

УДК 550.8:551.211

Е.В. Архипова¹, Г.В. Брянцева², А.Д. Жигалин³**ВЗАИМОСВЯЗЬ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ И ТАЙФУНОВ В РАЙОНЕ ФИЛИППИНСКОЙ ПЛИТЫ КАК РЕЗУЛЬТАТ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ГЕОСФЕР***Государственный университет «Дубна», 141980, Московская обл., Дубна, ул. Университетская, 19**ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,**119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1**ФГБУН «Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН», 123242, Москва, ул. Большая Грузинская, 10, стр. 1**State University «Dubna», 141980, Moscow region, Dybna, Universitetskaya st., 19**Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1**Schmidt Earth Physics Institute RAS, Bolshaya Gruzinskaya st., 10, bd. 1*

Филиппинская литосферная плита находится на пересечении зон интенсивного влияния геосистем, ответственных за эволюцию различных оболочек Земли, и представляет собой один из наиболее опасных районов земного шара. В основе исследования временных вариаций природных катастроф в конце XX — начале XXI в. лежит предпосылка о взаимосвязи сильных землетрясений, извержений вулканов и тропических атмосферных вихрей на участках комплексной высокой нестабильности геосфер.

Ключевые слова: Филиппинская плита, природные катастрофы, сильные землетрясения, сейсмичность, извержения вулканов, атмосферные вихри, тайфуны.

The Philippine lithospheric plate is located at the intersection of the zones of intense influence of geosystems responsible for the evolution of the Earth's outer shells, and is one of the most dangerous regions of the globe. The study of temporal variations of natural disasters at the end of the 20th — beginning of the 21st century is based on lies the premise of the relationship of strong earthquakes, volcanic eruptions and tropical atmospheric eddies in areas of complex high instability of geospheres.

Key words: Philippine plate, natural disasters, strong earthquakes, seismicity, volcanic eruptions, atmospheric eddies, typhoons.

Введение. Район Филиппинского окраинного моря — сегмент Тихого океана, где происходит наложение сфер влияния двух крупнейших геосистем, одна из которых реализует поглощение океанической коры Тихоокеанской впадины в зонах субдукции, а другая отвечает за атмосферную циркуляцию и генерацию океанических течений в приповерхностном слое водной толщи Тихоокеанского бассейна в Северном полушарии. В зоне суперпозиции этих геосистем возникает множество стихийных бедствий, связанных как с геодинамическими, так и с атмосферными процессами.

Множество геологических процессов, в том числе опасных и катастрофических, протекает при участии всех трех смежных геосфер — литосферы, поверхностной или подземной гидросферы, атмосферы. В основе исследования лежит предположение о возможной взаимосвязи природных катастроф, таких, как сильные землетрясения, извержения вулканов и тропические тайфуны в районе комплексной высокой нестабильности геосфер. В статье приведены результаты комплексного ана-

лиза факторов, под влиянием которых происходит развитие района Филиппинской плиты, включая эндогенные и экзогенные геологические процессы, перемещение воздушных и водных масс в поверхностном слое. На основе открытых баз данных о сейсмичности, вулканизме и распространении тропических циклонов выполнено построение временных рядов числа сильных землетрясений, извержений вулканов и тайфунов в период с 1983 по 2020 г., сопоставлены и рассмотрены особенности их вариаций во времени.

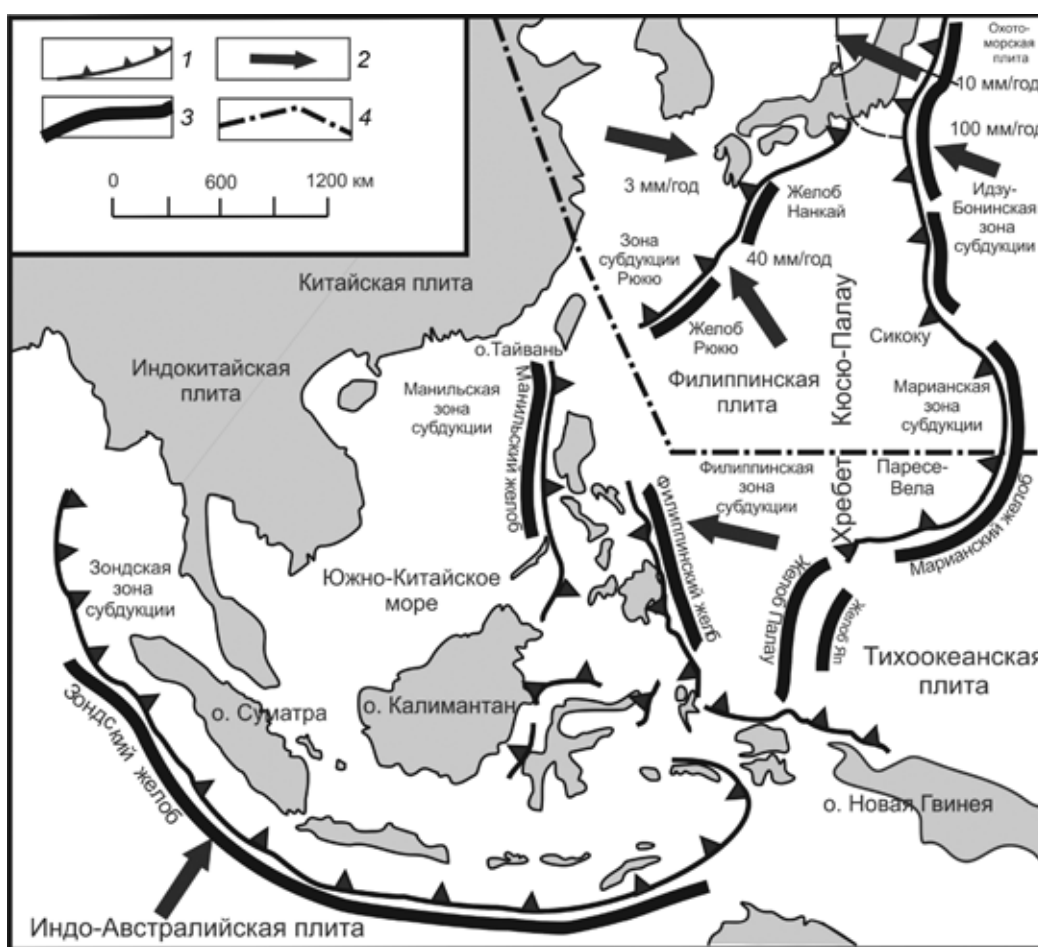
Геологическое строение и современный геодинамический режим в районе Филиппинской литосферной плиты. Филиппинская литосферная плита со всех сторон ограничена зонами субдукции и обрамлена вулканическими островными дугами и глубоководными желобами (рис. 1). Плита пододвигается под расположенную на западе Филиппинскую островную дугу, которую составляют о. Тайвань и Филиппинский архипелаг. Со стороны Южно-Китайского моря этот архипелаг окаймлен цепочкой глубоководных желобов, один из них —

