

ISSN 2541-8912 (Print)
ISSN 2713-2161 (Online)

ГЕОСИСТЕМЫ ПЕРЕХОДНЫХ ЗОН

GEOSYSTEMS
of Transition Zones

2023 **Том 7** **№ 1**

Уважаемые авторы, рецензенты и все друзья нашего журнала!

Редколлегия и редакция журнала «Геосистемы переходных зон» благодарят всех, кто содействует журналу в выполнении его миссии – предоставление российским и зарубежным исследователям в области геологии, вулканологии, геофизики, сейсмологии, океанологии, географии, геомеханики, геоэкологии и др. возможности публиковать свои результаты изучения процессов и закономерностей переходных зон Земли.

При вашем заинтересованном участии журнал за шесть лет существования добился заметных успехов. Наблюдаются явные тренды роста основных параметров, по которым обычно оцениваются журналы. Например, повышение импакт-фактора РИНЦ как с учетом цитирования из всех источников, так и по цитированию в журналах ядра РИНЦ; рост числа ссылок в списках литературы в статьях; увеличение цитирования журналов и зарубежных источников и т.д. Это может способствовать повышению привлекательности и авторитета журнала.

Среди наших авторов ученые из Москвы, Петербурга, Екатеринбурга, Иркутска, Новосибирска, Владивостока, Хабаровска, Петропавловска-Камчатского, Южно-Сахалинска и других городов России.

В настоящее время журнал включен в Перечень ВАК по 9 специальностям в соответствии с новой Номенклатурой специальностей.

В конце 2022 г., как известно, ВАК провел оценку по качественным и количественным критериям журналов, входящих в Перечень. Все журналы распределены по коэффициенту научной значимости по категориям К1, К2, К3. Журналы, входящие в базы WoS, Scopus или RSCI, по умолчанию отнесены к К1. Наш журнал вошел во второй квартиль (К2).

Редколлегией принят тип рецензирования двойной слепой – наиболее оптимальный и рекомендуемый для журналов, нацеленных на вхождение в международные научные базы данных. Рецензии у нас в подавляющем большинстве высококвалифицированные. Мы благодарны нашим рецензентам и внутренним, и независимым, за доброжелательную и конструктивную критику, искреннюю заинтересованность в улучшении качества статей.

Журнал придерживается политики открытого доступа. С 2021 г. журнал включен в международную базу научных журналов Directory of Open Access Journals (DOAJ). PDF-файлы с полнотекстовыми версиями материалов, опубликованных в журнале, находятся в открытом доступе на сайте журнала и на сайте eLibrary, с 2022 г. сведения о статьях и ссылки на них размещаются на портале Российских научных журналов. Метаданные научных статей передаются в международные базы DOAJ и CrossRef.

Оформление журнала и сайт соответствуют всем формальным критериям отбора журналов в международные базы данных.

Стратегия развития журнала, по замыслу редколлегии, предполагала его вхождение в МНБД Scopus и/или Web of Sciences. Но известные реалии жизни сделали такое продвижение проблематичным. Как и другие журналы, мы столкнулись с немалыми трудностями. Основная из них состоит в сокращении притока статей и сужении географии авторов.

Редакция надеется, что журналу удастся сохранить контингент надежных авторов, которые привлекут к сотрудничеству коллег и аспирантов и помогут журналу преодолеть препятствия на пути продвижения его в Russian Science Citation Index (RSCI) (составную часть ядра РИНЦ).

Редакция журнала «Геосистемы переходных зон»

© Авторы 2023 г. Открытый доступ.
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)



© The Authors 2023. Open access.
Content is available under Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)

УДК 551.21+550.3+523

<https://doi.org/10.30730/gtrz.2023.7.1.005-024>
<https://www.elibrary.ru/zgance>

Влияние космических факторов на грязевулканическую деятельность Земли

Г. В. Устюгов*, В. В. Ершов

*E-mail: gen.ustyugov@mail.ru

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

Резюме. В работе впервые проанализировано влияние разных космических факторов (гравитационное воздействие Луны и Солнца, солнечная активность, вращение Земли) на грязевулканическую активность. Анализ выполнен, главным образом, на примере грязевых вулканов Азербайджана, для которых существует наиболее полный каталог извержений (431 событие за почти 210 лет). Установлено, что активность грязевых вулканов может повышаться после сизигийных приливов, когда Земля располагается на одной прямой с Луной и Солнцем (их приливные силы в этом случае суммируются). Отклик грязевых вулканов на приливное воздействие Луны запаздывает на 5–10 сут. Установлено также, что число грязевулканических извержений распределено неравномерно в течение года с максимумами в марте–июне и сентябре–октябре. Наличие этих максимумов может быть обусловлено изменением расстояния между Солнцем и Землей и вариациями солнечных приливных сил в периоды перигелия и афелия. При этом отклик грязевых вулканов на приливное воздействие Солнца запаздывает на несколько месяцев и достаточно сильно растянут во времени. Существуют колебания грязевулканической активности с периодом 14–20 лет, которые не совпадают с циклами солнечной активности (с периодами 11 и 22 года), хотя некоторые исследователи говорят о связи между солнечной и грязевулканической активностями. Возможно, указанные колебания грязевулканической активности связаны с главной гармоникой нутации Земли (18.6 года). Показано, что максимальное количество грязевых вулканов на Земле приходится на широтные пояса 30–45° и 10–15° с.ш. (около 22 и 46 % от общего числа вулканов соответственно). В Южном полушарии наибольшее количество вулканов (около 3 % от общего числа) находится в границах 5–10° ю.ш.

Ключевые слова: грязевые вулканы, геодинамические процессы, космические факторы, Солнце, Луна, приливные силы, солнечная активность

Influence of cosmic factors on mud volcanic activity of the Earth

Gennady V. Ustyugov*, Valery V. Ershov

*E-mail: gen.ustyugov@mail.ru

Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Abstract. In this work, the influence of various cosmic factors (gravitational influence of the Moon and the Sun, solar activity, the Earth's rotation) on mud volcanic activity was analyzed for the first time. The analysis was carried out mainly on the example of mud volcanoes in Azerbaijan, for which there is the largest and most complete catalog of eruptions (431 events over almost 210 years). It has been found that the activity of mud volcanoes can increase after syzygial tides, when the Earth is in line with the Moon and the Sun (their tidal forces are summed up in this case). The response of mud volcanoes to the tidal influence of the Moon is delayed by 5–10 days. It is also found that the number of mud volcanic eruptions is distributed unevenly throughout the year with maximums in March–June and September–October. The presence of these maximums may be due to a change in the distance between the Sun and the Earth and variations in solar tidal forces during the periods of perihelion and aphelion. At the same time, the response of mud volcanoes to the tidal influence of the Sun is delayed by several months and is quite strongly extended in time. It was revealed that there are fluctuations in mud volcanic activity with a period of 14–20 years, which do not coincide with the cycles of solar activity (with periods of 11 and 22 years), although some researchers talk about a connection between solar and mud volcanic activity. It is possible that the indicated fluctuations in mud volcanic activity are related to the main harmonic of the Earth's

nutation (18.6 years). It is shown that the maximum number of mud volcanoes on the Earth falls on the latitudinal belts of 30–45° N and 10–15° N (about 22 and 46 % of the total number of volcanoes, respectively). In the southern hemisphere, the largest number of volcanoes (about 3 % of their total number) is located within the boundaries of 5–10° S.

Keywords: mud volcanoes, geodynamic processes, cosmic factors, Sun, Moon, tidal forces, solar activity

Для цитирования: Устюгов Г.В., Ершов В.В. Влияние космических факторов на грязевулканическую деятельность Земли. *Геосистемы переходных зон*, 2023, т. 7, № 1, с. 5–24. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2023.7.1.005-024>; <https://www.elibrary.ru/zgance>

For citation: Ustyugov G.V., Ershov V.V. Influence of cosmic factors on mud volcanic activity of the Earth. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2023, vol. 7, no. 1, pp. 5–24. (In Russ., abstr. in Engl.). <https://doi.org/10.30730/gtrz.2023.7.1.005-024>; <https://www.elibrary.ru/zgance>

Введение

Проблемы влияния внешних (космических) факторов на геодинамические процессы Земли – поиск статистических связей, анализ механизмов такого влияния, прогноз изменения активности разных природных явлений из-за космического воздействия – достаточно давно и широко обсуждаются в научном сообществе. Наибольшее возмущающее влияние на Землю и ее внутренние (эндогенные) процессы оказывают Солнце и Луна – единственный спутник нашей планеты. В роли факторов, влияющих на процессы в литосфере, могут выступать приливные силы Луны и Солнца [1–3], изменения солнечной активности и ускорение солнечного ветра [4–6], вариации скорости вращения Земли вокруг своей оси [7–9]. Воздействие космических факторов может проявляться, например, в изменениях сейсмической и вулканической активностей [10–15], интенсивности радоновых эманаций [16], уровня подземных вод; смещениях грунта [1, 17]; аномалиях спектра сейсмического шума над нефтегазовыми залежами [3].

Из анализа литературных данных по обсуждаемой проблематике можно сделать вывод, что природные флюидодинамические системы, обладающие возможностью достаточно быстрого переноса из глубин Земли на ее поверхность относительно маловязкого вещества, весьма чувствительны к космическим воздействиям. Одной из таких флюидных систем является грязевой вулкан, в процессе деятельности которого накопившееся в очаге вулкана вещество (газ, вода, осадочные породы) регулярно выбрасывается из земных недр на поверхность. Грязевой вулканизм относится к опасным геологическим явлениям, представляющим серьезную угрозу для инженерной инфраструктуры и природных экосистем, приводящим к негативным социально-экономическим и экологическим последствиям [18].

Можно предположить, что активность грязевых вулканов обусловлена влиянием космических факторов в той же степени, как это установлено к настоящему времени для землетрясений, магматических вулканов и прочих природных явлений. Вполне вероятно, что и механизмы таких космических воздействий могут быть схожими. В настоящее время до сих пор крайне мало работ, исследующих связь космических факторов с деятельностью грязевых вулканов [13, 19]. Мы надеемся, что наше исследование в определенной степени восполнит этот пробел.

Цель данной работы – выявление закономерностей в пространственно-временном распределении грязевулканической деятельности Земли и поиск возможных объяснений этих закономерностей с точки зрения влияния космических факторов.

Материал (объект) и методы исследования

Для анализа закономерностей широтного распределения грязевых вулканов на Земле использовался атлас грязевых вулканов мира, который содержит данные о расположении 2508 грязевых вулканов и грязевулканических проявлений на нашей планете [20]. Указанный атлас включает в себя также достаточно подробный каталог извержений грязевых вулканов Азербайджана с 1810 по 2014 г., который в процессе работы был дополнен по 2018 г. данными из работ других исследователей [21–22]. Дополненный каталог использовался для поиска возможных воздействий космических тел – Луны и Солнца – на активность грязевых вулканов. Азербайджан не имеет себе равных в мире по количеству наземных и морских грязевых вулканов – свыше 350 объектов. В каталоге собраны сведения о 431 извержении, которые за почти 210 лет произошли на 93 грязевых вулканах Азербайджана. На сегодня

нышний день это наиболее объемный каталог извержений; для других грязевулканических провинций подобные сведения гораздо более скудные. Из всех зафиксированных событий только для 239 случаев кроме года указан еще и месяц извержения. Полные даты, включающие не только месяц, но и день события, известны для 183 извержений. Это имеет значение в нашем исследовании, так как для одних статистических расчетов достаточно месяца события, а для других требуются полные даты извержений. Ниже это разъяснено более подробно.

Возраст Луны (время в днях, отсчитываемое с момента фазы новолуния) определяли с помощью онлайн-калькулятора, в котором применяется алгоритм Стефана Шмитта [23]. Расчетное положение Луны основано на числе юлианских дней, которое соответствует интересующей календарной дате. Для каждой даты расчеты онлайн-калькулятора приводятся на 00:00 ч по гринвичскому времени.

