

## Адвективная сущность кольцевых кратерных структур на Луне и Земле, проблемы их астроблемной интерпретации

Сопоставлены разномасштабные кольцевые кратерные структуры на поверхности Луны и Земли. Показаны закономерная зональная смена разномасштабных кратеров вокруг наиболее крупного кратера на Луне, периодичность размещения кратеров вдоль линий по волновому принципу. На Земле рассмотрены позиция знаменитого Аризонского кратера, соотношение с внешней средой, структурные особенности, которые ставят под сомнение его астроблемную сущность. Приведены доводы о вероятном земном происхождении конкретных крупнейших железных метеоритов, обнаруженных без кратеров, неоднозначной диагностике продуктов взрыва, относимых к связанным с метеоритными ударами.

*Ключевые слова:* астроблемы, кратеры, метеориты, кольцевые структуры, адвективные ячеи, транстенсия, зональность, пространственная периодичность.

БАРЫШЕВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, AlexBarGeol@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

## Advective nature of ring crater structures on the Moon and Earth, problems of their astrobleme interpretation

A. N. BARYSHEV

Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow

In this paper, we compare different-scale ring crater structures on the surface of the Moon and the Earth. Here we show the regular zonal change of craters of different sizes around the largest crater on the Moon and the periodicity of the distribution of craters along the lines according to the wave principle. On Earth, we consider the position of the famous Arizona crater, the relationship with the external environment and structural features that cast doubt on its astrobleme nature. Arguments are given about the possible terrestrial origin of the specific largest iron meteorites found without craters, and the ambiguous diagnosis of explosion products attributed to those associated with meteorite impacts.

*Key words:* astrobleme, craters, meteorites, ring structures, advective cells, transtension, zoning, spatial periodicity.

Процессы, рассмотренные в статье «Роль планетарной геодинамики в создании астеносферы, конвективных и транстенсионных структур континентальной литосферы», присущие Земле, протекали и в недрах Луны начиная с её аккреции, а после приводили к формированию ячеистых структур, подобных земным. На видимой стороне Луны в «морях» мало кратеров с небольшими диаметрами (рис. 1), в отличие от противоположной невидимой стороны, где поверхность испещрена кратерами, подавляющему числу которых приписывается генезис в результате удара метеоритов. Мало того, по концентрации кратеров делалась датировка поверхности коры Луны: чем больше кратеров, тем она древнее. На рис. 1 видно, что такая интерпретация весьма со-

мнительна: в ней астериды должны точно попадать в центр области, имеющей концентрические зоны с более древними метеоритными кратерами, периодически повторяющимися по кольцу через определённые расстояния.

Позицию морей Луны и условия их образования логично связывать с расползанием мантийных масс от центра (подобно рассредоточенному спредингу), что восстанавливало изостазию. В этом процессе общая мощность мантии уменьшалась. Декомпрессия (уменьшение литостатического давления), обеспечивающая астенизацию толщ, происходила за счёт расползания (спрединга) верхних слоёв мантии. Подобно тому, как на Земле окраинные или межматериковые моря обрамляются островными дугами,



**Рис. 1. Формы поверхности Луны, отражающие размеры и фазы развития конвективных ячеистых структур, их пространственную периодичность размещения (пояснения в тексте)**

Море Дождей обрамляется на севере серией концентрических зон-цепочек ячеек, которым присущи определённые размеры и морфология. Внутреннюю зону образуют самые крупные ячейки, дно которых аналогично дну моря. Наиболее отчётливая из этих ячеек – Залив Радуги – расположена на северо-западе Моря Дождей. Её диаметр составляет около 140 км. Таких ячеек в северной половине моря можно наметить не менее пяти. Центры ячеек определяются с трудом, шаг между ними составляет около 180–190 км. Эти ячейки фактически соответствуют волновой фрактализации верхней части глубинного поднятия масс, образовавшего Море Дождей.