¹ Государственный университет «Дубна», факультет естественных и инженерных наук, кафедра экологии и наук о Земле, доцент, канд. геол.-минер. н.; e-mail: olenageo@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии, доцент, канд. геол.-минер. н.; e-mail: bryan.bryan@yandex.ru

³ Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, вед. науч. с.; канд. геол.-минер. н.; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, кафедра инженерной и экологической геологии, вед. науч. с.; e-mail: zhigalin.alek@yandex.ru

Рис. 1. Схема строения и основных тектонических взаимодействий литосферных плит в районе Филиппинского моря, по [Жигалин и др., 2018]): 1 — зоны субдукции; 2 — направление движения литосферных плит; 3 — глубоководные желоба; 4 — положение глубинного геолого-геофизического разреза, показанного на рис. 2, по [Родников и др., 2014])



Манильский с глубиной до 5400 м. Для Манильского желоба характерна высокая сейсмическая и вулканическая активность, один из наиболее известных влк Пинатубо. Со стороны Филиппинского моря архипелаг обрамлен Филиппинским желобом с протяженностью 1320 км, максимальная глубина которого достигает отметки 10 540 м.

Земная кора в районе Филиппинского архипелага испытывает интенсивные современные деформации, поскольку с двух сторон зажата противоположно наклоненными зонами субдукции. Падающие под архипелаг западная и восточная зоны сопровождаются стратовулканами, действующими с плиоцена по настоящее время. Скорость конвергенции между Филиппинской островной дугой и литосферой Южно-Китайского моря в районе Манильского желоба по данным GPS на различных участках составляет от 20 до 50 мм/год. Плита Филиппинского моря пододвигается под Филиппинскую островную дугу со средней скоростью около 16 мм/год [Сейсмичность ..., 2020].

К западу обрамление Филиппинской плиты включает серию желобов и зон субдукции. Бассейн Филиппинского моря разделен на две части вулканической дугой хребта Кюсю-Палау (рис. 1). На западе от нее расположена Западно-Филиппинская котловина с глубиной до 6 км и мощностью океанической коры до 7 км. К востоку от

дуги расположены две глубоководные котловины. Мощность коры в пределах Филиппинского моря меняется от 7–10 км в глубоководных котловинах до 15–20 км в пределах Марианской островной дуги и островной дуги Окинава. Осадочный чехол имеет мощность до нескольких сотен метров и более, представлен осадочными и вулканогенно-осадочными породами, которые выполняют отдельные глубоководные впадины (рис. 2) [Литосфера..., 2020].

Идзу-Бонинская вулканическая дуга ограничивает котловину Сикоку с востока и на севере образует тройное сочленение с сегментами Японской островной дуги. На юге дуга разделяется на остаточную и действующую вулканические дуги, между которыми находится Западно-Марианская котловина с глубиной до 4 км. Это одна из самых молодых дуг, в ее осевой части, в пределах рифтовой зоны, установлена гидротермальная активность.

Марианская дуга образовалась в эоцене, а в миоцене и плейстоцене здесь отмечено два периода усиления вулканической активности. С запада ее окаймляет самый глубокий в мире Марианский желоб с максимальной отметкой 11 022 м. Зона Беньофа от желоба прослежена до глубины 680 км [Хаин, Лимонов, 2004].

Сейсмичность. Филиппинская литосферная плита и ее обрамление, по существу, представля-



Рис. 2. Геотраверс Северо-Китайская равнина–Филиппинское море: 1 — континентальная кора; 2 — океаническая кора; 3 — верхняя мантия; 4 — разломы; 5 — границы между слоями, проведенные по сейсмическим данным (а — достоверные, б — предполагаемые); 6 — направление движения геологических структур; 7 — водный слой (упрощенно, по [Родников и др., 2014])

ют собой сложно деформированный буфер в зоне встречного движения Евразийской и Тихоокеанской мегаплит. Высокая скорость их сближения и наличие зон субдукции обеспечивают исключительно высокую сейсмическую и вулканическую активность этого района.

В районе Филиппинской плиты (0–30° с.ш. и 110–170° в. д.) за период с 1990 по 2020 г. произошло 617 сильных сейсмических событий с $M \geq 6$ в диапазоне глубины от 0 до 664 км (рис. 3) [Мировой..., 2020]. События приурочены главным образом к сейсмофокальным зонам, которые сопряжены с вулканическими островными дугами и глубоководными желобами.

Тепловой режим и вулканизм. Для района Филиппинского моря характерен относительно более высокий тепловой поток, обусловленный высоким положением астеносферного слоя [Литосфера..., 2020]. Под Марианским трогом, образованным 6 млн лет назад, астеносфера близка к коре, под миоценовой котловиной Паресе-Вела она находится на глубине 30 км, а под эоценовой Западно-Филиппинской котловиной расположена на глубине 50–80 км [там же].