При анализе возможного влияния солнечной активности на деятельность грязевых вулканов Азербайджана не учитывались 14 случаев, когда один и тот же грязевой вулкан извергался два раза в течение одного года. Статистика интервалов времени между двумя последовательными извержениями показала, что подавляющее большинство грязевых вулканов извергается не чаще одного раза в несколько лет [24]. Сложно представить, что вулкан за несколько месяцев смог бы накопить большой объем вещества и энергии, необходимый для очередного извержения. Поэтому мы полагаем, что каждый такой случай правильнее считать длительным двухактным извержением, а не двумя отдельными извержениями. Таким образом каталог, используемый для расчета ежегодного числа грязевулканических извержений, содержал 417 событий. Данные о солнечной активности за период с 1946 по 2018 г. взяты из онлайн-каталога всемирного центра данных SILSO (Королевская обсерватория Бельгии) [25].

Гравитационное воздействие Луны на активность грязевых вулканов

Единственным естественным спутником Земли и ближайшим к ней небесным телом является Луна, которая выступает для Зем-

ли наиболее сильным источником приливных возмущений в широком спектре частот [26–29]. Расположение Луны относительно Земли и Солнца определяет лунные фазы (новолуние, полнолуние, квадратуры/четверти) – периодическое изменение вида освещенной части поверхности Луны на земном небе. Промежуток времени между двумя последовательными одинаковыми фазами Луны называется синодическим месяцем, продолжительность которого непостоянна и составляет в среднем примерно 29.5 сут.

Приливные силы воздействуют на Землю, растягивая нашу планету вдоль линии, совпадающей с направлением на возмущающее тело (в данном случае на Луну). В направлении, перпендикулярном указанной линии, происходит сжатие земного шара. Таким образом, возмущенное тело (Земля) и его оболочки (если они поддаются деформации) под действием приливных сил могут принимать форму, близкую к вытянутому эллипсоиду, т.е. образуются так называемые приливные выступы (горбы). Вращение Земли относительно Луны происходит с периодом около 24 ч 50 мин. За это время по земной поверхности проходят два приливных горба, т.е. интервал между ними составляет около 12 ч 25 мин (так называемая приливая волна M_2). Все наблюдаемые приливные явления можно разделить на три группы: полусуточные, суточные и долгопериодические [27, 29]. На Земле наблюдаются различные приливные явления: морские приливы/отливы, деформации земной коры, колебания уровня подземных вод, изменения угловой скорости вращения Земли, вариации силы тяжести, газовых эманаций, микросейсмичности и др. Рассмотрим подробнее некоторые из этих приливных явлений. Предпочтение отдадим тем явлениям, в которых, по нашему мнению, могут действовать механизмы, схожие с влиянием лунных приливов на грязевой вулканизм.

Деформации земной коры, вызванные приливными силами Луны, приводят к изменениям напряженного состояния и объемным расширениям–сжатиям Земли [16, 30]. Наиболее заметно это проявляется в зонах ослабления прочности среды – разломах и крупных трещинах. Во время лунных приливов происходит расширение объема земной коры, во время отливов наблюдается обратный

эффект – сжатие. При расширении объема увеличиваются пористость и проницаемость земной среды, и, наоборот, при сжатии они уменьшаются. Регулярная смена приливных деформаций (расширения и сжатия) в земной коре может приводить к вариациям уровня подземных вод. При сжатии (во время отливов) уровень повышается под действием избыточного давления, а при расширении (во время приливов) снижается, т.е. уровень подземных вод изменяется в противофазе с приливными силами [30].

Максимумы интенсивности спектра вариаций уровня подземных вод (единицы и десятки миллиметров) приходится на периоды около 12 и 24 ч, а также примерно 12–15 сут, что хорошо совпадает с периодами соответствующих лунных приливных волн [1, 16, 17, 31]. При этом уровни подземных вод в областях Земли, оказавшихся в зоне приливного влияния, не всегда изменяются синхронно. Например, на двух исследовательских полигонах при воздействии одних и тех же приливных волн изменения уровня воды происходили с запаздыванием либо опережением (от нескольких дней до месяца) относительно друг друга в зависимости от периодов приливных волн [1]. Амплитуды колебаний уровней на этих полигонах также различаются для разных приливных гармоник. Эти расхождения предположительно связывают с разными фильтрационными параметрами и строением водонасыщенных коллекторов.

Максимальные вариации в смещении грунта (десятки и сотни миллиметров) приходится на полусуточные и суточные приливы [1, 17]. Как и в случае с изменениями уровня подземных вод, смещение грунта в ответ на приливные силы не происходит одновременно на тех участках Земли, которые попали в зону приливного выступа [1]. Смещение грунта на таких участках может различаться во времени относительно друг друга (на 1–2 сут для двух разных полигонов). Могут также различаться между собой и амплитуды смещения на разных участках (примерно в полтора раза для рассматриваемого частного случая) [1].

Также известно, что приливные силы могут оказывать влияние на объем нефти, поступающей из недр во время нефтедобычи [32, 33, 34]. С помощью системы автоматической регистрации (дискретность из-

мерений – 1 ч), развернутой в скважинах Ромашкинского месторождения (Татарстан), установлено, что ежесуточные вариации добычи нефти составляют около 25 % от среднего уровня. При этом на полученных временных рядах прослеживаются два максимума и два минимума добычи в течение суток с периодичностью 12 и 24 ч.

Проанализирована связь объема добываемой нефти с основными фазами Луны (новолуние, полнолуние, первая и четвертая четверти). Для этих фаз были рассчитаны коэффициенты корреляции между средним суточным ходом объемной приливной деформации и средним суточным ходом добываемого флюида. Наибольшие коэффициенты корреляции (от 0.30 до 0.82) наблюдаются для фаз новолуния и полнолуния, т.е. для интервалов времени, когда амплитуда лунных приливов максимальна. Предполагается, что под воздействием приливных волн трещины земной коры периодически расширяются и сжимаются, выступая тем самым в роли огромного «гравитационного насоса». При раскрытии трещин (во время приливов) давление в них снижается и создается относительный вакуум, который вытягивает нефть из пор и микротрещин пласта в более крупные трещины. Благодаря этому происходит отток части жидкости из скважины в пласт, и, как следствие, уровень жидкости в скважине падает. При сжатии трещин (во время отливов) давление в них повышается, и потоки флюида вместе с извлеченной из пор и микротрещин нефтью устремляются по относительно крупным трещинам в сторону понижения давления (к добывающим скважинам). На основе изложенной концепции был предложен способ увеличения добычи нефти, в основе которого лежат регулируемая по объемам циклическая закачка воды в нагнетательные скважины и вибровоздействия на нефтяной пласт, согласованные по времени с земными приливами.

Изменения трещиноватости в литосфере Земли, вызванные лунными гравитационными силами, могут способствовать изменениям интенсивности радоновых эманацй [16]. Вариации объемной активности подпочвенного радона наблюдаются с периодичностью примерно 12 и 24 ч, а также 14 сут. Указанные периодичности в интенсивности радоновых

эманаций наблюдаются повсеместно, причем наиболее ярко – в зонах влияния крупных тектонических структур. Максимумы коэффициента корреляции между вариациями объемной активности подпочвенного радона и приливных сил достигаются при запаздывании реакции эманационного поля радона относительно приливных деформаций примерно на 3–4 ч для разных участков земной коры.

Чередующиеся фазы растяжения–сжатия пород, обусловленные приливными силами, влияют на процессы релаксации (сброса) механических напряжений, накопленных в недрах Земли. В частности, разуплотнение среды облегчает движение ранее сжатых блоков земной коры, и это способствует сбросам накопленных напряжений, что сопровождается микросейсмическими импульсами. Таким образом, лунные приливы способны вызывать изменения фоновой микросейсмичности [16]. В различных частотных диапазонах сейсмических колебаний наблюдаются разные периодичности – от нескольких часов до нескольких дней и месяцев (около 12 и 24 ч, около 14 и 28 сут и др.). Повсеместной зависимости между амплитудой микросейсмического фона и величиной приливных сил не прослеживается. Исключения составляют отдельные частотные интервалы микросейсм, которые различны на разных участках земной коры. Отмечается также, что разломные зоны отличаются более высокой реакцией микросейсмического фона на приливные деформации по сравнению с срединными участками структурных блоков. Это объясняется пониженной жесткостью горных пород в разломных зонах.

Заметим, что некоторые исследователи основное влияние на земную кору приписывают именно резонансам различных гравитирующих факторов: расстояние Земля–Луна, фазы Луны, колебания барицентра системы Земля–Луна [3]. Считается, что такие резонансы приливных факторов разного типа существенно усиливают влияние на различные геодинамические процессы, создавая аномальные напряжения в земной коре. Они могут выступать триггером для сильных землетрясений ($M > 5.0$), усиливать эманацию радона, обуславливать изменения структуры естественного импульсного электромагнитного поля Земли, нарушать работу технических сооружений

(например, плотин ГЭС, нефтегазовых трубопроводов и др.). Резонансы полумесячных (14–15 дней) приливов в зонах скопления нефти и газа способствуют возникновению стоячих волн с частотами от долей до нескольких герц в зависимости от геометрии и флюидонасыщенности залежи. Регистрируя на поверхности такие низкочастотные колебания, можно определить расположение залежи. На этом принципе была разработана флюидная резонансная сейсморазведка – технология поиска в геологической среде нефтегазовых залежей на основе регистрации низкочастотными сейсмоприемниками вынужденных колебаний флюидных систем под влиянием энергии резонансов гравитационных приливов [3].

Как известно, приливные явления на Земле вызваны не только Луной, но и Солнцем. Конечно, наибольшую роль в генерации земных приливов играет Луна, чье приливное влияние примерно в 2.17 раза превышает солнечное [29]. Тем не менее Солнце тоже вносит свой значительный вклад, который не всегда можно игнорировать. Высокочастотные гармоники, обусловленные приливными силами Солнца, имеют периоды, близкие к периодам лунных приливных гармоник. Соответственно, такие лунные и солнечные приливные волны практически неразличимы на практике и фиксируются в природных процессах обобщенно – как полусуточная и суточная гармоники. Однако необходимо учитывать случаи, когда лунные и солнечные приливы усиливают или ослабляют друг друга в зависимости от положения возмущающих тел в космическом пространстве [26]. Сильнейшие приливы – сизигийные – происходят в новолуние и полнолуние, когда Земля располагается на одной прямой с Луной и Солнцем, т.е. их приливные силы объединяются. Во время первой и последней лунных четвертей направления с Земли на Луну и Солнце составляют угол, равный 90° , т.е. приливообразующие силы Луны и Солнца действуют под прямым углом друг к другу, взаимно ослабляя друг друга. Такие приливы называются квадратурными.

Из описанного выше следует, в частности, что флюидодинамические системы демонстрируют хороший отклик в виде различных вариаций их деятельности на воздействие гравитационных сил Луны. Тогда вполне ожидаемо,

что лунные приливы могут также влиять на изменения активности грязевых вулканов Земли, которые являются одной из разновидностей флюидодинамических систем.

В данном исследовании мы не могли осуществить анализ влияния приливных эффектов полусуточной и суточной гармоник на деятельность грязевых вулканов Азербайджана. Во-первых, в каталоге извержений грязевых вулканов Азербайджана с 1810 по 2018 г. мало данных, указывающих не только год, месяц и день извержения, но и конкретное время события до часов и минут. Во-вторых, длительность грязевулканического извержения зачастую составляет несколько часов, т.е. вполне сопоставима с периодом рассматриваемых гармоник. В некоторых же случаях продолжительность извержений составляла несколько суток. Например, извержение грязевого вулкана Бахар, начавшееся 4 июня 1885 г., продолжалось 3 сут; вулкана Шихзарли, начавшееся 13 февраля 1902 г., – 2 сут; извержение Гарасу, начавшееся 28 марта 1977 г., длилось почти неделю [20]. Поэтому для имеющегося каталога извержений грязевых вулканов Азербайджана мы можем анализировать приливные воздействия с периодичностью порядка недель и месяцев.