В направлении к внешней стороне следующая зона резко отличается неровным повышенным рельефом и наличием чётко выраженных кратеров диаметром около 25 км с шагом 85 км. В следующей зоне с более сглаженным рельефом кратеры имеют диаметр 10 км при их шаге 70–75 км. В пространстве зон между кратерами и севернее, на склоне к Морю Холода и Заливу Росы, поверхность покрыта многочисленными мелкими куполами, на вершине которых относительно редко присутствуют кратеры. Большинство куполов очевидно фиксируют лишь экструзивы. Соотношение размеров, вязкости вещества, архимедовой силы для них, по-видимому, было недостаточно для достижения фаз адвекции, когда образуются кратеры. Следует обратить внимание на то, что все кратеры круглые, нет кратеров, форма которых могла бы свидетельствовать о падении хоть малой части метеоритов по касательной к поверхности Луны. Это ещё один факт, настораживающий, чтобы принять их астроблемную природу.

В отношении крупных кратеров Луны критика астроблемной концепции приведена Г.С. Штейнбергом [12]. Отмечено, что сторонники гипотезы под-

бирали необходимую энергию метеорита для осуществления его взрыва, не учитывая того, что взрыв происходил бы не на большой глубине, обеспечивающей экскавацию масс, а вблизи поверхности Луны, т. е. подобно накладному заряду. Путём расчётов Г.С. Штейнбергом показано, что при принятой энергии взрыва  $10^{30}$ – $10^{31}$  эрг кратеры с поперечником более 180 км возникнуть не могли. Аналогично при взрывах с энергией  $10^{32}$  эрг не могли возникнуть лунные моря. Образование крупных кратеров и морей обусловлено эндогенными причинами. Сторонниками астроблем критика осталась незамеченной.

Другой особенностью размещения многих кратеров является их сочетание с очень протяжёнными прямолинейными морфологическими границами на поверхности планеты, которые отражают тектонические сдвиги. В этом аспекте заслуживают внимания структуры юго-восточного ограничения Моря Дождей и их юго-западного продолжения. За серией кратеров это ограничение представлено валом северо-северо-восточного простирания, именуемым Кавказ, за которым восточнее расположено Море Ясности. К юго-западу от Кавказа находится прямолинейный вал под названием Апеннины, ограниченный с северо-запада прямолинейным разломом (рис. 2). Вдоль его юго-западного продолжения на единой линии расположены кратеры Эратосфен, Стадий, Рейнхольд, Лансберг. Примечательно, что расстояния между кратерами первых двух 128 км и последних 126 км, то есть одинаковы. Почти на такие же расстояния Стадий и Рейнхольд удалены от более крупного кратера Коперник, находящегося между ними. Все эти кратеры в литературе и Интернете принято называть метеоритными. Однако, сходство расстояний и очень близкая морфология не могут быть результатом случайной метеоритной бомбардировки. Всё это соответствует волновой закономерности развития глубинной адвекции.

Таким образом, характерными особенностями рассмотренной поверхности Луны являются: различие ячеистых структур по размеру и морфологии, их зональное размещение вокруг Моря Дождей, периодическое повторение в пространстве сходных ячеек с присущими им морфологией, а главное – пространственная периодичность с одинаковыми расстояниями между центрами ячеек в зоне. Эта комплексная закономерность исключает толкование кратеров как образований, возникших в результате бомбардировки случайными метеоритами.

Для большинства кольцевых структур Земли обоснована их эндогенная природа. Однако по заключению ряда специалистов, в том числе тех, которые исследуют такие структуры аэрокосмическими методами, существуют представления, что почти четверть