В наиболее древней Западно-Филиппинской котловине среднее значение теплового потока составляет 62 ± 38 мВт/м² [Hobart et al., 1983]. Максимальные значения до 2000 мВт/м² установлены в Марианском трого [Hilde, Uyeda; 1983]. В бассейне Паресе-Вела средние значения теплового потока выявлены на западе 33 ± 21 , на востоке — 76 ± 21 мВт/м² [Родников и др., 2014].

Вулканическая активность в районе Филиппинского моря, так же, как и сейсмичность, приурочена главным образом к островным дугам, обрамляющим Филиппинскую плиту. В пределах островных дуг и котловины Филиппинского моря

обнаружены также отдельные проявления подводного вулканизма [Родников и др., 2014]. За период с 1983 по 2020 г. по данным базы данных о вулканических извержениях Смитсоновского института в этом районе зарегистрировано 161 вулканическое извержение [Global..., 2020] (рис. 4).

В рамках международного проекта «Геотраверс» в 1987 г. в ходе наблюдений с использованием глубоководного аппарата «ALVIN» в центральной части Марианского трого обнаружено множество зон эманаций флюидов, разогретых до 285 °С [Hobart et al., 1983].

Циклоническая активность. Наряду с высокой эндогенной активностью район Филиппинского моря — один из наиболее подверженных воздействию тропических тайфунов (рис. 5). За рассматриваемый период с 1983 по 2019 г. в его пределах перемещалось 889 атмосферных вихрей со скоростью ветра до 50 м/с. Вихри зарождаются в приэкваториальной зоне на широте от 0 до 20° и перемещаются в сторону континента в западном направлении, а затем разворачиваются и мигрируют вдоль побережья на север и северо-восток (рис. 5).

Сравнительный анализ вариаций сильных землетрясений, вулканических извержений и тайфунов. Для выявления общих для региона тенденций проведен сравнительный анализ временных вариаций катастрофических событий в районе Филиппинской плиты, включая сильные землетрясения с $M \geq 6$, вулканические извержения, а также атмосферные вихри со скоростью ветра более 18 м/с.

Анализ активности сильных сейсмических событий включал расчет временных рядов годовых сумм землетрясений со скользящим осреднением за 5 лет и сдвигом в 1 год. По данным анализа временных рядов годовых сумм в периоде с 1983

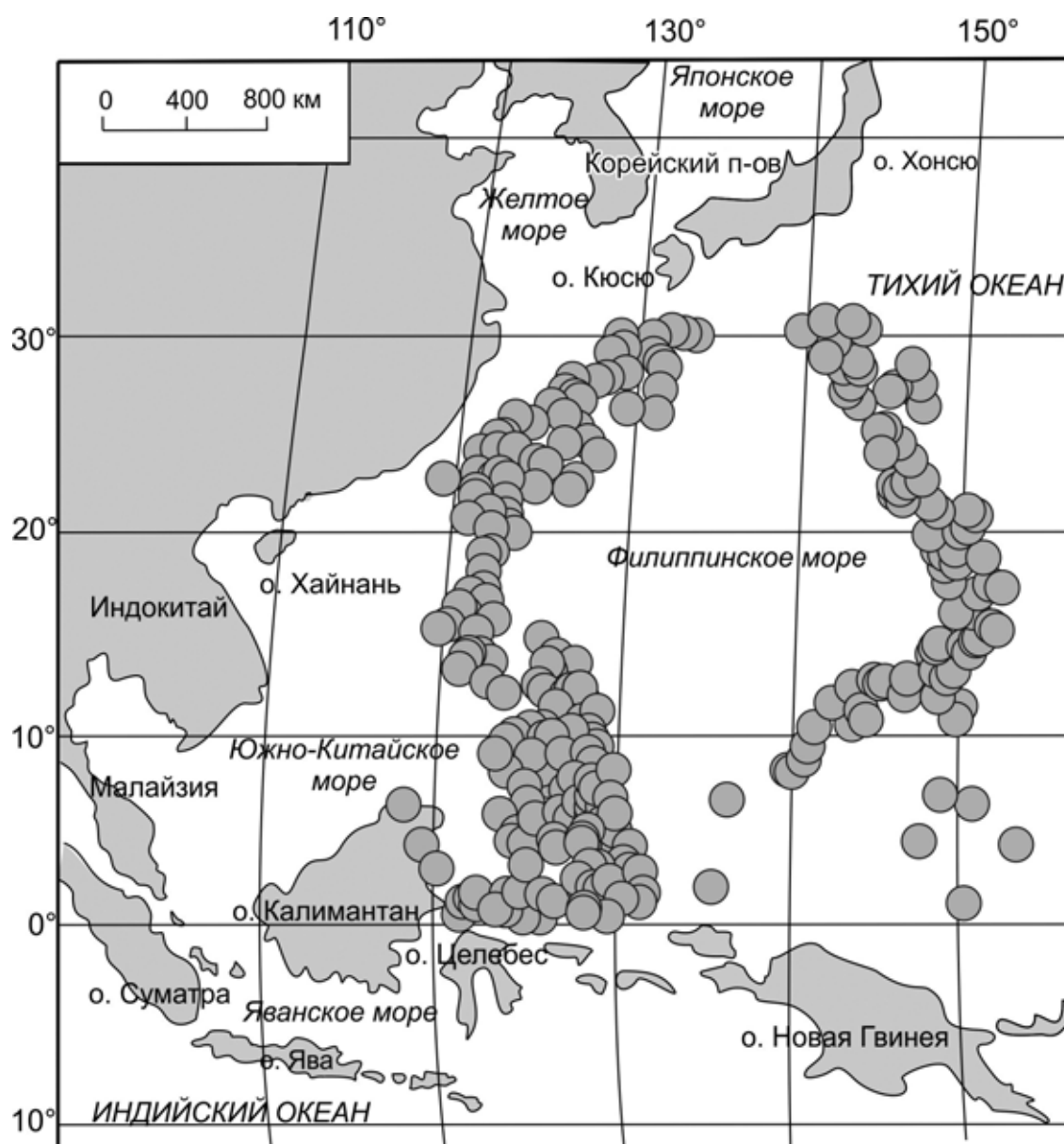


Рис. 3. Распределение эпицентров землетрясений с $M \geq 6$ в районе Филиппинской литосферной плиты за период с 1983 по 2020 г. Кружки — эпицентры землетрясений (по данным USGS [Мировой каталог..., 2020])

