

15. *Huston D.L., Blewett R.S., Champion D.* Australia through time: its tectonic and metallogenic evolution // *Episodes*. 2012. V. 35. № 1. P. 23-43.

Поступила в редакцию 27 сентября 2012 г.

Sergin S.Y. V.I. VERNADSKIY VIEWS ON GEO-EVOLUTION AND GEO-SYSTEM BASIS FOR THEIR DEVELOPMENT

The views of V.I. Vernadskiy on factors of Earth geological evolution are under analysis in comparison to initial statements of the plate-tectonic and plume-tectonic, and with derivatives from systemic geotectonic conception which the article's author made.

Key words: geo-evolution; geotectonic; geosystems.

УДК 523.4:551.7

АСТЕРОИДНО-МЕТЕОРИТНАЯ БОМБАРДИРОВКА ЗЕМЛИ И ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ РУБЕЖИ

© В.И. Сиротин

Ключевые слова: метеориты; астероиды; бомбардировка; импакты; планеты.

На основе данных сравнительной планетологии в истории Земли выделено девять этапов, часть из них подтверждены усилением астероидно-метеоритной бомбардировки.

В подавляющем количестве публикаций по сравнительной планетологии кратерированные поверхности Луны, Меркурия и Марса признаются результатом метеоритной (импактной) бомбардировки [1–5]. Для Луны выделяется пять периодов (систем) формирования кратерированной поверхности: 1) донектарисовая (4,5–3,92 млрд лет), 2) нектарисовая (3,92–3,85 млрд лет), 3) имбрианская (3,85–3,15 млрд лет), 4) эратосфенская (3,15–1,0 млрд лет), 5) коперниканская (1,0 млрд лет до ныне) [2, 4]. Предполагается, что бомбардировка имела неравномерный характер, т. е. имели место эпохи активизации и затухания в доставке импактов. Для Меркурия, вероятно, будут выделены также периоды кратерирования, пока же известны более молодые сильно кратерированные и более древние менее кратерированные (гладкие равнины с погребенными кратерами-фантомами) местности [1]. Знаменитый бассейн Калорис на Меркурии диаметром 1340 км имеет возраст 3,85 млрд лет, что хорошо согласуется с возрастом бассейнов Имбриум и Ориентел на Луне [2]. Для Луны, Земли и других внутренних планет предполагается заметное ослабление в доставке метеоритного материала в коперниканский период. Образование импактных кольцевых структур на Луне явилось спусковым механизмом для последующего заполнения их (с отставанием в несколько десятков млн лет) лавовыми покровами базальтов. На внутренних планетах отмечен, наряду с площадным, вулканизм центрального типа: знаменитые щитовые вулканы Марса (Олимп, Арсия, Аскрийя, Павлина, Альба), а также открытый в конце января 2008 г. американским космическим аппаратом гигантский вулкан на Меркурии с диаметром основания в 600 км, вулканы Венеры [2, 5].

Вулканическая деятельность связана с эволюцией самих планет (внутренние факторы), но опосредованно на нее может влиять метеоритно-астероидная бомбардировка (внешние космические факторы). Таким образом, следует различать вулканизм импактный и вулканизм, вытекающий из тепловой истории планеты, ме-

ханизма выделения, накопления и потери тепла. Земля теряет тепло в зонах спрединга, субдукции, коллизии, а также путем кондукции на обширных площадях древних платформ и прилегающих участков шельфа, континентального склона и в ложе Мирового океана, в т. ч. через систему трансформных разломов. Эта организованная система отдачи тепла предохраняет Землю от перегрева и расплавления [2, 5].

