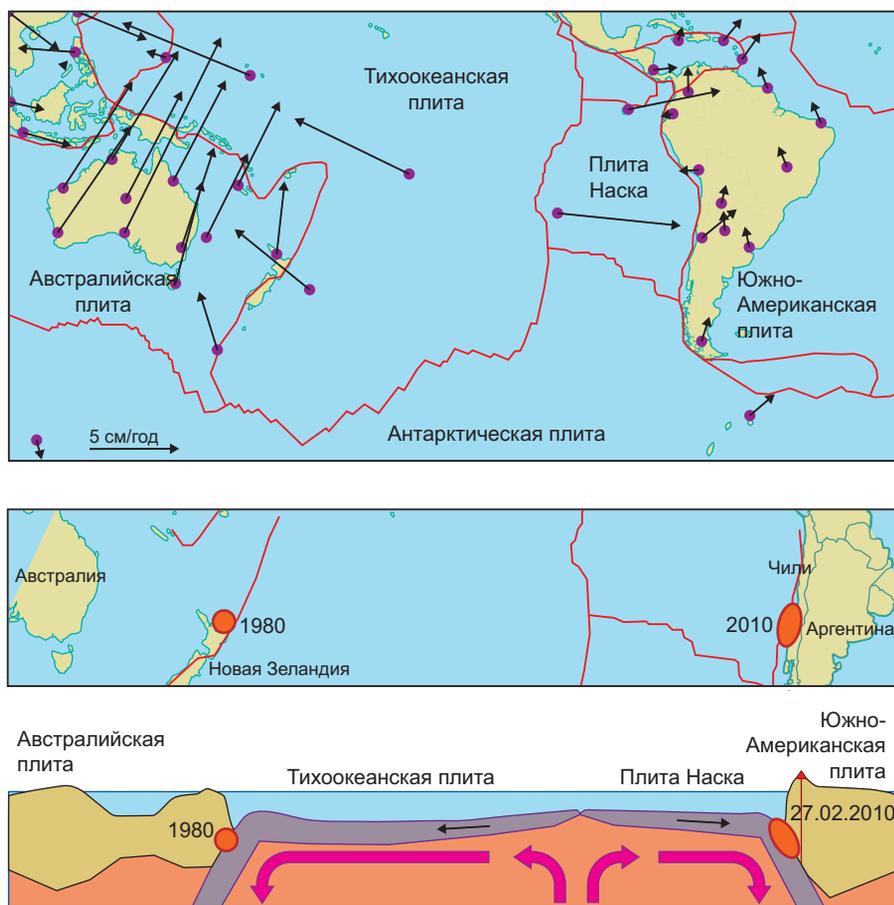


Рис. 5. Движения литосферных плит в южной части Тихого океана. Вверху — фрагмент глобальной геодинамики (см. рис. 4); в центре — полоса территории от Австралии до Южной Америки, вдоль которой выполнен вертикальный разрез литосферы и верхней мантии Земли (внизу). Показаны очаги землетрясений у берегов Новой Зеландии и Чили. Справа условно показано местоположение действующего вулкана Льяйма на юге Чили

то есть с началом быстрого уменьшения общей сейсмической активности Земли. При этом столь быстрый спад УМО последовал сразу же после двух крупных землетрясений, произошедших в юго-западной (индонезийской) части Тихого океана в 1979 и 1980 годах и завершивших собой продолжительный ряд аналогичных событий перед сейсмическим затишьем 1982–1993 годов. Почти идентичные изменения уровня поверхности воды наблюдались в то же самое время и в другом водном бассейне, на этот раз замкнутом, — в Каспийском море, своеобразно моделирующем Мировой океан [4].

Любопытно также, что начиная с середины 1993 года, то есть с момента начала глобальной сейсмической активизации, самые выразительные изменения УМО наблюдались в западной части Тихого океана и между Австралией и Новой Зеландией (рис. 4), в регионе, который с сейсмологической точки зрения является средоточием наиболее ярких проявлений сейсмогеодинамики литосферных плит, устремляющихся со всех сторон к его центру (где литосфера Земли как бы стекается

в эту гигантскую «воронку» Индостан–Тихоокеанского бассейна).