по 2020 г. для сильных событий выделяется 4 наиболее заметных максимума: 1) 1990 г.; 2) 1995, 1996 гг.; 3) 2009, 2010 гг.; 4) 2019, 2020 гг. Наиболее выражены два интервала высокой активности в 1993–1998 гг. и в 2007–2011 гг., и при этом более контрастен максимум в 1995 г., когда произошло 34 землетрясения с $M \geq 6$. На графике, отражающем плавные флуктуации активности сильных землетрясений, отмечена тенденция к общему снижению активности (рис. 6).

Анализ временного хода годовых сумм вулканических извержений показал, что ежегодное число вулканических событий в этом районе изменялось от 1 до 9. Максимально активными в плане вулканизма оказались 1989, 2003 и 2006 гг., минимальное число извержений наблюдалось в 1990, 1997, 2019 и 2020 гг. График долговременных

изменений активности демонстрирует активизацию извержений в интервале с 1998 по 2007 г. (рис. 6). Общий тренд в изменении вулканической активности в регионе к 2020 г. — ее относительное снижение.

Анализ временного хода изменения годовых сумм атмосферных вихрей показал, что их число каждый год достаточно высокое и колеблется в диапазоне от 14 до 31 события. Наиболее активны в плане циклонической активности 1989, 1994, 2019 гг., минимально активны были 1998 и 2010 гг. Относительный подъем отмечен на графике со скользящим осреднением пятилетних сумм в интервалах с 1983 по 1994 г. и с 2011 по 2016 г., локальный максимум с 2000 по 2004 г. прослеживается также на фоне общего спада с 1994 по 2010 г. С 2010 г. наблюдается флуктуирующий

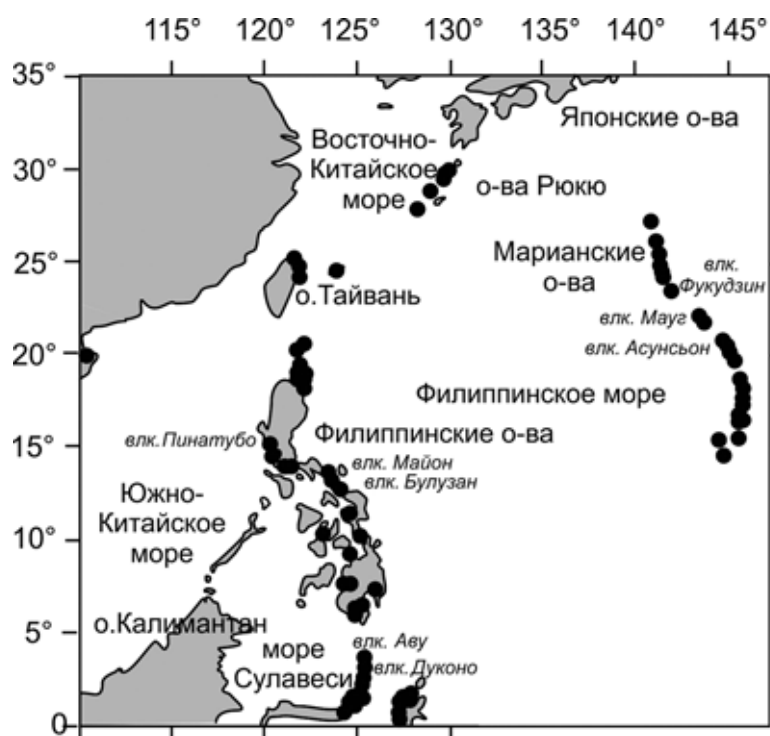


Рис. 4. Положение голоценовых действующих вулканов в обрамлении Филиппинской литосферной плиты, по данным [Global..., 2020]. Черные кружки — вулканы

подъем, который продолжается и поныне. Линейный тренд показывает некоторое относительное общее снижение активности формирования ат-

мосферных вихрей в период с 1983 по 2019 г. (рис. 6).

Результаты исследований и их обсуждение. Сопоставление временных рядов, отражающих долговременные вариации числа сильных землетрясений и извержений вулканов, не показывает значимых корреляций. Вместе с тем видно, что некоторое снижение активности сильных землетрясений в середине рассматриваемого периода сопровождается вулканической активизацией и, наоборот, активизация вулканов происходит на фоне общего снижения сейсмической активности (рис. 6). Процессы вулканизма и сейсмичности сопровождают глобальный процесс тектонической перестройки земной коры в зонах взаимодействия литосферных плит и, по сути, представляют собой различные способы выхода эндогенной энергии Земли, сопровождающего тектонические перестройки. В районе Филиппинской литосферной плиты, с двух сторон зажатой зонами субдукции, выход энергии этих тектонических взаимодействий осуществляется, по-видимому, попеременно — либо за счет активизации вулканических извержений, либо за счет усиления сейсмической активности.