Анализ данных показывает, что активность грязевых вулканов Азербайджана распределена неравномерно в течение лунного месяца (рис. 1). Количество извержений увеличивается в период от фазы новолуния до первой четверти, после чего наблюдается отчетливое уменьшение их до фазы полнолуния. Далее в период от полнолуния до последней четверти вновь происходит усиление активности грязевых вулканов. А после этого идет очередное снижение количества извержений перед предстоящим новолунием. Наблюдается некоторая закономерность, когда активность грязевых вулканов усиливается после сильных сизигийных приливов в фазах новолуния и полнолуния. После слабых квадратурных приливов до очередных сизигийных приливов отмечается спад грязевулканической активности. Установлено, что в период от новолуния до первой четверти (примерно 7.4 сут) происходит 58 извержений (31.7 % от общего числа событий). После первой четверти до полнолуния (также около 7.4 сут) количество извержений существенно меньше – 29 случаев (15.8 %).

От полнолуния и почти до новолуния (около 11 сут) имеет место период повышенной грязевулканической активности – 77 извержений (42.1 %). И непосредственно перед очередным новолунием (в течение примерно 3.7 сут) грязевулканическая активность снижена – 19 извержений (10.4 %).

Для проверки достоверности выявленной неравномерности в распределении извержений грязевых вулканов по разным фазам Луны было проведено статистическое моделирование. С помощью генератора случайных чисел для равномерно распределенной случайной величины на отрезке от 1 до 8 (по числу фаз Луны) мы получали целочисленный массив, состоящий из 183 элементов (по числу извержений с полными датами). Для 2000 реализаций этого эксперимента вероятность того, что на какую-либо одну фазу Луны приходится меньше 15 извержений, составила около 18 %, вероятность того, что на какую-либо одну фазу Луны приходится больше 32 извержений, – около 14 %, а вероятность того, что в каких-либо разных фазах Луны одновременно будет меньше 15 и больше 32 извержений, – всего около 4 %. Таким образом, наблюдаемый нами в природе случай, когда перед первой четвертью зафиксировано 33 из-

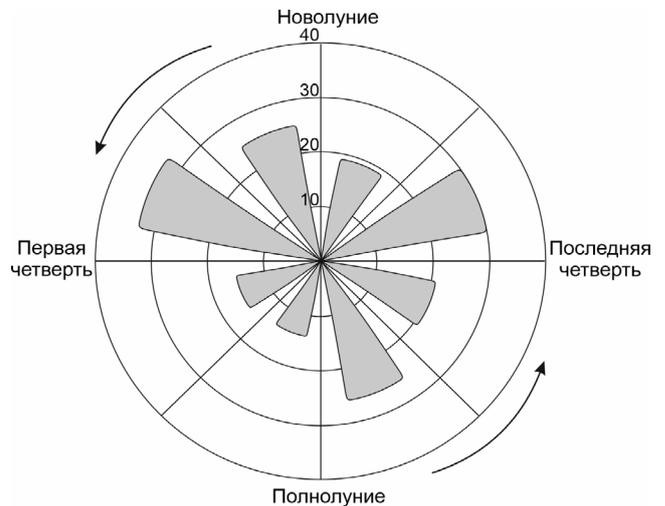


Рис. 1. Активность грязевых вулканов Азербайджана в течение лунного (синодического) месяца за период 1827–2014 гг. Вертикальная ось с нумерацией и серые лепестки показывают количество извержений в разных фазах Луны. Стрелки указывают направление движения Луны вокруг Земли.

Fig. 1. Petal diagram of the activity of mud volcanoes in Azerbaijan during the lunar (synodic) month for the period of 1827–2014. The vertical axis with numbering and gray petals show the number of eruptions in different phases of the Moon. The arrows indicate the direction of the Moon's motion around the Earth.

вержения, а перед полнолунием – 14, с большой вероятностью можно считать не соответствующим равномерному распределению. Другими словами, существует статистически значимая неравномерность в распределении извержений грязевых вулканов по разным фазам Луны.

Можно предположить следующий механизм, объясняющий влияние лунно-солнечных приливов на вариации грязевулканической активности. Во время новолуния и полнолуния Земля подвергается воздействию сизигийных приливов, благодаря которым в приливных горбах планеты происходят наиболее сильные деформации земной коры. Это, в том числе, может приводить к изменению проницаемости земной коры и пластового давления, способствуя более интенсивному подъему грязевулканического вещества из недр на поверхность. Если основной причиной неравномерности грязевулканической активности являются сизигийные приливы, то можно говорить о том, что отклик грязевых вулканов на приливное воздействие Луны запаздывает на 5–10 сут. Другими словами, непосредственно до самого момента извержения должно пройти некоторое время, которое займут процессы подготовки этого извержения. В частности, необходимо время для подъема к поверхности грязевулканического вещества из очагов, глубина залегания которых составляет несколько километров [35]. Похожие примеры, связанные с запаздыванием отклика на приливы в изменениях уровня подземных вод, эманациях радона и смещениях грунта, были описаны нами выше. Скорее всего, время запаздывания индивидуально для каждого грязевого вулкана в зависимости от его строения, состава флюидов, проницаемости флюидоподводящих каналов и др.

Гравитационное воздействие Солнца на активность грязевых вулканов

У некоторых природных явлений Земли (например, землетрясений или извержений магматических вулканов) прослеживаются закономерности в росте либо спаде их активности в течение календарного года. Так, в работе [7] отмечается внутригодовая периодичность возникновения землетрясений. Наибольшая сейсмическая активность в Тихоокеанском регионе наблюдается в декабре. Второй – более

слабый пик – приходится на май, а абсолютный минимум отмечается в апреле. Эту закономерность связывают с периодическими изменениями расстояния между Землей и Солнцем [7]. Наиболее близко к Солнцу наша планета находится в перигелии, который приходится на 2–5 января [28]. Афелий, когда Земля и Солнце находятся на максимальном расстоянии друг от друга, приходится на 1–5 июля. Расстояние между Землей и Солнцем в перигелии изменяется примерно на 3 % по сравнению с афелием, а приливная сила увеличивается на 6.4 % [7]. Изменения скорости движения Земли по эклиптике сопровождаются также изменениями скорости вращения Земли вокруг своей оси. Увеличение приливных сил Солнца приводит к росту напряжений и деформаций в земной коре. Механическая энергия накапливается в готовящихся очагах землетрясений и периодически высвобождается в виде сейсмической активности. В работе [7] также отмечается, что неглубокие сейсмические события (<80 км) имеют статистически значимые вариации распределения максимумов землетрясений в течение года, тогда как глубокие землетрясения (>80 км) распределены по месяцам в течение года равномерно. Предполагается, что внешние (космические) факторы являются триггером только для неглубоких землетрясений, т.е. глубокие очаги не реагируют на эти факторы.

Изменения расстояния между Солнцем и Землей и вариации солнечных приливных сил в периоды перигелия и афелия могут также влиять на активность магматических вулканов [12]. Количество вулканических извержений в перигелии и афелии в несколько раз превышает среднегодовые показатели. Предполагается, что эти два периода времени характеризуются максимальными напряжениями в земной коре.

Анализ геодинамической нестабильности Земли в работе [2] показывает, что в период с августа по март наблюдается повышенное количество техногенных катастроф и крупных аварий. Отмечается, что к этому же периоду времени приурочены и крупные природные катастрофы. В перигелии Земля движется по эклиптике быстрее, чем в афелии. Повышение скорости движения планеты по орбите компенсируется уменьшением угловой скорости ее вращения. Это влечет за собой увеличение

длительности суток в период с августа по март, что оказывает существенное влияние на геодинамический режим Земли. Сделан вывод о том, что с августа одного года по март следующего происходит увеличение (расширение) Земли, которое сопровождается раскрытием крупных и мелких трещин в земной коре, ростом количества и масштабов землетрясений, повышением вулканической активности. В период с марта по август происходит обратный процесс: трещины закрываются, снижается тектоническая активность, уменьшаются число и сила землетрясений и вулканических извержений [2].

Согласно имеющимся данным об извержениях грязевых вулканов Азербайджана, на каждый месяц года в среднем должно было бы приходиться около 20 событий. Проведенный нами анализ показал, что извержения распределены неравномерно и в течение года имеются всплески грязевулканической активности (рис. 2). В отличие от описанных выше случаев с землетрясениями и магматическими вулканами, привязка к перигелию и афелию здесь не столь четкая. Установленную нами неравномерность распределения грязевулканических извержений по месяцам можно попытаться объяснить следующим образом. С некоторой долей условности можно выделить два периода повышенной грязевулканической активности: март–июнь и сентябрь–октябрь.

Наличие первого из этих периодов может быть обусловлено реакцией грязевых вулканов на прохождение Земли перигелия. Этот отклик характеризуется определенным запаздыванием и довольно сильно растянут во времени. Мы уже говорили выше, что для подготовки грязевулканического извержения необходимо некоторое время. Относительно высокое количество извержений приходится на март – 26 событий (10.9 % от общего числа). Абсолютный максимум приходится на июнь – 33 события (13.8 %). Исходя из этого можно говорить о том, что время задержки отклика грязевых вулканов на максимальное воздействие гравитационных сил Солнца, которое наблюдается в перигелии, составляет несколько месяцев. Второй период активности может быть обусловлен реакцией грязевых вулканов на прохождение Земли афелия. Эта реакция менее выражена: на сентябрь приходится

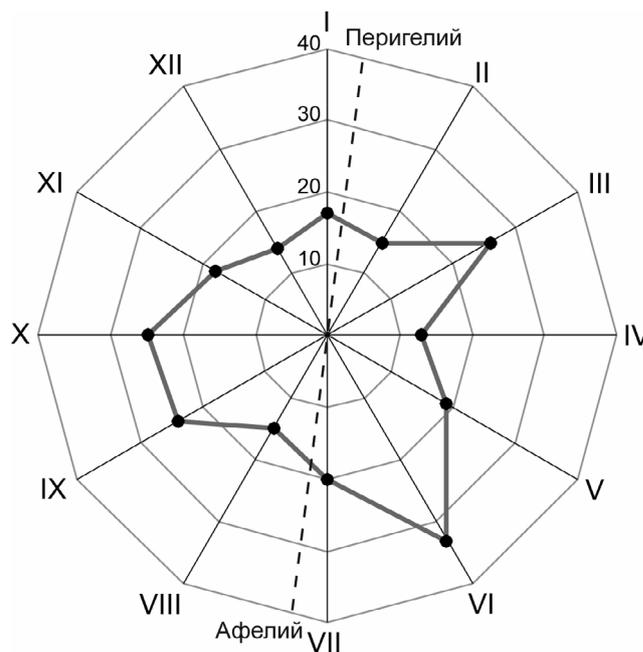


Рис. 2. Активность грязевых вулканов Азербайджана в течение года за период 1827–2014 гг. Вертикальная ось с нумерацией и черные точки, соединенные сплошной линией, показывают количество извержений в каждом месяце.

Fig. 2. Activity of mud volcanoes in Azerbaijan during the year for the period of 1827–2014. The vertical axis with numbering and black dots connected by a solid line show the number of eruptions in each month.

24 события (10 %), на октябрь – 25 (10.5 %). В афелии приливная сила Солнца минимальна. В то же время при переходе через афелий у нашей планеты изменяется состояние механического движения – орбитальная скорость начинает увеличиваться, а угловая скорость уменьшаться. Поэтому грязевулканическая активность усиливается, но относительно слабо. После этого в течение нескольких месяцев извержения грязевых вулканов относительно редки. В частности, на декабрь приходится всего лишь 14 событий (5.9 %).