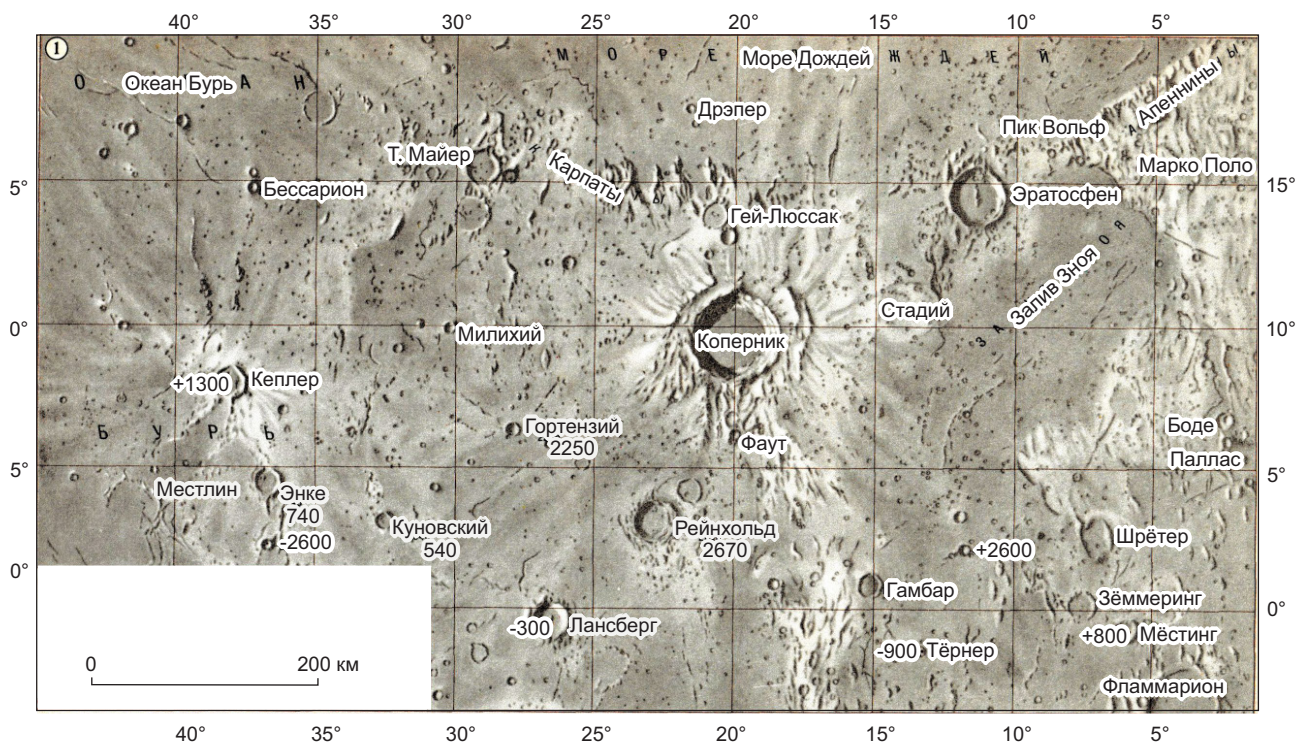


Рис. 2. Периодическое размещение кратеров Луны вдоль зоны транстенсии (топография из [2])

из них начиная с древнейших нуклеаров в фундаменте континентов до редких кайнозойских овальных депрессий имеет астроблемную природу [5]. Кроме того, им отводят определённую роль в минерогении. Полезные ископаемые, встречающиеся в астроблемных импактных структурах, один из основоположников концепции В. Л. Масайтис [6] подразделяет на про-, син- и эпигенетические группы, исходя из соотношения времени их образования с ударным событием. Сингенетические возникают в процессе кратерообразования как его непосредственное следствие. К ним отнесены импактные алмазы (Попигаи на Сибирской платформе), медно-никелевые руды с металлами платиновой группы (Садбери на Канадском щите). Овальная структура района Садбери рассматривается как кратер размером по длинной оси до 59 км и трактуется как результат удара астероида 1840 млн лет назад. Внедрение никеленосных норитов с ликвацией сульфидов произошло вскоре после образования кратера. Район месторождения стал ареной нового удара 37 млн лет назад, как отмечает группа аэрокосмогеологов [5].

Условия образования астроблем устанавливаются, главным образом исходя из необходимой энергии для создания кольцевой структуры заданных параметров. «Энергия соударения космического тела с поверхнос-