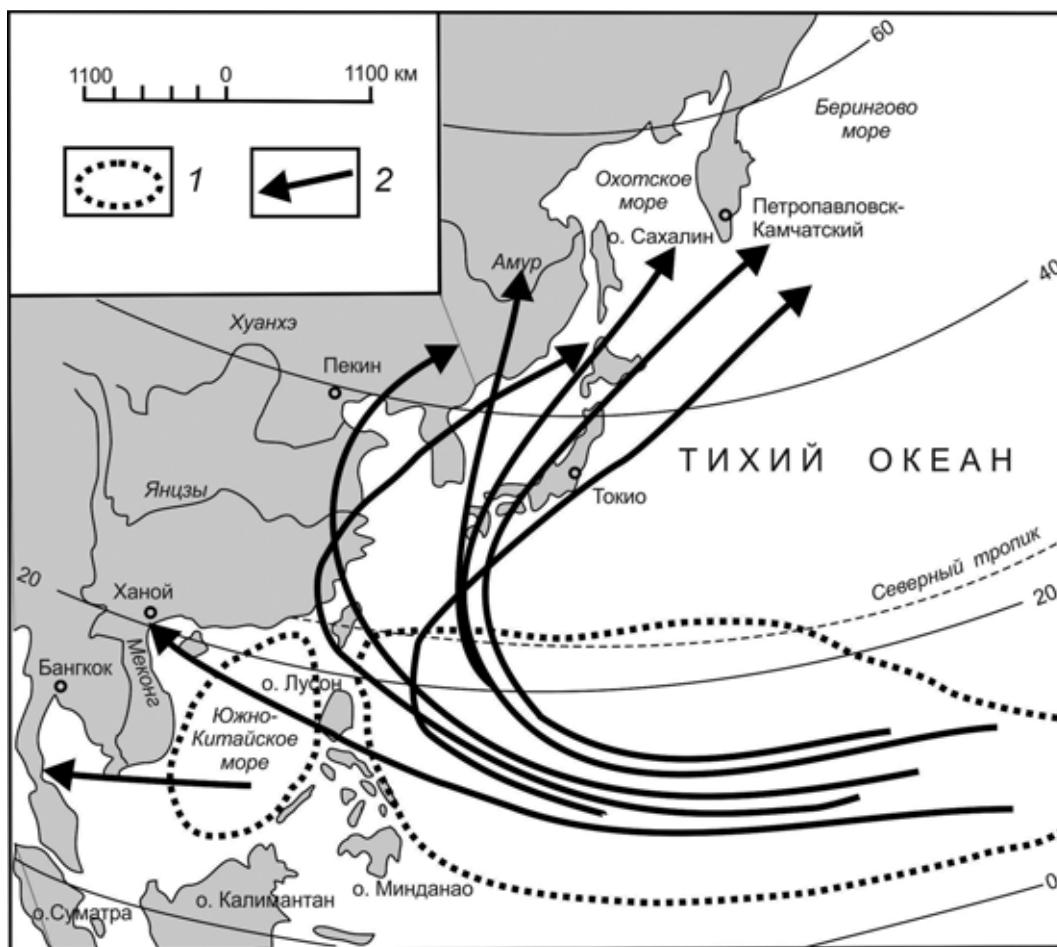
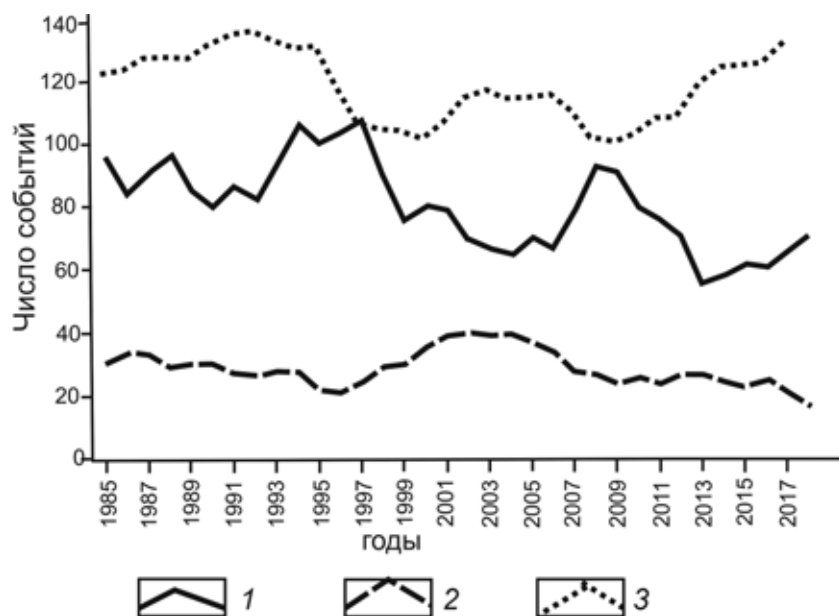


Рис. 5. Направление движения крупных атмосферных вихрей в центральной части Тихого океана, по [Жигалин и др., 2018]: 1 — область зарождения атмосферных вихрей; 2 — пути миграции атмосферных вихрей

Рис. 6. Временные ряды годовых сумм землетрясений с $M \geq 6$ (1), вулканических извержений (2) и тайфунов (3) в районе Филиппинской плиты в период с 1983 по 2020 г. со скользящим осреднением за 5 лет и со сдвигом в 1 год. Год на оси абсцисс соответствует середине 5-летнего интервала



Принято считать, что атмосферные вихри, которые зарождаются в тропических широтах, возникают под влиянием прогрева воды за счет солнечного излучения и получают вихревую составляющую под влиянием ускорения Кориолиса, обусловленного вращением Земли, т.е., если вулканические извержения и землетрясения генерируются за счет эндогенных источников энергии, таких, как, например, радиоактивный распад или мантийная конвекция, которая обеспечивает доставку глубинного тепла, то атмосферные процессы осуществляются только за счет излучения Солнца и энергетически не зависят от глубинных источников.