Для проверки достоверности выявленной неравномерности в распределении извержений грязевых вулканов по месяцам года проведено статистическое моделирование. С помощью генератора случайных чисел для равномерно распределенной случайной величины на отрезке от 1 до 12 (по количеству месяцев в году) мы получали целочисленный массив, состоящий из 239 элементов (по числу извержений с датами, содержащими год и месяц). Для 2000 реализаций этого эксперимента вероятность того, что на какой-либо один месяц в году приходилось меньше 14 извержений, составила

около 56 %, вероятность того, что на какой-либо один месяц приходилось больше 32 извержений, – примерно 4 %, а вероятность того, что в какие-либо месяцы одновременно будет меньше 14 и больше 32 извержений, – всего около 3 %. Таким образом, с большой вероятностью можно говорить о том, что наблюдаемый нами в природе случай, когда в июне зафиксировано 32 извержения, а в декабре – 14, не соответствует равномерному распределению. Следовательно, обнаруженную нами неравномерность в распределении извержений грязевых вулканов по месяцам года можно считать статистически значимой.

Влияние солнечной активности на грязевулканическую деятельность

Солнце активно воздействует на нашу планету, являясь источником электромагнитного излучения, плазмы, солнечных космических лучей, быстрых электронов и т.д. [27]. Число солнечных пятен на поверхности Солнца (числа Вольфа) характеризует состояние солнечной активности – комплекса явлений и процессов, связанных с образованием и распадом в солнечной атмосфере сильных магнитных полей. В начале солнечного цикла пятна возникают на средних широтах солнечного шара ($\pm 30\text{--}40^\circ$), далее они смещаются к экватору с севера и юга. Солнечные пятна достигают максимального числа на широтах около $\pm 10\text{--}20^\circ$, потом их число снижается. Продвижение солнечных пятен к экватору занимает примерно 11 лет (цикл Швабе). По окончании каждого такого 11-летнего цикла магнитное поле у полюсов Солнца изменяет свою полярность. Следовательно, магнитный цикл Солнца составляет около 22 лет (цикл Хейла).

Возможность влияния солнечной активности на геодинамические процессы Земли обсуждается многими исследователями. При этом такая возможность обосновывается по большей части не физическими принципами, а результатами статистического анализа. Физические механизмы обсуждаемой связи привлекаются исследователями позже – в попытках объяснения обнаруженной статистической закономерности. В работе [4] говорится, что в течение последних нескольких столетий прослеживаются два стабильных цикла в эруптивной деятельности магмати-

ческих вулканов – с периодичностью около 22 лет и 44–51 год, что кратно периодичности солнечных циклов. О цикличности извержений магматических вулканов Камчатки и Курильских островов говорится и в работе [36], где выделено несколько разных циклов – в том числе с периодами, примерно равными 11 (10–13 лет) и 22 (22–25 лет) годам. Наличие таких периодичностей позволило предположить связь вулканической и солнечной активности. В работе [13] также отмечают периодичности извержений магматических вулканов 10–12 лет и 22 года, которые хорошо сходятся с 11- и 22-летними циклами солнечной активности. Указано, что магматические вулканы необходимо разделять по геодинамическому типу на вулканы зон сжатия (субдукции) и зон расширения (спрединга, рифта). Деятельность субдукционных вулканов усиливается во время повышенной солнечной активности, тогда как деятельность рифтовых вулканов в это время, наоборот, ослабевает, возрастая во время пониженной солнечной активности.

В работе [13] предложен следующий механизм связи вулканической и солнечной активности. Повышение солнечной активности порождает ряд процессов, которые приводят к нагреву и тепловому расширению мантии в астеносфере, увеличению ее пластичности и ускорению конвективных потоков. Это приводит к усилению процесса спрединга и расширения литосферы Земли. При снижении солнечной активности происходит обратное – остывание мантии и сжатие Земли, которое сопровождается усилением процесса субдукции. Циклы сжатия земной литосферы (субдукции) сменяются циклами расширения (спрединга). От повышения солнечной активности до усиления спрединга проходит не менее 5–7 лет из-за времени протекания некоторых процессов (нагрев мантии и т.д.). Это приводит к запаздыванию отклика геодинамических процессов Земли на половину периода относительно 11-летнего цикла активности Солнца. Поэтому получается так, что процесс спрединга усиливается при снижении солнечной активности, а процесс субдукции – при ее росте. Соответственно, активность магматических вулканов усиливается либо ослабевает совместно с процессами в зонах субдукции или спрединга, к которым они приурочены.

Многие исследователи говорят также о влиянии солнечной активности на сейсмичность (и микросейсмический фон) Земли [5, 6, 10, 11, 13, 15, 37]. В частности, в работе [13] выделяют гармоники с периодами 10–11 лет и 18–22 года для сильных землетрясений $M \geq 7$, а также 9–12 лет и 19–27 лет для землетрясений $M < 7$. Данные периоды довольно хорошо согласуются с 11-летними и 22-летними циклами солнечной активности. В работе [5] также сообщается о зависимости сейсмичности Земли от фаз 11-летнего цикла солнечной активности. Максимумы сильных землетрясений $M \geq 7$ совпадают с максимумами солнечной активности, а также с фазами ее спада – примерно на третий год после максимального количества солнечных пятен. После минимальной солнечной активности прослеживается этап относительного сейсмического затишья.

Один из механизмов отклика сейсмичности на солнечную активность связывают с общепланетарными атмосферными процессами [13]. Рост солнечной активности возмущает квазистационарное состояние атмосферы Земли. Из-за этого атмосферные массы перераспределяются по поверхности планеты, перемещая центр тяжести Земля–атмосфера, что приводит к нарушению фигуры Земли и, в конечном итоге, к разрядке напряжений в земных недрах.

Другой механизм предлагается в работе [15], где также отмечается значительное увеличение числа землетрясений после максимума солнечной активности (при этом эффект зависит еще и от местоположения конкретной тектонической плиты). Солнечный ветер (непрерывный поток плазмы солнечного происхождения), скорость которого увеличивается с ростом пятен на Солнце, оказывает давление на магнитосферу Земли, деформируя и сжимая ее (иногда на четыре радиуса Земли). Это сжатие вызывает землетрясения в районах определенных тектонических плит. В периоды минимумов солнечной активности давление солнечного ветра уменьшается, магнитосфера Земли расширяется, и теперь землетрясения будут чаще в районах других тектонических плит. В работе [5] также говорится о прямой связи усиления сейсмической активности с ростом скорости солнечного ветра, вызывающего возмущения в геомагнитной среде и атмосферной циркуляции Земли.

В качестве возможных механизмов влияния солнечной активности (обуславливающей возмущение магнитосферы Земли) на деформационные поля в земной коре предлагаются следующие: изменение величины и конфигурации теллурических токов; магнитострикционный эффект; обратный пьезоэлектрический эффект; действие пондеромоторных сил [6, 10, 11].

В работе [6] обсуждается механизм преобразования электромагнитной энергии в колебательную в трещиновато-пористой среде в присутствии электропроводящих флюидов. При расширении и сжатии трещин происходит резкое изменение электрического сопротивления жидкости в токовом канале. В диэлектрической среде вокруг токового канала будет наводиться противоЭДС с высокой напряженностью электромагнитного поля. Наведенное поле возбуждает механические колебания стенок трещины, которые стимулируют рост трещин во вмещающей среде. Одним из следствий этих динамических эффектов является более интенсивное поступление воды к вершинам трещин, что оказывает существенное влияние на их дальнейший рост.

В работах [10, 11] при объяснении результатов натурального эксперимента предполагается, что наиболее вероятным механизмом преобразования энергии между геомагнитными импульсами и сейсмическими фоновыми колебаниями являются наведенные электрические токи, которые концентрируются в обводненных (т.е. хорошо проводящих) зонах. При этом максимум наведенных в среде электрических токов определяется количеством проводящего флюида и его конкретными электрохимическими свойствами. Отметим здесь, что проводимость (минерализация) грязевулканических вод в разных вулканах может различаться на два порядка [38].

Исследований, в которых рассматривается корреляция между активностью Солнца и деятельностью грязевых вулканов Земли, мало. В работе [19] на основе данных ежедневных замеров дебита грязи из грифонов грязевого вулкана Ахтала (г. Гурджаани, Грузия) за 1951–1977 гг. выявлены годовая, 4- и 11-летняя периодичности изменений активности вулкана. Сообщается, что в целом повышенная активность грязевого вулкана Ахтала при-

урочена к периодам минимальной солнечной активности. Отмечается, что всплески грязевулканической активности, наблюдаемые в 1954 и начале 1955 г., в конце 1961 и 1962 гг., а также в конце 1974 и 1975 гг., произошли перед или после точки перехода солнечной активности от максимума к минимуму (или наоборот). В работе [13] говорится о единых циклах грязевулканических извержений и солнечной активности с периодами 5–6 лет, 8–9, 10–12, 14–15 лет и 22 года. При этом в числах Вольфа наиболее ярко выделяются 11-летние циклы, а в активизации грязевых вулканов – 9- и 22-летние циклы. Отмечается также, что грязевые вулканы расположены в зонах Заварицкого–Беньюфа и, следовательно, отражают деятельность процессов субдукции. Поэтому активизация грязевых вулканов синхронна с активизацией субдукционных магматических вулканов.

В работе [36] в эруптивной деятельности грязевых вулканов юго-восточного Кавказа и прилегающих районов Каспийского моря выделено несколько разных циклов: годовые (1–2), реже 3 года), 11-летние (10–13 лет), 22-летние (22–25 лет), полувековые (47–53 года), 60-летние (59–66 лет) и 80-летние (80–86 лет). Отмечается, что малые годовые периоды отражают в большей степени самостоятельную (естественную) вариабельность грязевулканической деятельности. Указано, что периодам усиления солнечной активности отвечают периоды ослабления грязевулканической активности, и наоборот.

В работе [36] подчеркивается, что у вулканов, располагающихся в разных регионах нашей планеты на больших расстояниях друг от друга, зачастую прослеживаются схожие периодичности активизации. Объяснение этому основано на том, что вулканы (как грязевые, так и магматические) повсеместно связаны с разломами, причем вулканы особо активны в зонах пересечения разломов разных направлений. Периодичность вулканических извержений является неким отражением соответствующей цикличности в создании благоприятных условий для проницаемости и поднятия вулканических масс на поверхность Земли. В свою очередь, это демонстрирует периодичность тектонических движений блоков по разломам. Разносторонние перемещения

блоков относительно разломов создают зоны проницаемости с транзитными путями, облегчающими перемещение грязевулканического и магматического материала с больших глубин на земную поверхность. Периодичность таких тектонических подвижек в земной коре коррелирует с взаимодействием земных и космических факторов, влияющих на эволюцию (развитие) планеты.

Из анализа работ разных исследователей видно, что их выводы в отношении связи между солнечной активностью и грязевулканической деятельностью могут расходиться друг с другом. В частности, одни исследователи утверждают, что 11-летние циклы солнечной и грязевулканической активности происходят синфазно [13], другие говорят, что они находятся в противофазе [36]. Отметим, что эти исследователи использовали данные за разные интервалы времени: 1850–2000 [13] и 1800–1960 гг. [36].

Нами выполнен анализ возможной связи между солнечной активностью и деятельностью грязевых вулканов Азербайджана на временном интервале 1946–2018 гг. Можно утверждать, что имеющийся каталог грязевулканических извержений Азербайджана за 1810–2018 гг. является неполным, т.е. не все произошедшие извержения были зафиксированы. По нашим оценкам, полнота этого каталога составляет около 52 % [18]. При этом степень полноты каталога различна для разных интервалов времени, границы которых можно приближенно выделить на основе среднегодового количества извержений [24]. Число пропусков извержений заметно больше до 1946 г., что мы объясняем отсутствием в то время каких-либо систематических наблюдений за грязевыми вулканами. Поэтому для нашего анализа более корректно использовать интервал времени с 1946 по 2018 г., для которого имеются максимально точные и надежные данные об извержениях.