тью планеты зависит от его массы и скорости. Скорость сближения двух тел (Земли и астероида) лежит в пределах от 11,2 до 72,8 км/сек. Минимальная величина определяется второй космической скоростью, а максимальная – векторной суммой второй космической скорости, скорости вращения Земли вокруг Солнца и скорости метеорного тела вдали от Земли» [10, стр. 67–74]. Там же: «При больших скоростях соударения происходит взрыв. Причинами взрыва являются резкое торможение космического тела при столкновении и переход кинетической энергии движущегося тела частично в механическую, частично в тепловую. Суммарная энергия, реализуемая в процессе соударения, может превышать  $10^{19}$ – $10^{23}$  Дж» и «Мощная и плотная атмосфера тормозит космическое тело тем сильнее, чем больше его диаметр, так как оно перемещает впереди себя газ, сжимая его и постепенно затормаживаясь». В отличие от В. И. Фельдмана В. Л. Масайтис не рассматривал второй вариант скорости и допускал: «Образование импактных кратеров диаметром более ста метров обусловлено переходом энергии космического тела, летящего со скоростью 15–20 км/с, в тепло и, соответственно, происходящим при этом тепловом взрыве» [6, стр. 62]. То есть громадная скорость ударника, оставшаяся больше второй космической после торможения

его в атмосфере, при этом нагретого, но не «сгоревшего», нужна для теоретического моделирования дальнейших процессов. «При падении больших масс развивается давление в несколько десятков гигапаскалей и более, остаточная температура за фронтом ударной волны достигает *нескольких тысяч градусов*. Импульс сжатия, последующее разрежение, нагрев, дифференциальные движения вещества являются основными факторами различных превращений пород, присущих *исключительно импактному* кратерообразованию. Его параметры радикально отличаются этот катастрофический процесс от всех других в земной коре и на её поверхности. Вещество *ударившего* тела *обычно полностью испаряется* и в распылённом виде входит в состав импактитов» [6, стр. 62]. К превращениям пород, «присущих исключительно импактному кратерообразованию», В. Л. Масайтис относил «присутствие минеральных фаз высокого давления (коэсит, стишовит, алмаз), планарные деформационные элементы в виде тонких параллельных трещин с закономерной оптической ориентировкой, *позволяющей оценить величину ударной нагрузки*, испытанной породой, а также высокотемпературные диаплектовые стёкла по кварцу, полевым шпатам».

Отмеченные признаки отражают высокие давления, но не беспредельные. Как известно, коэсит получен Л. Коэсом при давлении 3,5 ГПа. Стишовит получен С. М. Стишовым при давлении 13,5 ГПа и температуре 1200–1400° из кремнезёма в запаянной платиновой капсуле, сжимаемой в лунке на плоских поверхностях твёрдосплавных «наковален» из карбида вольфрама. То есть эксперимент проходил в закрытой системе при стрессе и нагревании. В природе при очень длительном процессе эти давления и температура могут быть существенно меньшими, если учесть практику синтеза алмаза и замечание Ю. Н. Пальянова: «Экспериментально определено, что *P-T* параметры синтеза алмазов могут быть существенно снижены за счёт увеличения длительности экспериментов» [8]. То есть без учёта времени нельзя переносить напрямую *P-T* условия экспериментов на условия природных процессов.

Взрывная природа кратеров сомнений не вызывает. Спорно другое: либо метеоритная, возникшая в изначально открытой системе, либо адвективная, в которой взрыву предшествовало значительное нагревание флюидонасыщенной среды в закрытой системе, а в конце деформирования пород была преодолена их прочность и из-за взрыва система становилась открытой. Образование стёкол может происходить при взрывной декомпрессии за счёт первично нагретого и сжатого флюидами вещества. Это основная причина образования фьямме в палящих тучах вулканов

(«игнимбриты» – огненный дождь). Так могут образоваться тагамиты и зювиты, не будучи присущими *«исключительно импактному* кратерообразованию». Планарные деформационные элементы в виде тонких параллельных трещин отражают касательные напряжения, которые в сочетании с распадом твёрдых растворов при остывании могут создавать клеточный узор Видманштеттена, приписываемый удару. К «планарным деформационным элементам» относятся, в частности, plateles в кристаллах алмаза из кимберлитов как закономерное отражение кристаллизации в твёрдой среде при стрессе [11].

Дискуссия по метеоритной трактовке кратеров Луны и Земли имеет давнюю историю. Для Земли трактовку астроблемной природы кратеров затрудняет брахиантиклинальное залегание окружающих толщ. Нет следов того, чтобы толщи вминались вниз от удара. Обилие расположенных рядом положительных ячеистых структур без кратеров ещё более затрудняет трактовку удара сверху.