Вместе с тем отдельные геосферы Земли, несмотря на очевидную расслоенность, не абсолютно изолированы. Атмосфера и гидросфера возникли по большей части благодаря вулканическим процессам, в ходе которых происходил вынос газов, входящих в состав первичной атмосферы, а также паров воды, последующая конденсация которых привела к образованию поверхностной гидросферы. Процессы вулканизма активно проявляются и в современной геодинамической жизни планеты и вносят значимый вклад в состав атмосферы, многократно превосходя, в том числе, выбросы парниковых газов от антропогенных источников. Вулканические и гидротермальные системы активно функционируют в осевых зонах срединно-океанических хребтов, в пределах островных дуг, в «горячих точках» абиссальных котловин. На дне морей и океанов происходят извержения многочисленных вулканов с температурой лав, достигающей 1200 °С. На дне Тихого океана известно около 10 000 вулканов высотой более 1 км. Если на суше ежегодно в результате 20–30 вулканических извержений на поверхность поступает в среднем до 1,5 км³ магматического расплава, то за это же время из подводных вулканов извергается

18–23 км³ лавы. Почти все подводные горные вершины Тихого океана представляют собой либо действующие, либо потухшие вулканы. Подводные вулканы создают вертикальные гидротермальные струи, вода в которых нагрета до температуры в несколько сотен градусов. В процессе извержения подводных вулканов магма прогревает водную толщу в их окрестности, и за счет конвекции разогретая жидкость поднимается к поверхности океана, что порождает сильные ветры. Вполне возможно поступление тепла и через глубинные разломы океанического дна [Галанин, 2011].

Современная активность спрединговых и островодужных систем, локальных зон вулканизма в пределах абиссальных котловин происходит не только с выносом вещества, но и с выносом тепловой энергии на границах взаимодействующих литосферных плит. В последние десятилетия вулканическая деятельность планеты активизировалась, поэтому учет вклада действующих подводных вулканов и гидротермальных процессов в областях вулканизма в тепловой баланс океана необходим для создания реалистичных климатических моделей. Основное большинство таких моделей, принимая во внимание вертикальную расслоенность водной толщи, накладывает жесткое ограничение в виде нулевого вертикального потока тепла ниже верхнего слоя, прогреваемого солнцем. При этом возникает ряд пока неразрешенных проблем, одна из которых заключается в необъяснимых временных вариациях теплового режима Мирового океана. Поверхностный слой воды и прилегающий слой атмосферы формируют достаточно устойчивую равновесную систему: прогрев водной толщи вызывает испарение, снижение прозрачности атмосферы приводит к снижению потока лучистой энергии, поступающей к поверхности океана, и последующему снижению температуры воды, тем самым реализуется относительное

постоянство температуры на границе океана и атмосферы. Средняя температура у поверхности воды в Тихом океане составляет около 19,4 °C [Трухин и др., 2005].

В статье В.И. Бышева с соавторами [2016] отмечено, что короткопериодная изменчивость современного климата в течение нескольких десятков лет возникает вследствие осцилляций в динамике климатической системы. Их источником, по мнению этих авторов, служит квазициклический процесс аккумуляции тепла и тепловой разгрузки Мирового океана, который сопровождается изменением направления потоков тепла между океаном и атмосферой. Авторы указанной статьи предполагают, что внутренним резервуаром и источником тепла, периодически поступающего к поверхности океана, может быть относительно теплый подповерхностный слой, откуда тепло поступает за счет периодически возникающей глубокой сезонной вертикальной плотностной конвекции. Со своей стороны отметим, что, возможно, квазипериодические изменения теплоотдачи Мирового океана могут быть связаны и с поступлением тепла не только из подповерхностного слоя, но и из геотермальных зон в результате вариаций интенсивности современных глобальных геодинамических процессов.

В работе А.В. Галанина [2011] рассматривается возможность частичного энергоснабжения атмосферных вихрей за счет эндогенных источников энергии. Он отмечает, что при наблюдении за тропическими тайфунами возникает вопрос: достаточно ли нагрева приповерхностного слоя воды в океане глубиной от 100 до 500 м, чтобы «закрутить» разрушительный вихрь, перемещающийся на большое расстояние и несущий суточную энергию от 10^{17} до 10^{19} Дж при средней продолжительности существования от 6–8 до 18 сут. Поиск ответа заставляет посмотреть, нет ли иных, кроме Солнца, источников тепла, инициирующих циклоническую активность.

Происхождение тропических атмосферных вихрей с высокой скоростью ветра — еще одна проблема, пока не вполне объяснимая в рамках действующих климатических моделей. А.Е. Шейдеггер пишет: «...несмотря на отмеченные попытки объяснить физику ураганов, механизм их формирования остается все еще не вполне понятным. В общем виде можно отметить, что для образования и поддержания урагана необходим постоянный источник энергии. По наблюдениям, показывающим, что ураганы обычно рассеиваются над сушей и в высоких широтах, источник энергии следует искать во влажном воздухе, который поднимается над поверхностью теплого океана. Теплота, выделяющаяся при конденсации воды, обеспечивает ураганы необходимой энергией» [Шейдеггер, 1981, с. 206].

В итоге, замыкая систему океан–атмосфера только на внешнюю энергетическую подпитку от

солнца, исследователи сталкиваются с проблемой объяснения ряда явлений и процессов, включая и глобальные квазипериодические осцилляции теплоотдачи Мирового океана, и атмосферные явления эпизодического характера, такие, как тропические ураганы.

Временные ряды, которые отражают долговременные вариации числа атмосферных вихрей и сильных сейсмических событий, напрямую не обнаруживают значимых корреляций, поскольку для числа землетрясений в районе Филиппинской плиты прослеживается некоторый общий тренд на снижение активности, а для атмосферных вихрей, наоборот, наблюдается некоторое увеличение их числа (рис. 6). Вместе с тем при визуальном сопоставлении графиков отчетливо заметно зеркальное изменение числа атмосферных вихрей и землетрясений. Увеличение активности одного вида катастрофических процессов сопровождается снижением активности другого. Противофазное изменение активности литосферных и атмосферных процессов дает основание предполагать, что для активизации эндогенные и экзогенные процессы, возможно, используют единый источник энергоснабжения.

Графики изменения числа атмосферных вихрей и вулканических извержений в окрестности Филиппинской плиты для первой и последней трети рассматриваемого периода показывают относительное снижение вулканической активности на фоне активизации атмосферных вихрей. В центральной части периода происходит резкое увеличение вулканической активности, а вслед за ним — увеличение числа атмосферных вихрей. Таким образом, возможная связь между атмосферными вихрями и вулканическими событиями не однозначна. В целом, как и для землетрясений, наблюдается некоторый спад вулканической активности на фоне активизации атмосферных вихрей, но в момент экстремальных выбросов тепла в процессе вулканических извержений с 2000 по 2006 г. число сильных землетрясений снизилось, но активизировались атмосферные вихри.