В качестве анализа эруптивной деятельности грязевых вулканов Азербайджана были построены графики ежегодного числа извержений в период с 1946 по 2018 г. и среднегодового количества солнечных пятен за аналогичный период времени (рис. 3). Видно, что в деятельности грязевых вулканов выделяются циклы, период которых находится в интерва-

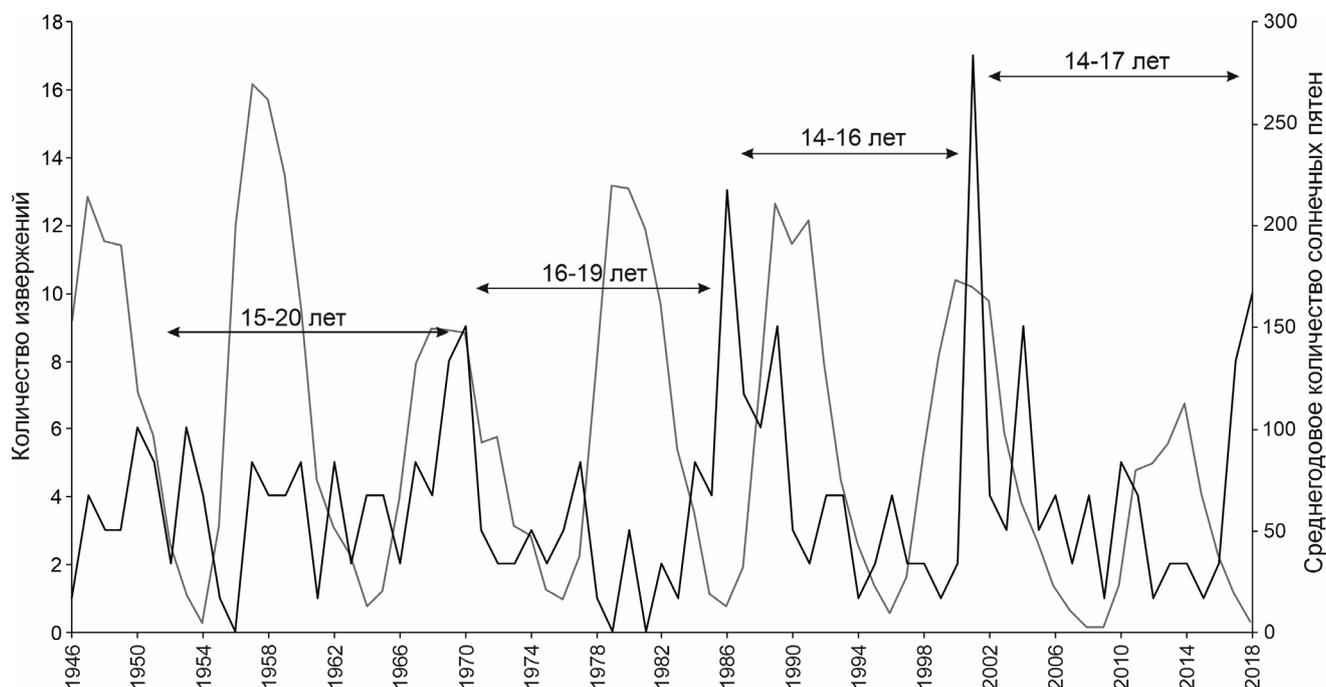


Рис. 3. Среднегодовое количество солнечных пятен [25] – серая линия. Ежегодное количество извержений грязевых вулканов Азербайджана [20–22] – черная линия.

Fig. 3. The average annual number of sunspots [25] – gray line. The annual number of mud volcanic eruptions in Azerbaijan [20–22] – black line.

ле от 14 до 20 лет. Эти циклы мы не можем напрямую сопоставить с 11- или 22-летними циклами солнечной активности. Поскольку цикл грязевулканической активности приблизительно в полтора раза длиннее 11-летнего цикла солнечной активности, то максимумы количества извержений приходятся как на максимумы, так и на минимумы чисел Вольфа. Возможно, цикличность извержений грязевых вулканов Азербайджана лучше сопоставить с нутацией Земли, поскольку периодичность нутационных колебаний близка к периодичности грязевулканических извержений. Нутацией называется покачивание оси вращения Земли, которое обусловлено гравитационным воздействием и положением в пространстве окружающих Землю космических тел (в первую очередь Солнца и Луны), а также внутренними процессами самой планеты [26]. Главная нутационная гармоника имеет период 18.6 года. Другие основные гармоники нутации имеют периоды 13.7 сут, 27.6 сут, 6 мес., 1 год.

Широтное распределение грязевых вулканов на Земле

На Земле существуют области (пояса), характеризующиеся наиболее активным прояв-

лением геодинамических процессов. Зачастую такие зоны выделяют вблизи так называемых «критических параллелей (широт)» $\pm 35^\circ$ [7–9, 39]. Предполагается, что одной из причин проявления высокой эндогенной активности в определенных зонах планеты – широтных поясах – является максимальная концентрация там деформаций земного эллипсоида из-за чередования фаз растяжения и сжатия пород и, как следствие, возникающих дизъюнктивных деформаций (трещины, разрывы, разломы) земной коры. Данные процессы обусловлены гравитационной и центробежной силами Земли, изменением скорости ее вращения вокруг своей оси и прецессией планеты [7, 9]. Прецессией называется изменение направления земной оси вращения в пространстве: эта ось описывает коническую поверхность вокруг оси земной орбиты (т.е. перпендикуляра орбитальной плоскости Земли). Период прецессии составляет примерно 25 800 лет [26]. Основным фактором, влияющим на изменение скорости вращения Земли и положение земной оси в пространстве, являются приливные силы Луны и Солнца [7, 9]. При ускорении вращения Земли происходит сжатие пород в полярных зонах (уменьшение полярного радиуса)

и растяжение – в экваториальной зоне (увеличение экваториального радиуса). При замедлении вращения Земли сжатие в полярных зонах и растяжение в экваториальной зоне уменьшаются. Возникает дополнительная энергия, которая высвобождается неравномерно по широтным поясам.

Как мы уже говорили выше, на сейсмическую активность планеты могут влиять не только земные (внутренние), но и различные космические (внешние) факторы. В работе [9] проанализированы 1838 сильных сейсмических событий с магнитудой $M \geq 7$. Отмечается четкий максимум землетрясений в пределах параллелей $35\text{--}45^\circ$ с.ш., а также локальные максимумы для зон $10\text{--}20^\circ$ с.ш. и $0\text{--}10^\circ$ ю.ш. Схожую картину дал анализ широтного распределения более 100 тыс. землетрясений с магнитудой $M \geq 4$ за 1973–1993 гг., при котором выделено два максимума сейсмической активности в пределах $35\text{--}40^\circ$ с.ш. и вблизи 10° ю.ш. [7, 39]. И примерно к такому же выводу пришли авторы [40]: наибольшие проявления сейсмической активности наблюдаются на широтах около $30\text{--}40^\circ$ в Северном полушарии и $0\text{--}10^\circ$ в Южном. Исследование широтного распределения частоты землетрясений с магнитудами $M = 3$ и $M = 4$ показало для этих землетрясений устойчивое присутствие в распределении квадруплета максимумов на широтах $|33| \pm 5^\circ$ и $|10| \pm 5^\circ$ [41]. Эти широтные пояса с повышенным количеством землетрясений малых магнитуд располагаются не локально в одном месте, а по всему периметру Земли. Таким образом, в целом число землетрясений уменьшается от экватора к полюсам Земли. Вблизи полюсов сейсмические события практически вообще не происходят, за пределами широт $\pm 80^\circ$ упоминаний о каких-либо землетрясениях нет.

Возможно, что локализация максимума сейсмической активности обусловлена широтным распределением континентальной коры, в которой наблюдается преобладающая часть сейсмических событий [9]. Максимум в распределении земной коры континентального типа приходится на широты $35\text{--}40^\circ$ с.ш. В Южном – «океаническом» полушарии приливная энергия может в большей степени расходоваться в гидросфере, а в «континентальном» Северном полушарии она в боль-

шей степени передается литосфере. Поэтому Северное полушарие отличается более высокой сейсмической активностью по сравнению с Южным. Отмечено [13], что около 99 % всех землетрясений происходит на границах тектонических плит. Примерно 80 % сейсмических событий приходится на субдукционные границы Тихоокеанской плиты и соседствующих с ней главных литосферных плит [13]. Эти границы, как известно, находятся в Северном полушарии Земли. В работе [41] аномально высокие значения сейсмичности в узких полосах широт объясняют приуроченностью этих зон к границам внешнего ядра с мантией и внутренним ядром, спроецированным на земную поверхность в направлении перпендикулярном оси вращения Земли.

В работе [9] на основе анализа 1030 извержений магматических вулканов Земли за период 1900–1977 гг. выделено три широтные зоны в Северном полушарии ($10\text{--}20^\circ$, $30\text{--}40^\circ$, $50\text{--}60^\circ$) и одна в Южном ($0\text{--}10^\circ$), на которые приходятся максимумы числа вулканических извержений. При этом количество извержений в целом убывает от экватора к полюсам. В связи с этим предполагается, что широтное распределение вулканических извержений отражает характер деформаций в земной коре, который имеет вид продольной стоячей волны (растяжения и сжатия) с затухающей от экватора к полюсам амплитудой колебаний. Как и в случае с землетрясениями, Северное полушарие отличается более высокой вулканической активностью по сравнению с Южным. Дизъюнктивные деформации в земной коре являются одним из возможных триггеров усиления активности магматических вулканов Земли. Благодаря возникшим трещинам и разрывам давление в насыщенном газами магматическом расплаве уменьшается. Растворенные в расплаве газы переходят в газообразное состояние с последующим увеличением их объема. Газы поднимаются по образовавшимся трещинам к поверхности Земли, захватывая с собой магму. Схожие данные о широтном распределении извержений магматических вулканов Земли приводятся в работе [40], где максимальная вулканическая активность отмечается в пределах $30\text{--}40^\circ$ с.ш. и $0\text{--}10^\circ$ ю.ш.

Логично предположить, что закономерности широтного распределения землетрясений

и извержений магматических вулканов могут быть применимы также и к грязевым вулканам. Однако по сравнению с землетрясениями и извержениями, которые регистрируются достаточно давно, повсеместно и надежно, большие и представительные выборки данных об извержениях грязевых вулканов Земли отсутствуют. Поэтому анализ широтного распределения извержений грязевых вулканов Земли провести попросту невозможно. В то же время имеется информация о расположении на Земле 2500 известных грязевых вулканов [20] (рис. 4). Можно допустить, что в регионах с большим числом грязевых вулканов можно ожидать большее количество извержений. Поэтому мы решили проанализировать широтное распределение числа грязевых вулканов на Земле и сравнить с широтными максимумами частоты землетрясений и извержений магматических вулканов. Выяснилось, что отчет-

ливо выделяются две области максимального количества грязевых вулканов – в пределах широт 10–15° с.ш. и 30–45° с.ш., на которые приходится примерно 22 и 46 % от общего числа вулканов соответственно (рис. 5). В сумме в этих двух широтных зонах располагается более половины всех грязевых вулканов мира – около 68 %. В границах 10–15° с.ш. больше всего грязевых вулканов сосредоточено в районе о. Тринидад (около 200) и в пределах Барбадосской аккреционной призмы, включающей о. Барбадос (около 250), что вместе составляет основную часть всех вулканов, расположенных в данном широтном поясе. В пределах 30–45° с.ш. наиболее крупные по количеству грязевых вулканов следующие провинции: прилегающая к Египту акватория Средиземного моря (около 160 вулканов), восточная часть бассейна Средиземного моря (около 230), территория Азербайджана и при-