Весьма дискуссионно представление о роли метеоритных ударов не только в образовании кратеров, но и, более того, в плавлении больших масс Земли. Если уж проводить аналогию кратеров Земли и Луны, то на нашем спутнике, испещрённом кратерами, всё должно быть расплавленным. Исходя из геологической модели Попигайского кратера, В. Л. Масайтис подсчитал объём его расплавленного материала – примерно 1750 км<sup>3</sup>. Сходный результат получили М. С. Марков и В. С. Федоровский для кратера Маникуаган (Канада). Образование этой астроблемы диаметром 100 километров, согласно расчётам, сопровождалось мгновенным высвобождением энергии примерно 10<sup>23</sup> Дж (10<sup>30</sup> эрг) и плавлением около 1000 км<sup>3</sup> щелочных пород [5]. Следует заметить, что при подземных камуфлетных ядерных взрывах, проведённых в США, возникали полости диаметром 30 м без плавления пород. Вокруг происходило лишь разрушение, при котором гранулометрия пород стенок изменялась от милонитовой вблизи источника взрыва до измеряемой десятками сантиметров на удалении, с сохранением при этом следов былой слоистости [7]. Тем более надежда, что удар метеорита в тело, имеющее одну свободную поверхность, может привести к мгновенному нагреву его массы до температуры в многие тысячи градусов, иллюзорна. При наличии свободной земной поверхности астроблема представляет открытую систему. В ней вряд ли можно ударником ограниченного размера осуществить механическое сжатие большого объёма холодных пород, нагреть и расплавить. В природных условиях вполне реально последовательное возрастание давления флюидов, выделившихся из магм («ретроградное кипение») и из нагретой вмещающей среды,

с достижением значений, превосходящих механическую прочность среды, что приводит к вулканическому взрыву. То есть процесс происходит сначала в закрытой системе, которая потом становится открытой. Удар астероида происходит в открытой системе. Преобразование астероида во «взрывное вещество» с мгновенным громадным увеличением объёма без молекулярного разложения или ядерного синтеза (как в бомбах) остаётся проблемой для реальности ряда процессов концепции. Иначе говоря, гипотезу разогрева масс пород объёмом в тысячу кубических километров на несколько тысяч градусов и их плавления в результате мгновенного удара нельзя признать обоснованной.

Таким образом, приведённые основы астроблемной концепции не являются вполне достаточными для того, чтобы однозначно отнести конкретную кольцевую структуру к ударной метеоритной. Предполагаемая скорость астероида, возможная в космосе, вряд ли реальна при встрече с поверхностью Земли, а утверждение, что «атмосфера тормозит космическое тело тем сильнее, чем больше его диаметр», явно ошибочно. Конвергентны свойства тагамитов и зювитов с вулканическими породами, а морфология астроблем – с вулканогенными структурами.

Что касается образования диаплектитовых стёкол при взрывной декомпрессии за счёт первично нагретого и сжатого флюидами вещества, то примерами обстановок их появления могут служить палящие тучи вулканов. К ним относится Везувий с его взрывным извержением в 79 г. н. э., палящая туча которого погубила города Помпеи, Геркуланум, Стабии. Другой вулкан Мон-Пеле на о. Мартиника (Малые Антильские острова) при взрыве 8 мая 1902 г. палящими тучами погубил г. Сен-Пьер [1]. Весьма примечательна кальдера взрыва на вершине вулкана. По данным А. Лакруа, в то время размер кальдеры составлял 1 км, а форма была почти квадратной. Особенно прямолинейны её северо-западная и юго-восточная стенки, видимо, наследующие тектонические разрывы (см. стр. 187 в [1]). Размерами, формой и направленным взрывом кальдера Мон-Пеле весьма похожа на Аризонский кратер, о котором речь пойдёт далее. Следует подчеркнуть и то, что вулканы Везувий и Мон-Пеле расположены у краёв Тирренской и Карибской морских ячей в надсубдукционной обстановке. Сходную позицию относительно ячей занимают кратеры, считающиеся метеоритными.