В итоге общий анализ временных рядов, отражающих длиннопериодные вариации активности катастрофических событий, показывает, что, возможно, существует взаимосвязь событий различной природы. На рис. 7 отражены периоды высокой активности катастроф, на нем видно, что в пределах региона сильные землетрясения, вулканические извержения и тайфуны доминируют поочередно. Исключение — период с 2000 по 2004 г., когда одновременно высокой была и вулканическая, и циклоническая активность. Представляется, что некая сумма энергии, сосредоточенная в очень нестабильном регионе, последовательно распределяется, генерируя различные виды катастрофических процессов.

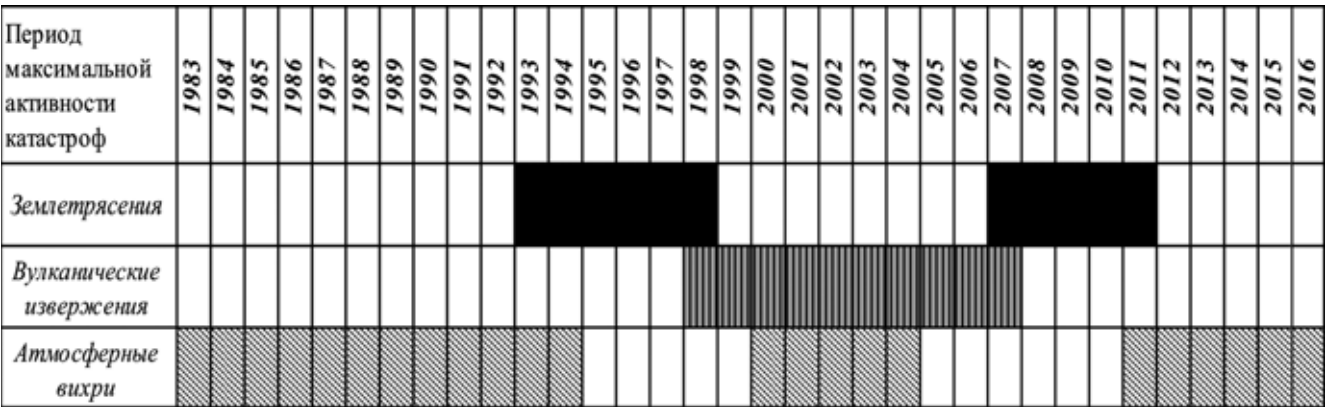


Рис. 7. Относительный вклад активности процессов различного происхождения в общую активизацию катастроф за период с 1985 по 2016 гг.: 1 — периоды активизации землетрясений с $M \geq 6$, 2 — период активизации вулканических событий, 3 — периоды активизации тайфунов. Годы соответствуют середине 5-летнего интервала

Возможно, таким дополнительным источником служит энергия, которая высвобождается в процессе преобразования вещества океанической коры в соответствии с меняющимися термодинамическими условиями в ходе погружения в многочисленных зонах субдукции по периферии Филиппинской плиты, а также в нижних слоях чехла глубоководных котловин Филиппинского моря. Значимую роль геохимических преобразований вещества в энергетической подпитке эндогенных процессов рассматривали многие исследователи. Впервые это четко сформулировано в рамках гипотезы геохимических аккумуляторов, предложенной Н.В. Беловым [1952]. В соответствии с этой гипотезой солнечная энергия, которая расходуется в зоне гипергенеза для разрушения полевых шпатов с образованием глинистых минералов, способна высвобождаться в ходе экзотермических реакций в зонах субдукции и глубоких частях окраинных осадочных бассейнов при обратном переходе глинистых осадков в метаморфические породы под влиянием изменения термодинамических условий.

По мнению выдающегося геохимика А.И. Перельмана: «.... для земной коры и мантии характерно взаимодействие солнечной энергии и глубинной энергии Земли и взаимодействие соответствующих различных групп веществ» [Перельман, 1979, с. 394–395]. Есть и такая точка зрения, согласно которой вклад современных тектонических сил в энергетику сейсмичности сравнительно невелик. Они могут оказывать на пространственно-временное поведение сейсмичности управляющее и инициирующее воздействие, но сам резервуар энергии, из которого ее черпают землетрясения для своего появления, есть результат деятельности процессов, длившихся геологически долго [Пономарев, 2008, с. 259].

Н.Л. Добрецов полагает, что наличие интенсивного магматизма и высокого теплового потока над зонами субдукции — до сих пор нерешенная проблема, поскольку погружение холодной плиты в глубь мантии должно понижать температуру в

мантийном клине, и, таким образом, появление силикатных расплавов невозможно [Добрецов и др., 2015]. По мнению авторов указанной работы, парадокс заключается в том, что погружающаяся плита служит также эффективным и пока единственным доказанным транспортером в мантию H_2O и некоторых других летучих, а также окисленных минералов. На основе данных сейсмографии и экспериментальной петрологии Н.Л. Добрецовым с соавторами выдвинуто предположение о многоуровневой системе миграции флюидов и расплавов над погружающимся слэбом [там же]. Таким образом, ряд исследователей пришли к убеждению, что значимую роль в энергетической подпитке эндогенных процессов играет преобразование экзогенного вещества в изменяющихся термодинамических условиях.

Высвобождение дополнительной энергии в ходе термодинамических преобразований вещества океанической коры, по-видимому, активизирует проявления магматизма и сейсмичности в районе Филиппинской плиты. Нарращиванию объемов пород, сформированных в экзогенных условиях, благоприятствует физико-географическое положение региона. Формированию мощных толщ осадков в пределах акваторий Филиппинского и Южно-Китайского морей способствует ряд факторов. В их числе тропический климат с высокой температурой и повышенной влажностью, который способствует интенсивному выветриванию пород, активная динамика атмосферы, связанная с направлением движения северо-восточных пассатов в сторону побережья, а также интенсивная волноприбойная деятельность под влиянием тропических тайфунов и штормов. Наличие этих факторов способствует высокой скорости морской абразии, о чем косвенно свидетельствует вогнутая форма восточного побережья Евразии в области смыкания Китайской и Индокитайской плит (рис. 1).