За все геологическое время на Земле сохранилось доныне около 150 импактов-кратеров. Распространены они чрезвычайно неравномерно, большая их часть приходится на Северную Америку, Европу и Австралию. Самый юный кратер-импакт Земли находится в штате Аризона (США). Возраст его оценивается в 50 000 лет, диаметр – около 1,2 км, а глубина – около 200 м [2]. Эти данные говорят о том, что астероидно-метеоритная бомбардировка, хотя и убывала со временем, продолжалась в течение всей геологической истории и имела пульсационно-прерывистый характер. Подтверждением этого явились данные, приведенные группой американских ученых на международном симпозиуме по сравнительной планетологии в г. Москве в октябре 2007 г. по результатам исследования кратерированной поверхности долины Мангала на Марсе [6] на площади, ограниченной 12,0–19,6° южной широты и 148,7–150,7° западной долготы. Подсчет кратеров осуществлялся с учетом геологической истории долины Мангала, в течение которой сформировались разноуровневые (и следовательно, разновозрастные) террасы под влиянием периодически возникающей водной эрозии. В свою очередь, водные потоки появлялись под влиянием резкого усиления бомбардировки поверхности, приуроченной к рубежам 3,5; 1,0; 0,4–0,5 и 0,2 млрд лет. Возможно, в будущем будут установлены и другие рубежи (например, 2,6 млрд лет, 1,65 млрд лет). Таким образом, с учетом суммирования всех известных данных по астероидно-метеоритной бомбардировке, можно выделить в истории Земли [4]:

1) этап «горячей Земли»: 4,55–4,45 млрд лет; в ходе набора Землей массы в результате метеоритной аккреции примерно на 99,9 % произошла ее дифференциация на ядро, мантию и первичную земную кору. Наблюдалась интенсивная метеоритная бомбардировка поверхности Земли, в т. ч. вполне вероятное столкновение Земли с объектом размером с Марс, что породило образование Луны (по катастрофическому сценарию) [7];

2) этап охлаждающейся («теплой», «прохладной») Земли: 4,45–4,20 млрд лет (доархейская эра), характеризуется снижением интенсивной бомбардировки, интенсивным вулканизмом на Земле, Луне (произошло завершение формирования анортозитовой коры, в т. ч. ферроанортозитов, Mg-комплекса, KREEP-ассоциации). Аналогичные процессы со своей спецификой происходили на Меркурии, Венере и Марсе [2, 7];

3) этап интенсивной бомбардировки планет астероидно-метеоритными телами: 4,20–3,85 млрд лет. Кратерированные поверхности Луны, Меркурия и Марса созданы в основном в течение этого этапа;

4) этап бомбардировки у рубежа 3,5 млрд лет хорошо согласуется с началом архейской эры;

5) этап возможной бомбардировки у рубежа 2,6 млрд лет (граница архея и протерозоя);

6) этап бомбардировки у рубежа 1 млрд лет (верхний протерозой, рифей);

7) этап бомбардировки у рубежа 0,5–0,4 млрд лет (начало фанерозойской эры) подтверждается геологическими данными, например многочисленными находками метеоритов в кембрийских известняках Швеции, анализ этих известняков привел к выводу, что количество поступающих метеоритов было в 100 раз больше, чем в настоящее время;

8) этап бомбардировки у рубежа 0,2 млрд лет (начало мезозоя);

9) этап бомбардировки у рубежа 65 млрд лет (начало кайнозоя).

Можно также говорить, что геохронологические рубежи существуют и внутри систем и что они также связаны с метеоритно-астероидной бомбардировкой. Наглядным подтверждением этого является обнаруженный недавно Ванкорский метеорит, фиксирующий границу (рубеж) нижнего и верхнего мела. Это коллизонное событие настолько важно, что заслуживает более детального рассмотрения. Метеорит был найден в ходе выполнения научно-исследовательских литолого-геохимических работ на нефтяных месторождениях Красноярского края, он был извлечен из керна скважины Северо-Ванкорская с глубины 1001 м, которая зафиксировала границу нижнего и верхнего мела, имеющую возраст 97–100 млн лет назад. Образец был изучен всеми доступными методами: в шлифах (в проходящем и отраженном свете), люминесцентным, рентгеноструктурным, атомно-эмиссионной спектроскопии, электронно-активационными методами, под электронным микроскопом, что позволило прийти к следующим выводам.

1. В атмосферу Земли произошло вхождение метеоритного тела размером до нескольких метров, которое развалилось на несколько или даже десятки мелких тел. На поверхности нижнемеловых отложений (перерыва) возникла площадь рассеивания в виде эллипса, в котором распределились фрагменты метеорита, т. е. найденный метеорит – это обломок более крупного метеоритного тела.

2. По повышенному содержанию железа, отсутствию металлического железа, малому количеству хондр, наличию углистого вещества нами отнесен к подклассу углистых хондритов СIII, подтипу СIII 3 [1, 2, 5].