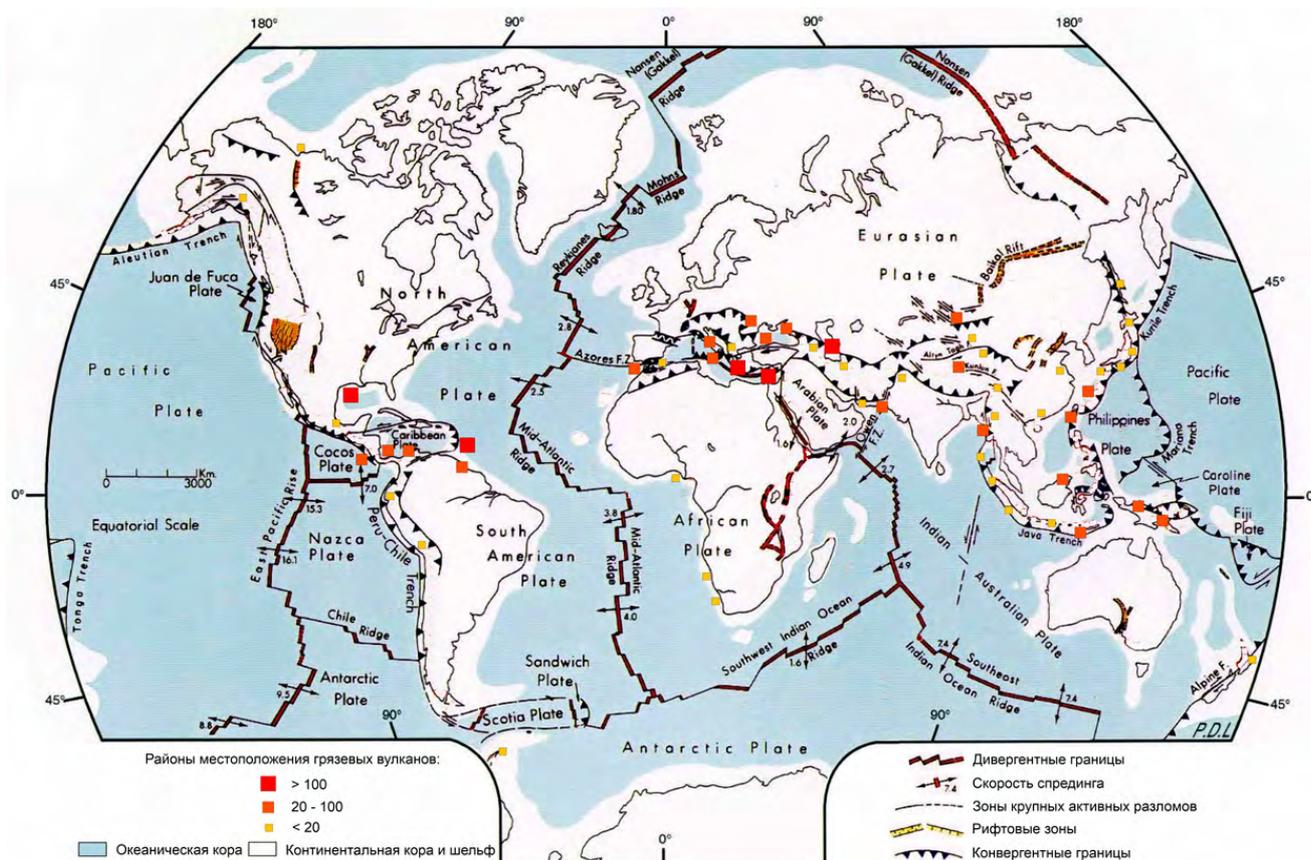


Рис. 4. Расположение районов проявления грязевого вулканизма на Земле по отношению к границам тектонических плит и областям распространения континентального шельфа. Рисунок выполнен на основе карты глобальной тектонической и вулканической активности за последний миллион лет [42] с учетом сведений о геоморфологических особенностях морского дна из работы [43].

Fig. 4. The location of areas of mud volcanism on the Earth in relation to the boundaries of tectonic plates and areas of continental shelf distribution. The figure is based on a map of global tectonic and volcanic activity over the past million years [42], taking into account information about the geomorphological features of the seafloor from the work [43].

легающая к нему акватория Каспийского моря (около 350 вулканов).

По количеству грязевых вулканов Северное полушарие значительно преобладает над Южным: севернее экватора располагаются почти 95 % всех известных грязевых вулканов. В Южном полушарии наибольшее количество грязевых вулканов – примерно 3 % от их общего числа – находится в границах 5–10° ю.ш. Можно было бы предположить, что это связано с неравномерным распределением суши на Земле, поскольку для идентификации грязевых вулканов на море и на суше используются разные подходы. Наземные грязевые вулканы легко обнаруживают себя на суше по сравнению с морскими вулканами, которые малозаметны в глубоководных районах морского дна. Многие подводные грязевые вулканы недоступны для непосредственного наблюдения и обнаруживаются лишь по ряду косвенных признаков, таким как повышенная газонасыщенность морских донных отложений и расположенной над ними водной толщи, характерная форма рельефа дна, определенный литологический состав донных отложений,

существование в осадочном чехле зон с повышенным поглощением сейсмических волн, наличие подходящих тектонических нарушений и т.д. Кроме того, морские экспедиционные исследования гораздо более дорогостоящие по сравнению с аналогичными наземными исследованиями. Поэтому основная часть морских грязевых вулканов обнаружена в пределах континентального шельфа – относительно неглубокой выровненной области подводной окраины материка (рис. 4). В настоящее время известно около 1100 наземных грязевых вулканов и около 1400 – морских [20]. Суша занимает в Северном полушарии площадь около 100.5 млн км², а в Южном – около 48.5 млн км², т.е. разница примерно в 2 раза. Тогда как количество грязевых вулканов в Северном полушарии примерно в 18 раз больше, чем в Южном. Даже если учесть, что помимо площади участков суши играет роль также длина периметра этих участков (протяженность шельфовой зоны), то и в этом случае неравномерность распределения суши не позволяет объяснить асимметричность распределения грязевых вулканов в разных полушариях. Ближе к по-

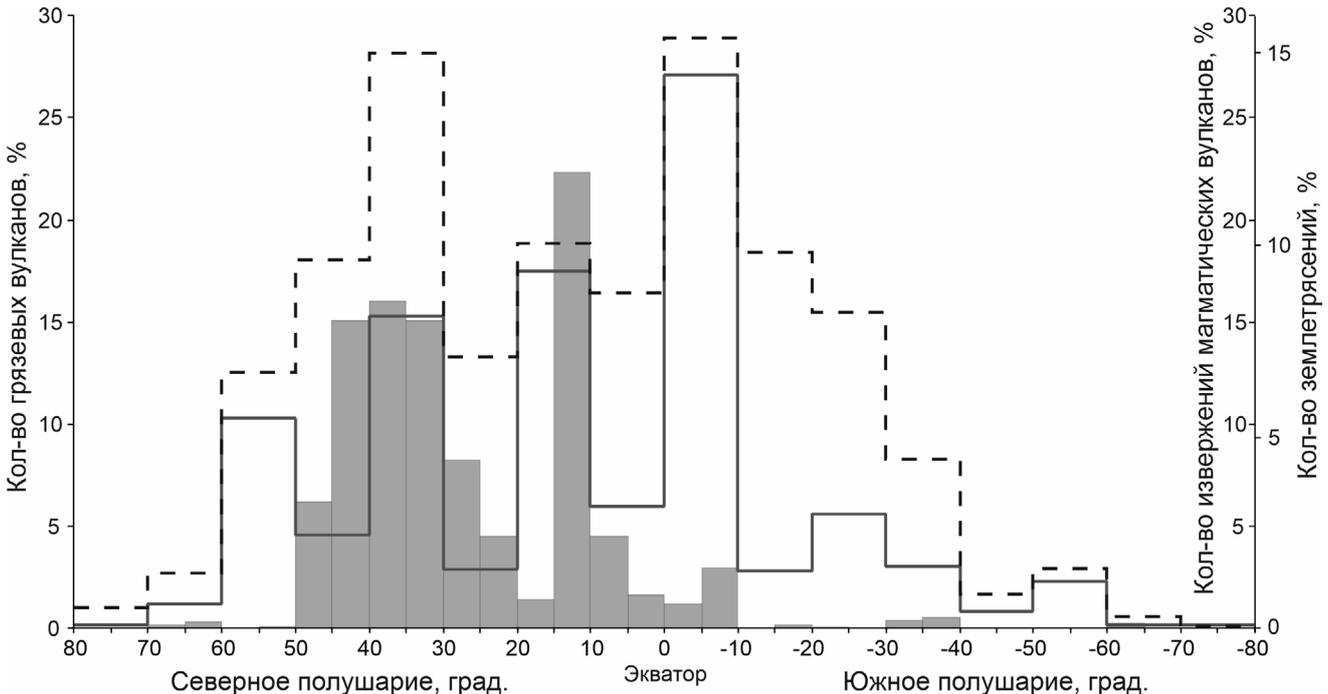


Рис. 5. Распределение количества землетрясений (штриховая линия) [39], извержений магматических вулканов (сплошная линия) [9], количества грязевых вулканов мира (серые столбцы) по широтным поясам Земли. Левая вертикальная ось значений показывает количество грязевых вулканов (в процентах), правая – количество землетрясений и извержений магматических вулканов (в процентах).

Fig. 5. Distribution of the number of earthquakes (dashed line) [39], eruptions of magmatic volcanoes (solid line) [9], the number of mud volcanoes in the world (gray columns) by latitudinal belts of the Earth. The left vertical axis of values shows the number of mud volcanoes (in percent), the right one shows the number of earthquakes and eruptions of magmatic volcanoes (in percent).

люсам – за пределами широт $\pm 70^\circ$ – грязевые вулканы либо отсутствуют, либо еще пока не открыты. Например, арктический регион, который в последнее время очень активно изучается и осваивается, богат естественными выходами углеводородных газов. В силу определенных геологических условий можно предполагать, что в акваториях Арктики имеются грязевые вулканы.

В целом мы видим, что широтные пояса с наибольшим количеством грязевых вулканов на Земле неплохо согласуются с широтными зонами с максимальным количеством землетрясений и извержений магматических вулканов. В основном это совпадение наблюдается для Северного полушария, в котором пояса вулканической и сейсмической активности приходятся на $30\text{--}45^\circ$ с.ш. и $10\text{--}20^\circ$ с.ш. В то же время выбивается из общей закономерности наличие высокого пика числа грязевых вулканов в интервале $10\text{--}15^\circ$ с.ш. и отсутствие какого-либо значимого пика в интервале $0\text{--}10^\circ$ ю.ш. (рис. 5). Мы полагаем, что это можно объяснить следующим образом. Большая часть грязевых вулканов Земли приурочена к конвергентным границам литосферных плит, к которым, как известно, приурочена основная геодинамическая активность. При этом большая часть морских грязевых вулканов зафиксирована в зонах континентального шельфа (возможно, из-за более легкого обнаружения вулканов по сравнению с глубоководной частью морского дна). Сочетание обширных областей континентального шельфа с конвергентными границами литосферных плит менее благоприятно в Южном полушарии (рис. 4). Поэтому мы наблюдаем такую резкую асимметрию в широтном распределении грязевых вулканов на Земле с преобладанием вулканов в Северном полушарии, т.е. отсутствие пика в интервале $0\text{--}10^\circ$ ю.ш. При этом надо заметить, что это не означает малочисленности грязевых вулканов в Южном полушарии на самом деле, просто они могут быть там еще не обнаружены (например, в глубоководных частях морского дна). Пик в интервале $10\text{--}15^\circ$ с.ш. обусловлен большим количеством морских грязевых вулканов в районе о. Тринидад и в пределах Барбадосской аккреционной призмы. Вероятность лучшей изученности морского дна в этом районе по сравнению с другими районами Мирового океана может

объяснить наличие обсуждаемого пика. Другими словами, наблюдаемая асимметрия в широтном распределении грязевых вулканов на Земле может являться следствием недостаточной изученности человеком Мирового океана, а не отражением реальной геологической обстановки.