Высвобождение тепла в ходе эндогенной активности в районе Филиппинского моря, в свою очередь, обеспечивает подогрев водной толщи,

необходимый для зарождения и поддержания активности тропических тайфунов Тихого океана. Количественная оценка вклада всех источников в общий процесс разогрева водной толщи, возможно, потребует пересмотра граничных условий действующих климатических моделей с учетом вертикального теплового потока современных геотермальных систем и расчетов, основанных на дополнительных данных.

Выводы. 1. Анализ пространственно-временного распределения катастрофических процессов в районе Филиппинской плиты показывает, что зоны высокой активности землетрясений, вулканов и тайфунов пространственно совпадают и обнаруживают системное взаимодействие во

времени, которое проявляется в их поочередной пиковой активизации. По-видимому, в районе Филиппинской плиты реализуется энергообмен между различными геосферами, который регулирует проявления природных катастроф, включая сильные землетрясения, извержения вулканов и тайфуны.

2. Эскалация глубинного тепла в ходе вулканической и гидротермальной деятельности, а также термодинамические преобразования пород в зонах субдукции и в глубоких частях чехла Филиппинского осадочного бассейна могут быть дополнительными источниками тепловой энергии для разогрева водной толщи в области формирования тихоокеанских тропических тайфунов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белов Н.В. Геохимические аккумуляторы // Тр. Ин-та кристаллографии АН СССР. 1952. Вып. 7. С. 73–80.
- Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А. Климатические ритмы теплового режима Мирового океана // Природа. 2016. № 8 (1212). С. 26–33.
- Галанин А.В. Эндогенное тепло Земли подогревает океан и влияет на климат. 2011. [Электронный ресурс]. URL: <http://ukhtoma.ru/seevulkan.htm> (дата обращения: 09.02.2021).
- Геотраверс Северо-Китайская равнина — Филиппинское море — Марианский желоб/ Отв. ред. А.Г. Родников, Н. Иседзак, Ц. Сики, С. Уеда, Лю Годун. М.: Наука, 1991. 50 с.
- Гидрометцентр России. База данных «Тропические циклоны» [Электронный ресурс]. URL: <https://meteoinfo.ru/categ-articles/33-climate-cat/monitoring-klimata/trorpsyclones> (дата обращения: 18.11.2020).
- Добрецов Н.Л., Кулаков И.Ю., Литасов К.Д., Кукарина Е.В. Значение геологии, экспериментальной петрологии и сейсмотомографии для комплексной оценки субдукционных процессов // Геология и геофизика. 2015. Т. 56, № 1–2. С. 21–55.
- Жигалин А.Д., Архипова Е.В., Харьковина М.А. Подводный вулканизм как одна из причин циклонической активности центральной части Тихого океана // Вестн. Междунар. университета природы, общества и человека «Дубна». 2018. № 4(41). С. 14–21.
- Литосфера Филиппинского моря. Геофизический центр Российской академии наук. Мировой центр данных по физике твердой Земли. База данных «Филиппинское море» [Электронный ресурс]. URL: http://www.wdcb.ru/sep/lithosphere/Philippine_Sea/philsea.ru.html (дата обращения: 18.11.2020).
- Мировой каталог землетрясений геологической службы USGS [Электронный ресурс]. URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> (дата обращения: 22.11.2020).
- Перельман А.И. Геохимия: Учеб. пособие для геологических спец. ун-тов. М.: Высшая школа, 1979. 423 с.
- Пономарев В.С. Энергонасыщенность геологической среды. М.: Наука, 2008. 379 с. (Тр. ГИН РАН; Вып. 582).
- Родников А.Г., Забаринская Л.П., Рашидов В.А. Геотраверс Северо-Китайская равнина — Филиппинское море — Магеллановы горы // Вестн. КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле. 2007. Вып. 9. № 1. С. 79–89.
- Родников А.Г., Забаринская Л.П., Рашидов В.А., Сергеева Н.А. Геодинамические модели глубинного строения регионов природных катастроф континентальных окраин. М.: Научный мир, 2014. 172 с.
- Сейсмичность Земли. Сейсмичность Филиппинской плиты и окрестности [Электронный ресурс]. URL: <https://pubs.usgs.gov/of/2010/1083/m/pdf/of2010-1083m.pdf> (дата обращения: 18.11.2020).
- Трухин В.И. Показеев К.В., Куницин В.Е. Общая и экологическая геофизика. М.: Физматлит, 2005. 576 с.
- Хаин В.Е., Лимонов А.Ф. Региональная геотектоника (тектоника континентов и океанов): Учебн. пособие. Тверь: ООО «Издательство Герс», 2004. 270 с.
- Шейдеггер А.Е. Физические аспекты природных катастроф: Пер. с англ. М.: Недра, 1981. 232 с.
- Global Volcanism Program of the National Museum of Natural History. Smithsonian Institution, U.S.A. База данных «Вулканы мира» [Электронный ресурс]. URL: http://volcano.si.edu/database/search_eruption_results.cfm (дата обращения: 18.11.2020).
- Hilde T.W.C., Uyeda S. Origin and evolution of the West Philippine Basin: A new interpretation // Tectonophysics. 1983. Vol. 102. P. 85–104.
- Hobart M.A., Anderson R.N., Fujii N. et al. Heat flow from hydrothermal mounds in two million year old crust of the Mariana Trough // EOS Trans. AGU. 1983. Vol. 64. 315 p.

Поступила в редакцию 28.01.2021

Поступила с доработки 05.04.2021

Принята к публикации 03.08.2021