Важно в дискуссии то, что отнесение кольцевых структур к случайным астроблемам не сопровождается анализом их соотношения с окружающей средой. Это соотношение показывает не случайность, а закономерность позиции ряда «астроблемных» кольцевых («кратерных») структур в тектонических ан-

самблях с другими структурами. Например, предполагаемый Попигайский астероид выбрал в качестве мишени для удара область на краю Якутской ячей, очень близкую к сочетанию двух провинциальных зон трансенсии, т. е. место, наиболее благоприятное для адвекции глубинных масс вверх, как бы навстречу «долгожданному» ударнику. Одна из зон подходит с юго-юго-востока от Мунского алмазонального поля к восточной границе Анабарского щита, контролируя гряду кимберлитовых трубок. Астероид попал именно туда, где заканчиваются кимберлитовые трубки, а севернее формируются округлые (трубообразные) тела карбонатитов. Другая зона трансенсии протягивается вдоль близширотного Хатангского рифтогена, в который упирается первая зона.

Подобным образом на краю Висла-Ботнической ячеистой провинции размещается Логойская кольцевая структура диаметром 17 км ( $54^{\circ} 12'$  с. ш.,  $27^{\circ} 48'$  в. д., то есть северо-восточнее г. Минска). По данным Л. И. Глазовской и её соавторов [4], здесь вскрыты скважинами слои с импактными расплавами, образованными по гранитогнейсам и породам осадочного чехла. В импактатах присутствуют коэзит, стишовит, ридит (высокобарический сфен со структурой шпинели). Структура считается астроблемой.

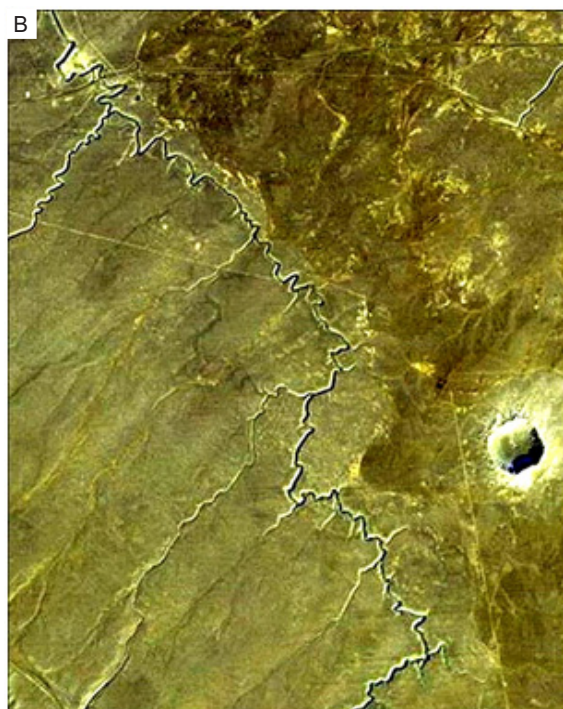
Избирательность места падения демонстрирует метеорит, с которым связывают Аризонский кратер, ставший эталоном астроблемы. Размер её существенно меньше Попигайской – в поперечнике 1200 м при глубине 170 м и возвышении краёв над равниной 45 м. Кратер обладает интересными «паспортными» данными. Место его рождения имеет координаты  $35^{\circ} 01'$  с. ш.,  $111^{\circ} 01'$  з. д. Оно находится у юго-западного края крупной овальной структуры размером  $800 \times 450$  км, выраженной в геоморфологии ячеистой депрессией с поясом горного обрамления (рисунки 3 и 4, А).

Примечательно, что в близмеридиональном направлении протягивается широкая зона трансенсии. В 1000 км севернее Аризонского кратера, как видно на рис. 3, на западную часть этой зоны попадает другая округлая ячея диаметром 200 км, к которой приурочено Йеллоустонское вулканическое плато с интенсивным современным гейзерным вулканизмом [1]. В 140 км севернее ( $45^{\circ} 30'$  с. ш.,  $110^{\circ}$  з. д.) находится знаменитый расслоенный рудоносный массив Стиллоутер. Обе эти ячеистые структуры переходят на юго-западе и западе в Плато Колорадо и Большой Бассейн («Бассейнов и Хребтов»), которые отражают трансенсионную активизацию Северной Америки. Трансенсия связана главным образом с тем, что западная часть Америки переключает