3. Происхождение Ванкорского метеорита можно связать с несколькими возможными источниками. Наиболее вероятно поступление метеоритного вещества из астероидного пояса, из его внешнего кольца, где сосредоточена основная масса недифференцированного обломочного астероидного вещества [1, 2, 5], которое под влиянием гравитационных возмущений Юпитера «срывается» со своей орбиты и начинает путешествие по сильно вытянутым орбитам в сторону Солнца, при этом она пересекает орбиты внутренних планет, а иногда и попадает в поле их тяготения, что может привести к столкновению. Вторым источником метеоритного и особенного кометного вещества является занептуновая область – пояс Койпера и квазисферические облака Хиллса и Оорта [1, 2, 5]. Однако наличие в метеорите белых включений, содержащих повышенное содержание Al и Ca в составе минералов шпинели, мелилита, перовскита, дает основание предполагать, что Ванкорский метеорит представляет остаток первичного протосолнечного вещества.

Заключение. О роли коллизонных событий в формировании и эволюции Солнечной системы и Земли.

Обращаясь к истокам формирования Солнечной системы, приходится признать, что импактные события играли исключительно важную роль как на этапах зарождения Солнечной системы, так и на последующих этапах ее эволюции [1, 2, 4, 5]. Но особенно активно они проявлялись в доархейской истории, в которой нами выделены 4 этапа: 1) 4,56–4,45 млрд лет; 2) 4,45–4,35 млрд лет; 3) 4,35–4,20 млрд лет; 4) 4,20–3,80 млрд лет [4, 5]. Архейская и протерозойская история также изобилвала импактными событиями, что подтверждается данными сравнительной планетологии: кратерированные поверхности Луны, Меркурия, Марса есть результат бомбардировки астероидно-метеоритными телами. Достаточно напомнить, что для Луны выделяется 5 периодов формирования кратерированной поверхности [2]. При этом предполагается, что бомбардировка имела неравномерный, пульсационно-прерывистый характер. Важно заметить, что теперь уже расскреченный один из кратеров-импактов в Якутии содержал уникальные запасы аллазов ударного происхождения. Все эти данные говорят о том, что астероидно-метеоритная бомбардировка хотя и убывала со временем, но продолжалась в течение всей геологической истории. Весомым подтверждением явились данные, приведенные А.Т. Базилевским и группой американских ученых на международном симпозиуме по сравнительной планетологии (см. выше) по результатам исследования кратерированной поверхности долины Мангала на Марсе [6]. Кроме того, бомбардировка являлась «пусковым крючком» для активации вулканической деятельности. Известно, что заполнение котловин лунных морей происходило спустя десятки миллионов лет после импактного события. Так, все крупные моря Луны (море Дождей, Спокойствия, Ясности, Нектара и др.) на лицевой стороне заполнялись базальтовой лавой по прошествии 50–100 млн лет после импакта.

Настало время для согласования астероидно-метеоритной бомбардировки с господствующей в гео-

логии концепцией – тектоникой литосферных плит и концепцией плюмов. В последнее время выяснилось, что существует периодичность в проявлении плюмовой тектоники, более того, выяснилось, что существует определенная связь ее с периодичностью геологических процессов. Намечаются этапы плюмообразования, которые можно более аргументировано фиксировать начиная с позднего рифея [8]:

1) позднерифейский (750–650 млн лет); ему соответствует трапповый вулканизм на огромных площадях континентов;

2) раннепалеозойский (ордовикский, примерно 460–440 млн лет); достоверно связь грандиозных геологических событий с плюмами прямо не доказана, но это было время крупнейшей трансгрессии, в различных регионах мира распространились черные сланцы – породы, накапливающиеся в анаэробных условиях, их образование геохимически связано с изменением температуры и содержания кислорода в атмосфере;

3) позднедевонский (380–360 млн лет); фиксируется образованием обширной Кольской провинции щелочных и ультраосновных пород, излиянием больших масс базальтов в пределах Восточно-Европейской платформы;

4) позднепалеозойский (позднепермский, 275–250 млн лет) фиксируется излиянием сибирских и деканских траппов;

5) среднеюрский (175–150 млн лет) фиксируется началом распада единого материка Гандваны, которое сопровождалось излиянием базальтовых лав в Африке, Антарктиде, Тасмании и связано с развитием плюма Бюве в Атлантическом океане;