Заключение

Многочисленные исследования показывают возможность влияния разных космических факторов на геодинамические процессы. В нашей работе по литературным данным приведены примеры воздействия приливных сил Луны и Солнца, солнечной активности, изменения угловой скорости вращения Земли на сейсмичность и деятельность флюидодинамических систем (подземных скважин, магматических вулканов, нефтегазовых залежей). Рассмотрены также механизмы, которые предлагают разные исследователи для объяснения влияния космических факторов на эти явления. По аналогии можно ожидать, что космические факторы влияют и на активность грязевых вулканов Земли. Анализ такого влияния выполнен нами главным образом на примере грязевых вулканов Азербайджана, для которых существует наиболее полный каталог извержений (431 событие за почти 210 лет). По результатам нашего анализа и литературным данным можно сделать следующие выводы.

Активность грязевых вулканов может усиливаться после сильных сизигийных приливов (фазы новолуния и полнолуния), благодаря которым в приливных выступах Земли происходят более сильные деформации земной коры. Соответственно, перед новолунием и полнолунием наблюдается уменьшение числа грязевулканических извержений. Если триггером повышения активности являются непосредственно сами сизигийные приливы, то отклик грязевых вулканов на приливное воздействие Луны запаздывает на 5–10 сут. По-видимому, это то необходимое время, которое занимают процессы подготовки извержения: формирование новых трещин, перемещение пузырьков газа и др.

Извержения грязевых вулканов распределены неравномерно в течение года. Выделяются два пика грязевулканической активности: в марте–июне и сентябре–октябре. Первый пик может быть откликом грязевых вулканов на прохождение Землей перигелия

(2–5 января). В этом случае отклик запаздывает на несколько месяцев и достаточно сильно растянут во времени. Абсолютный максимум извержений приходится на июнь – 13.8 % от общего числа (33 события). Второй пик может быть реакцией грязевых вулканов на прохождение Землей афелия (1–5 июля). Эта реакция менее выражена и происходит с меньшим запаздыванием. Запаздывание, вероятно, обусловлено длительностью протекания процессов подготовки извержения: проработка путей миграции флюидов, миграция флюидов с более глубоких горизонтов в приповерхностные резервуары и др. Мы полагаем, что, в отличие от отклика грязевых вулканов на сизигийные приливы, здесь основную роль играют уже те процессы внутри грязевых вулканов, для которых требуется большее характерное для воздействия время.

Вопреки мнению разных исследователей, мы не находим связи между солнечной активностью и грязевулканическими извержениями. Максимумы извержений грязевых вулканов повторяются с периодичностью 14–20 лет. Эта цикличность не соотносится напрямую с 11- или 22-летними циклами солнечной активности: максимумы грязевулканических извержений приходятся как на максимумы, так и на минимумы чисел Вольфа.

Мы полагаем, что циклы грязевулканической активности лучше всего соотносятся с главным нутационным колебанием земной оси. Это колебание имеет период 18.6 года, равный периоду обращения лунных узлов (точки пересечения орбиты Луны с плоскостью эклиптики).

Анализ широтного распределения числа грязевых вулканов на Земле показал, что оно неплохо согласуется с широтным распределением числа землетрясений и извержений магматических вулканов. В Северном полушарии пояса максимальной концентрации грязевых вулканов приходится на 30–45° с.ш. и 10–15° с.ш., что составляет около 22 и 46 % от общего числа вулканов соответственно. В Южном полушарии наибольшее количество грязевых вулканов (около 3 % от их общего числа) находится в границах 5–10° ю.ш. За пределами широт $\pm 70^\circ$ грязевые вулканы отсутствуют, либо о них попросту еще ничего не известно.

Список литературы

1. Беседина А.Н., Виноградов Е.А., Горбунова Э.М., Кабыченко Н.В., Свинцов И.С., Пигулевский П.И., Свистун В.К., Щербина С.В. **2015**. Отклик флюидонасыщенных коллекторов на лунно-солнечные приливы. Ч. 1. Фоновые параметры приливных компонент в смещении грунта и уровне подземных вод. *Физика Земли*, 1: 73–82.
2. Борисов К.И., Горшков Л.К., Софьин А.П., Федорова Л.А. **2019**. Природно-техногенные катастрофы как проявления геодинамической нестабильности земной коры. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, 330(6): 126–133. <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/6/2134>
3. Сибгатулин В.Г., Перетокин С.А., Кабанов А.А. **2016**. Резонансы гравитационных приливов – мощный энергетический источник геодинамических процессов в земной коре. *Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии*, 9(2): 146–165.
4. Добрецов Н.Л. **2015**. О периодичности и разномасштабных факторах вулканических извержений. *Геология и геофизика*, 56(12): 2107–2117. <https://doi.org/10.15372/GiG20151201>
5. Одинцов С.Д., Иванов-Холодный Г.С., Георгиева К. **2007**. Солнечная активность и глобальная сейсмичность Земли. *Известия РАН. Серия физическая*, 71(4): 608–610.
6. Сычева Н.А., Богомолов Л.М., Сычев В.Н. **2011**. О геэффективных солнечных вспышках и вариациях уровня сейсмического шума. *Физика Земли*, 3: 55–71.
7. Левин Б.В. **2006**. О природе некоторых периодических изменений в сейсмическом режиме Земли. *Вестник ДВО РАН*, 1: 51–58.
8. Левин Б.В., Сасорова Е.В., Доманский А.В. **2013**. Свойства «критических широт», вариации вращения и сейсмичность Земли. *Вестник ДВО РАН*, 3: 3–8.
9. Федоров В.М. **2019**. Вращение Земли и особенности широтного распределения вулканической и сейсмической активности. *Жизнь Земли*, 41(3): 250–263. https://doi.org/10.29003/m668.0514-7468.2019_41_3/250-263
10. Рябова С.А. **2018**. Исследование возмущения микросейсмического фона геомагнитными импульсами на среднеширотной обсерватории «Михнево». *Вестник НЯЦ РК*, 2: 36–43.
11. Рябова С.А., Спивак А.А. **2017**. Возмущение сейсмического фона геомагнитными импульсами. *Геофизические исследования*, 18(2): 65–76. <https://doi.org/10.21455/gr2017.2-4>
12. Федоров В.М. **2001**. Сопоставление хронологии вулканической активности Земли с характеристиками ее орбитального движения. *Вулканология и сейсмология*, 5: 65–67. EDN: VLBSMB
13. Хаин В.Е., Халилов Э.Н. **2009**. *Цикличность геодинамических процессов: ее возможная природа*. М.: Научный мир, 520 с.

14. Kasahara J. **2002**. Tides, earthquakes, and volcanoes. *Science*, 297: 348–349.
15. Tavares M., Azevedo A. **2011**. Influences of solar cycles on earthquakes. *Natural Science*, 3(6): 436–443. <https://doi.org/10.4236/ns.2011.36060>
16. Адушкин В.В., Рябова С.А., Спивак А.А. **2017**. Эффекты лунно-солнечного прилива в земной коре и атмосфере Земли. *Физика Земли*, 4: 76–92.
17. Свинцов И.С., Беседина А.Н., Виноградов Е.А., Горбунова Э.М., Кабыченко Н.В. **2015**. Характеристика состояния флюидонасыщенного коллектора по данным прецизионного мониторинга уровня подземных вод. *Горный информационно-аналитический бюллетень (науч.-техн. журнал)*, 8: 158–165.
18. Ustyugov G.V., Ershov V.V. **2021**. Mud volcanism as a dangerous phenomenon for oil and gas facilities. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 946: 012030, 6 p. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/946/1/012030>
19. Валяев Б.М., Телепин М.А., Бережная Е.А., Вахтангишвили В.Х., Миндорашвили Г.К., Титков Г.А. **1980**. Корреляция грязевулканической деятельности с солнечной активностью (на примере вулкана Ахтала, Грузия). *Доклады Академии наук СССР*, 255(5): 1204–1207.
20. Алиев Ад.А., Гулиев И.С., Дадашев Ф.Г., Рахманов Р.Р. **2015**. *Атлас грязевых вулканов мира*. Баку: Nafta-Press, 332 с.
21. Юсубов Н.П., Гулиев И.С. **2022**. *Грязевой вулканизм и углеводородные системы Южно-Каспийской впадины*. Баку: Элм, 168 с.
22. Baloglanov E.E., Abbasov O.R., Akhundov R.V. **2018**. Mud volcanoes of the world: classifications, activities and environmental hazard (informational-analytical review). *European J. of Natural History*, 5: 12–26.
23. *Online calculator for determining the age of the Moon*. URL: <https://planetcalc.com/524/> (accessed 23.11.2022).
24. Устюгов Г.В., Ершов В.В. **2019**. Извержения грязевых вулканов Азербайджана и их корреляция с сильными землетрясениями. *Вестник ВГУ. Серия: Геология*, 4: 6–13.
25. *SILSO, World Data Center. Sunspot number and long-term Solar Observations*. On-line sunspot number catalogue. Royal observatory of Belgium, Brussels. URL: <http://www.sidc.be/silso/> (accessed 22.11.2022).
26. Сурдин В.Г. **2002**. *Пятая сила*. М.: Изд-во МЦНМО, 40 с.
27. Кузнецов В.В. **2011**. *Физика Земли*. Новосибирск, 842 с.
28. Швец А.И. **2015**. *Физика Земли*. Санкт-Петербург: НОИР г. Санкт-Петербург, 208 с.
29. Хабитуев Д.С., Шпынев Б.Г., Татарников А.В., Щеглова Е.С. **2017**. Влияние гравитационного прилива Солнца и Луны на динамику параметров атмосферы, ионосферы и океана. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли и космоса*, 14(5): 321–339. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-5-321-339>
30. Мельхиор П. **1968**. *Земные приливы*. М.: Мир, 483 с.
31. Боканенко Л.И., Галаганов О.Н., Передерин В.П. **1999**. Вариации уровня подземных вод Гармского полигона (Таджикистан) и возможности прогнозирования землетрясений. *Физика Земли*, 5: 72–82.
32. Мирзоев К.М., Николаев А.В., Мирзоев В.К., Лукк А.А., Харламов А.И., Дещеревский А.В. **2010**. Способы увеличения добычи нефти с учетом приливных движений Земли. *Экспозиция Нефть Газ*, 4(10): 58–62.
33. Муслимов Р.Х., Мирзоев К.М., Ахмадиев Р.Г., Агафонов В.А., Хузин Р.Р., Тимиров В.С., Мирзоев В.К., Лукк А.А., Дещеревский А.В. **2006**. Влияние гравитационных лунно-солнечных приливов земной коры на добычу нефти. *Нефтяное хозяйство*, 8: 111–115.
34. Мирзоев К.М., Николаев А.В., Лукк А.А., Дещеревский А.В., Мирзоев В.К. **2011**. Приливные деформации земной коры как природный насос для увеличения нефтеотдачи. *Каротажник*, 200: 78–93.
35. Kikvadze O.E., Lavrushin V.Yu., Polyak B.G. **2020**. Chemical geothermometry: application to mud volcanic waters of the Caucasus region. *Frontiers of Earth Science*, 14: 738–757. <https://doi.org/10.1007/s11707-019-0810-8>
36. Тамразян Г.П. **1963**. Пространственно-временная сопряженность деятельности вулканов, как один из признаков наличия глубинного разлома, и некоторые вопросы ее периодичности. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*, 2: 3–19.
37. Гульельми А.В., Клайн Б.И. **2020**. О воздействии Солнца на сейсмичность Земли. *Солнечно-земная физика*, 6(1): 111–115. <https://doi.org/10.12737/szf-61202010>
38. Никитенко О.А., Ершов В.В. **2021**. Глобальные закономерности формирования химического состава грязевулканических вод. *Геохимия*, 66(10): 887–903.
39. Левин Б.В., Чирков Е.Б. **1999**. Особенности широтного распределения сейсмичности и вращения Земли. *Вулканология и сейсмология*, 6: 65–69.
40. Белов С.В., Шестопалов И.П., Харин Е.П. **2011**. Эндогенная активность Земли и ее связь с солнечной и геомагнитной активностью. *Использование и охрана природных ресурсов России: Бюллетень*, 3: 10–14.
41. Булатова Н.П. **2005**. Широтное распределение сейсмичности Земли в зависимости от положения Солнца и Луны. *Вулканология и сейсмология*, 2: 57–78. EDN: HSFQDQF
42. Lowman P.D.Jr. **1997**. Global tectonic and volcanic activity of the last one million years. *NASA/Goddard Space Flight Center*. Greenbelt, MD 20771. URL: <https://core2.gsfc.nasa.gov/research/lowman/lowman.html> (accessed 13.03.2023).
43. Harris P.T., Macmillan-Lawer M., Rupp J., Baker E.K. **2014**. Geomorphology of the oceans. *Marine Geology*, 352: 4–24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mar-geo.2014.01.011>