Рисунок 5 иллюстрирует перемещение литосферных плит в южной части Тихого океана. В верхней части рисунка приведен фрагмент глобальной геодинамики. В центре показана полоса территории от Австралии до Южной

Америки. Вдоль нее выполнен вертикальный разрез литосферы и верхней мантии Земли, приведенный в нижней части рисунка. Здесь розовыми стрелками показано движение мантийного вещества под действием тепловой конвекции в недрах Земли. Восходящий поток раздвигает литосферные плиты, которые наращиваются веществом мантии и «расползаются» в разные стороны, вновь погружаясь в мантию в зонах субдукции в районе Новой Зеландии и у берегов Чили, где произошли землетрясения 1980 и 2010 годов и начал извергаться вулкан.

Непрерывно перемещаясь, литосферные плиты не только скачкообразно сдвигаются на тех или иных своих участках, порождая очаги землетрясений, но и медленно деформируются, изгибаются, прогибаются и воздымаются, тем самым воздействуя на водную толщу Мирового океана.

Выводы

Планетарная сейсмическая активизация, возникшая в 1993–1994 годах, продолжается и в настоящее время. Начало 2010 года не случайно ознаменовалось целым рядом природных катастроф глобального масштаба. Все эти события — землетрясения и извержения вулканов — приурочены к границам литосферных плит и обусловлены их интенсивным геодинамическим взаимодействием (хотя, конечно, на эти глобальные изменения воздействует большое количество и других различных по своей природе факторов). Совместные исследования особенностей развития сейсмогеодинамических и гидрогеодинамических процессов в планетарном масштабе позволили обнаружить синхронизм в изменениях сейсмического режима Земли и в уровне Мирового океана. Не исключено также, что с этими планетарными процессами и явлениями связаны и глобальные изменения климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уломов В.И. Волны сейсмогеодинамической активизации и долгосрочный прогноз землетрясений // Физика Земли. 1993а. № 4. С. 43–53.
2. Уломов В.И. Глобальная упорядоченность сейсмогеодинамических структур и некоторые аспекты сейсмического районирования и долгосрочного прогноза землетрясений // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 1. М.: ИФЗ РАН, 1993б. С. 24–44.
3. Уломов В.И. Моделирование зон возникновения очагов землетрясений на основе решеточной регуляризации // Физика Земли. 1998. № 9. С. 20–38.
4. Уломов В.И. Объемная модель динамики литосферы, структуры сейсмичности и изменений уровня Каспийского моря // Физика Земли. 2003. № 5. С. 5–17.
5. Уломов В.И. О глобальных изменениях сейсмического режима Земли в период 1965–2005 гг. // Доклады Академии наук. Геофизика. 2007. Т. 414. № 3. С. 398–401.
6. Уломов В.И. О глобальных изменениях сейсмического режима и уровня водной поверхности Земли // Физика Земли. 2007. № 9. С. 3–17.
7. Уломов В.И. Решеточная модель очаговой сейсмичности и прогноз сейсмической опасности // Узбекский геологический журнал. 1987. № 6. С. 20–25.
8. Antonov J.I., Levitus S., Boyer T.P. Thermohaline sea level rise, 1955–2003 // Geophysical Research Letters. 2005. V. 32. № 12 (June 16). L12602. Doi:10.1029/2005GL023112.

В сентябре 1999 года на Тайвань обрушилось землетрясение, ставшее одним из сильнейших на острове в 20-ом веке. Ученые предупреждали о возможности его возникновения еще в марте того года, однако к предостережениям не прислушались. Первые толчки силой 7, 6 баллов по шкале Рихтера произошли 21 сентября и продолжались в течение дня. Последствием стала гибель 2 тысяч 378 человек и разрушение 40 с лишним тысяч домов.

GeoРиск