6) позднемеловой (65–70 млн лет) фиксируется катастрофическими событиями, которые большинство геологов связывают однако с падением крупного астероидно-метеоритного тела; в 1980 г. известным американским физиком, лауреатом Нобелевской премии Л. Альваресом вместе со своими сотрудниками удалось в горных породах на границе мела и палеогена обнаружить, наконец, аномальные концентрации иридия и некоторых редких элементов, в десятки раз превышающие допустимое содержание этих элементов в литосфере [3]. Этот период завершился массовым вымиранием организмов – исчезло около 85 % всех морских видов, около 70 % позвоночных, огромное количество растений и насекомых. Причину этого вымирания сторонники плюмовых катастроф видят в создании аноксигенных условий, что было характерно как для глубоководных, так и мелководных и континентальных условий. Одновременно резко повышалось содержание углекислого газа в атмосфере с 0,03 до 7,5 % (на границе перми и триаса), что приводило к избыточной концентрации углекислоты в живых тканях организмов, к нарушению метаболизма и к его полному прекращению для большинства организмов.

В заключение необходимо отметить, что ряд исследователей (А.А. Щипанский, С.В. Богданова и др.) пришли к выводу о тесном взаимодействии субдукционных и мантийно-плюмовых процессов, которые дополняют друг друга и определяют геодинамику Земли в геологической истории вплоть до настоящего времени [9]. Таким образом, астероидно-метеоритная бомбардировка могла быть триггером для субдукционных и плюмовых процессов в истории Земли. Такое совпадение с периодизацией геологической истории, безусловно, не является случайным – оно свидетельствует об активном влиянии бомбардировки на все геодинамические процессы на Земле, в т. ч. и на эволюцию жизни.

Наконец, следует отметить, что из всех известных природных процессов, которые могут вызвать заметные изменения климата, приводящие к катастрофическим изменениям в биосфере с массовой гибелью организмов и происходящие одновременно и в океанах, и на суше, наиболее вероятно совокупность процессов, связанных с астероидно-метеоритной бомбардировкой [4], с тектоникой литосферных плит и с мантийными плюмами. Установлено, что крупные изменения в биосфере происходят в короткое время – всего в течение нескольких десятков тысяч лет, что лишь подчеркивает роль катастроф в истории Земли, в частности в изменении климата [2, 4, 5, 10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Очерки сравнительной планетологии. М.: Наука, 1981. 326 с.
2. *New the solar System*. Cambridge: Cambridge university press, 1999. 421 p.
3. *Valley J.W., Peck W.H., King E.M., Wilde S.A. A cool early Earth // Geology*, 2002. V. 30. № 4. P. 351-354.
4. *Сиротин В.И.* Новое о роли метеоритно-астероидной бомбардировки в истории Земли // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология*. 2008. № 1. С. 158-160.
5. *Сиротин В.И.* Сравнительная планетология: учеб. пособие. Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2009. 169 с.
6. *Basilevsky A.T., Neukum G., Werner S., van Gasselt S., Dumke A., Kneissl T., Rommel D., Wendt L., Wolf U., Zschneid W., Head J.W.* Geologic history of Mangala valles, Mars, from geologic analysis and crater counts. *Vernadsky-Brown «Microsymposium 46»* (2–3 October 2007, Moscow, Russia). М., 2007.
7. *Hartman W.K.* A Brief History of the Moon // *The planetary report*. 1997. V. 17. № 5. P. 5-11.
8. *Грачев А.Ф.* Геодинамическая причина биосферных катастроф // *Земля и Вселенная*. 2000. № 5. С. 12-21.
9. *Щипанский А.А.* Субдукционные и мантийно-плюмовые процессы в геодинамике формирования архейских зеленокаменных поясов: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. М., 2006. 64 с.
10. *Яшин А.Л.* Экологические следствия начавшегося глобального потепления климата Земли // *Земля и Вселенная*. 1995. № 1. С. 3-7.

Поступила в редакцию 2 сентября 2012 г.

Sirotnin V.I. ASTEROID AND METEORIC BOMBING OF EARTH AND GEO-CHRONOLOGICAL BOUNDARIES

On the basis of data of comparative planetology in the history of Earth the nine stages are allocated, a part from them is confirmed with strengthening of asteroid and meteoric bombing.

Key words: meteorites; asteroids; bombing; impacts; planets.