References

- Besedina A.N., Vinogradov E.A., Gorbunova E.M., Kabychenko N.V., Svintsov I.S., Pigulevskiy P.I., Shcherbina S.V., Svistun V.K. **2015**. The response of fluid-saturated reservoirs to lunisolar tides. Pt 1. Background parameters of tidal components in ground displacements and groundwater level. *Izv., Physics of the Solid Earth*, 51(1): 70–79. <https://doi.org/10.1134/s1069351315010036>
- Borisov K.I., Gorshkov L.K., Sofin A.P., Fedorova L.A. **2019**. Natural-technological disasters as manifestations of geodynamic instability of the Earth's crust. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 330(6): 126–133. (In Russ.). <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/6/2134>
- Sibgatulin V.G., Peretokin S.A., Kabanov A.A. **2016**. Resonances of gravitational tides as a powerful energy source of the geodynamic processes in Earth's crust. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Tekhnika i tekhnologii = Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*, 9(2): 146–165. (In Russ.). <https://doi.org/10.17516/1999-494x-2016-9-2-146-16>
- Dobretsov N.L. **2015**. Periodicity and driving forces of volcanism. *Geologiya i geofizika = Russian Geology and Geophysics*, 56(12): 1663–1670. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2015.11.001>
- Odintsov S.D., Ivanov-Kholodnyi G.S., Georgieva K. **2007**. Solar activity and global seismicity of the Earth. *Izvestiya RAN. Seriya fizicheskaya = Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 71(4): 593–595. <https://doi.org/10.3103/s1062873807040466>
- Sycheva N.A., Bogomolov L.M., Sychev V.N. **2011**. On geoeffective solar flares and variations of the seismic noise level. *Izv., Physics of the Solid Earth*, 47(3): 207–222. <https://doi.org/10.1134/s1069351310101027>
- Levin B.W. **2006**. About the nature of some periodic changes in seismic regime of the Earth. *Vestnik DVO RAN = Vestnik of Far Eastern Branch of RAS*, 1: 51–58. (In Russ.).
- Levin B.W., Satorova E.V., Domanskiy A.V. **2013**. Features of “critical latitudes”, variations of rotation and seismicity of the Earth. *Vestnik DVO RAN = Vestnik of Far Eastern Branch of RAS*, 3: 3–8. (In Russ.).
- Fedorov V.M. **2019**. Earth's rotation and features of latitudinal gradients of volcanic and seismic activity. *Zhizn' Zemli = The Life of the Earth*, 41(3): 250–263. (In Russ.). https://doi.org/10.29003/m668.0514-7468.2019_41_3/250-263
- Riabova S.A. **2018**. Investigation of the response of the microseismic background to geomagnetic impulses at the mid-latitude observatory «Mikhnevo». *Vestnik NYaTs RK = NNC RK Bulletin*, 2: 36–43. (In Russ.).
- Riabova S.A., Spivak A.A. **2017**. Seismic background disturbance due to geomagnetic impulses. *Geofizicheskie issledovaniya = Geophysical Research*, 18(2): 65–76. (In Russ.). <https://doi.org/10.21455/gr2017.2-4>
- Fedorov V.M. **2001**. Comparison of the chronology of terrestrial volcanic activity to characteristics of the Earth's orbital motion. *Vulkanologiya i seismologiya = Volcanology & Seismology*, 5: 65–67. (In Russ.).
- Khain V.E., Khalilov E.N. **2009**. *Cycles in geodynamic processes: their possible nature*. Moscow: Scientific World, 520 p. (In Russ.).
- Kasahara J. **2002**. Tides, earthquakes, and volcanoes. *Science*, 297(5580): 348–349. <https://doi.org/10.1126/science.1074601>
- Tavares M., Azevedo A. **2011**. Influences of Solar cycles on earthquakes. *Natural Science*, 3(6): 436–443. <https://doi.org/10.4236/ns.2011.36060>
- Adushkin V.V., Riabova S.A., Spivak A.A. **2017**. Lunar-solar tide effects in the Earth's crust and atmosphere. *Izv., Physics of the Solid Earth*, 53(4): 565–580. <https://doi.org/10.1134/s1069351317040012>
- Svintsov I.S., Besedina A.N., Vinogradov E.A., Gorbunova E.M., Kabychenko N.V. **2015**. State of fluid-saturated reservoir according to precise monitoring of undergroundwater level. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 8: 158–165. (In Russ.).
- Ustyugov G.V., Ershov V.V. **2021**. Mud volcanism as a dangerous phenomenon for oil and gas facilities. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 946: 012030, 6 p. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/946/1/012030>
- Valyaev B.M., Telepin M.A., Berezhnaya E.A., Vakh-tangishvili V.Kh., Mindorashvili G.K., Titkov G.A. **1980**. [Correlation of mud volcanic activity with solar activity (on the example of Akhtala volcano, Georgia)]. *Doklady Akademii nauk SSSR [Reports of the USSR Academy of Sciences]*, 255(5): 1204–1207. (In Russ.).
- Aliev A.A., Guliev I.S., Dadashev F.G., Rakhmanov R.R. **2015**. *Atlas of the World's Mud Volcanoes*. Baku: Naf-ta-Press, 332 p. (In Russ.).
- Yusubov N., Guliev I.S. **2022**. [Mud volcanism and hydrocarbon systems of the South Caspian Basin]. Baku: Elm, 168 p. (In Russ.).
- Baloglanov E.E., Abbasov O.R., Akhundov R.V. **2018**. Mud volcanoes of the world: classifications, activities and environmental hazard (informational-analytical review). *European J. of Natural History*, 5: 12–26.
- Online calculator for determining the age of the Moon*. URL: <https://planetcalc.com/524/> (accessed 23.11.2022).
- Ustyugov G.V., Ershov V.V. **2019**. Eruptions of mud volcanoes in Azerbaijan and their correlation with strong earthquakes. *Vestnik VGU. Seriya: Geologiya = Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 4: 6–13. (In Russ.).
- SILSO, World Data Center. Sunspot number and long-term Solar observations*. On-line sunspot number catalogue. Royal observatory of Belgium, Brussels. URL: <http://www.sidc.be/silso/> (accessed 22.11.2022).
- Surdin V.G. **2002**. [Fifth Force]. Moscow: MCNMO, 40 p. (In Russ.).
- Kuznetsov V.V. **2011**. [Physics of the Earth]. Novosibirsk, 842 p. (In Russ.).

28. Shvets A.I. **2015**. [*Physics of the Earth*]. Saint Petersburg: NOIR St. Petersburg, 208 p. (In Russ.).
29. Khabituiev D.S., Shpynev B.G., Tatarnikov A.V., Scheglova E.S. **2017**. The influence of Lunar-Solar gravity tide on the dynamics of atmosphere, ionosphere and ocean. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli i kosmosa = Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 14(5): 321–339. (In Russ.). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-5-321-339>
30. Melchior P. **1968**. *The Earth tides*. Moscow: Mir, 483 p. (In Russ.).
31. Bokanenko L.I., Galaganov O.N., Perederin V.P. **1999**. [Groundwater level variations in the Garm polygon (Tajikistan) and earthquake forecasting possibilities]. *Fizika Zemli = Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 5: 72–82. (In Russ.).
32. Mirzoev K.M., Nikolaev A.V., Mirzoev V.K., Lukk A.A., Kharlamov A.I., Deshcherevsky A.V. **2010**. Ways of oil extraction increase with the registration the Earth tidal movements. *Ekspozitsiya Neft' Gaz = Exposition Oil & Gas*, 4(10): 58–62. (In Russ.).
33. Muslimov R.Kh., Mirzoev K.M., Akhmadiev R.G., Agafonov V.A., Khuzin R.R., Timirov V.S., Mirzoev V.K., Lukk A.A., Deshcherevsky A.V. **2006**. Influence of the moon-solar tides of Earth crust for a mining an oil. *Neftyanoe khozyaistvo = Oil Industry Journal*, 8: 111–115. (In Russ.).
34. Mirzoev K.M., Nikolaev A.V., Lukk A.A., Deshcherevsky A.V., Mirzoev V.K. **2011**. Tidal deformations of the earth's crust as a natural pump for increasing oil recovery. *Karotazhnik = Logger*, 200: 78–93.
35. Kikvadze O.E., Lavrushin V. Yu., Polyak B.G. **2020**. Chemical geothermometry: application to mud volcanic waters of the Caucasus region. *Frontiers of Earth Science*, 14: 738–757. <https://doi.org/10.1007/s11707-019-0810-8>
36. Tamrazyan G.P. **1963**. [Spatio-temporal conjugation of volcanic activity as one of the signs of the presence of a deep fault, and some questions of its periodicity]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geologiya i razvedka = Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration*, 2: 3–19. (In Russ.).
37. Guglielmi A.V., Klain B.I. **2020**. Effect of the Sun on the Earth's seismicity. *Solnechno-zemnaya fizika = Solar-Terrestrial Physics*, 6(1): 89–92. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/stp-61202010>
38. Nikitenko O.A., Ershov V.V. **2021**. Geochemical patterns of mud volcanic waters: reviewed worldwide data. *Geokhimiya = Geochemistry International*, 59(10): 922–937. <https://doi.org/10.1134/s0016702921090044>
39. Levin B.W., Chirkov Ye.B. **1999**. The peculiarities of the seismicity latitude distribution and the Earth rotation. *Vulkanologiya i seismologiya = Volcanology & Seismology*, 6: 65–69. (In Russ.).
40. Belov S.V., Shestopalov I.P., Kharin E.P. **2011**. Endogenous activity of the Earth and its communication with solar and geomagnetic activity. *Ispol'zovanie i okhrana prirodnikh resursov Rossii: Byulleten' = Use and Protection of Natural Resources of Russia*, 3: 10–14. (In Russ.).
41. Bulatova N.P. **2005**. The latitude distribution of terrestrial seismicity in relation to the locations of the Sun and Moon. *Vulkanologiya i seismologiya = Volcanology and Seismology*, 2: 57–78. (In Russ.).
42. Lowman P.D.Jr. **1997**. Global tectonic and volcanic activity of the last one million years. *NASA/Goddard Space Flight Center*. Greenbelt, MD 20771. URL: <https://core2.gsfc.nasa.gov/research/lowman/lowman.html> (accessed 13.03.2023).
43. Harris P.T., Macmillan-Lawer M., Rupp J., Baker E.K. **2014**. Geomorphology of the oceans. *Marine Geology*, 352: 4–24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2014.01.011>

Об авторах

Сотрудники отдела исследования вещественного состава геосфер ЦКП, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск:

Устюгов Геннадий Викторович (<https://orcid.org/0000-0002-7269-7439>), младший научный сотрудник, gen.ustyugov@mail.ru

Ершов Валерий Валерьевич (<https://orcid.org/0000-0003-2289-6103>), кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, valery_ershov@mail.ru

About the Authors

Employees of the Department for the study of material composition of the geospheres of the Centre for the Collective Use, Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk:

Ustyugov, Gennady V. (<https://orcid.org/0000-0002-7269-7439>), Junior Researcher, gen.ustyugov@mail.ru

Ershov, Valery V. (<https://orcid.org/0000-0003-2289-6103>), Cand. Sci. (Phys. and Math.), Leading Researcher, valery_ershov@mail.ru

Поступила 30.11.2022

После доработки 16.03.2023

Принята к публикации 19.03.2023

Received 30 November 2022

Revised 16 March 2023

Accepted 19 March 2023