**Рис. 3. Позиция Аризонского кратера (обозначен звёздочкой) относительно крупной кольцевой структуры, обрамлённой хребтами. С запада примыкает Большой Бассейн, выражающий зону трансенсии чередованием «бассейнов и хребтов» (топография из [2])**

северное продолжение спредингового Восточно-Тихоокеанского поднятия, имеющего ширину около 2 тыс. км. Правосдвиговая составляющая трансенсии известна по разлому Сан-Андреас. Эта громадная зона трансенсии контролировала не только умеренно-щелочной базальтоидный рудоносный магматизм, продукты размыва руд которого привели к накоплению осадков мелкого золота в месторождениях карлинского типа, но и продолжает инициировать современный вулканизм. Примером может служить территория Мексики. В 280 км западнее г. Мехико на кукурузном поле на глазах у фермера в 1943 г. возник вулкан Парикутин ( $19^{\circ} 25' \text{ с. ш.}, 102^{\circ} 15' \text{ з. д.}$ ), который за девять лет изверг 3,5 млрд т базальтовой лавы и, что важно подчеркнуть, 39 млн т водяного пара [1]. В 60 км западнее г. Мехико обнаружено обособление весом 2,1 т, которое представляется как железный метеорит Толука. Иначе говоря, Аризонский астероид попал «туда, куда надо», чтобы в зоне вулканической деятельности в обстановке трансенсии образовать кратер.



**Рис. 4. Аризонский кратер, особенности его позиции и морфологии:**

А – вид с юго-востока, вдали виден горный пояс кольцевого обрамления ячеистой депрессии; Б – вид с север-северо-востока: квадратный контур кратера, а вдали, на южном продолжении линии западного борта расположен малый кратер; В – позиция и соотношение контуров Аризонского кратера со структурами, определяющими современное и древнее русла водотоков

Фото «физиономии» этого кратера не вызывает полного доверия к его астроблемному происхождению: форма кратера не округлая, а приближается к квадратной, т. е. мало соответствует сферической волне детонации, вызванной накладным взрывом (см. рис. 4, В).

Толщи бортов кратера, хорошо сохранившие слоистость, имеют брахиантиклинальное залегание, т. е. с задирием вверх изнутри. Учитывая то, что вершину вала, окружающего кратер, слагают пермские песчаники формации Коконино, которые на внешней стороне вала последовательно сменяются более молодыми известняками Торовеал, далее доломитами Кайбаба и аргиллитами Моенкопи в полосе шириной 1–2 км, можно оценить амплитуду подъёма вала за счёт пластических деформаций на высоту вала над его окружением, т. е. около 45 м. Это может быть результатом предварительного вспучивания толщ под воздействием адвектирующих флюидонасыщенных масс перед взрывом. При этом проявлялись деформации, наследующие разрывную структуру окружающей среды, отражённой в направлениях русел современных водотоков. Эта же структура и определяет квадратную форму кратера, которая была частично скруглена при взрыве. На зависимость контуров кратера от разрывной тектоники окружающей среды указывает и то, что на линии южного продолжения западного прямолинейного борта расположен другой небольшой круглый кратер (см. рис. 4, Б). Кроме того, северное продолжение этой линии совпадает с генеральным направлением водотока, расположенного западнее. Учитывая то, что для этой территории характерны правосдвиговые смещения по северо-западным разломам, сочетания структур могут указывать на вероятную обстановку трансенсии. Таким образом, кратер несёт на себе элементы геологических структур, присущих территории до взрыва, и находится в обстановке, благоприятной для адвекции глубинных масс.

На высокое давление, в котором побывали минералы пород Аризонского кратера, указывают находки коэсита и стишовита в золотых кварцевых песчаниках Коконино. Эдвард Чао в 1960 г. исследовал концентрат из них, в нём после обработки фтористоводородной кислотой кварц и коэсит исчезли, а оставшийся белый порошок оказался впервые найденным в природе кремнезёмом с октаэдрической (шестерной) координацией атома кремния по отношению к атомам кислорода, т. е. стишовитом (сообщение Ю. А. Литвина). Таким образом, если стишовит в песчаниках образовался после седиментации, а не попал вместе с обломками из более древних пород, то с учётом стратиграфии он возник на глубине не менее 45 м.

Но это лишь одна дискуссионная сторона астроблемного, а не вулканического генезиса Аризонско-

го кратера, другой является то, что свойства и условия нахождения многих железных обособлений, подобных метеоритам, допускают их иную природу. Аризонский кратер считался образованным в результате взрыва вулканического пара, по заключению главного геолога Геологической службы США Г. К. Гилберта (ноябрь 1891 г.). В 1903 г. горный инженер Дэниэл Бэрринджер, обнаружив железные обособления, посчитал их метеоритами, а кратер – результатом удара огромного космического пришельца. Пытаясь его найти, он стал бурить скважины. В юго-восточной части кратера железные остатки метеорита стали попадаться с глубины 305 м, далее и до 420 м метеорита не оказалось. Учитывая мощность заполняющих кратер обломочных пород 210–240 м и другие параметры кратера, можно считать, что выброс масс произошёл с глубины около 350 м. А что же произошло с «главным взрывателем»? Теоретики астроблем высказывают предположение, что метеорит имел диаметр около 45–50 м, но взорвался, частично испарился. Фрагменты метеорита хранятся во многих музеях мира. Основные их компоненты: железо – 92 %, никель – 7 %. В некоторых фрагментах встречаются небольшие кристаллики алмазов – лонсдейлитов! Самым большим фрагментом считается найденный в 1911 г. Холсингером и носящий его имя метеорит размером до 0,8 м, массой 639 кг (рис. 5).

Важнейшей примечательностью метеорита Холсингера является текстура его поверхности, испещрённой мелкими вмятинами, которые у других метеоритов сочетаются с буграми. Бугорчатость отражает наличие внутри метеорита следов от газовых пустот. Это же свойственно крупнейшим метеоритам Африки – Хоба, Гибсон, Мбоси, крупнейшим метеоритам провинции Синьцзян Китая (на западном краю ячеи Жёлтого моря). Особенно велики пустоты в метеорите Вильяметт (штат Орегон, США). В отличие от метеорита Холсингера все они обнаружены на поверхности Земли, где нет кратеров, но проявляется та же «избирательность» места: метеорит попадает в область сочетания края крупной (многие сотни–первые тысячи километров) ячеистой структуры с зоной трансенсии. Метеорит Хоба (19° 35' ю. ш., 17° 55' в. д.) и расположенные в 600 км южнее метеориты Гибсон (25° 08' ю. ш., 17° 46' в. д.) с другими, выявленными рядом, находятся на западном краю Восточно-Африканской рифтогенно-сдвиговой зоны трансенсии в местах сочетания с северо-западной частью ячеи Калахари. Здесь, в южной части плоскогорья Каоко, на докембрийских кристаллических сланцах через осадочные толщи, а местами непосредственно на сланцы, тектонически налегают вулканические породы, имеющие возраст от позднего



Рис. 5. Метеорит Холсингера, считающийся фрагментом железного метеорита, создавшего Аризонский кратер\*

карбона до юры. Часть их сопоставима с траппами Карру, широко развитыми в юго-восточной части ячеи Калахари, где расположен Бушвелд. Метеорит Мбоси находится на южном краю ячеи Виктория у границы её с ячеей Калахари, где эти ячеи сочетаются с восточным краем той же Восточно-Африканской зоны трансенсии.

Метеорит Хоба в аспекте генезиса железных метеоритов заслуживает особого внимания по ряду обстоятельств (рис. 6). Этот крупнейший из найденных метеорит откопали, но с места не перемещали. Форма его близка к параллелепипеду размером  $2,7 \times 2,7$  м, высотой 0,9 м, словно вырезанному из пласта вдоль двух ортогональных трещин. Он состоит из Fe – 82,34 %, Ni – 16,44 %, Co – 0,78 %, примеси Cr, Ir, Zn. Внутри «пласта» отмечается обилие пустот, похожих на следы газовых пузырей. От них сверху отходят многочисленные узкие трубообразные каналы, как будто через них тело «продували» газами или промывали флюидами. Другой пузыристый железный метеорит Мбоси размером  $3 \times 1$  м найден в высокогорье юга Танзании ( $8^{\circ} 54'$  ю. ш.,  $33^{\circ} 27'$  в. д.). Примечательны его полуовальная форма и зональное строение. Основная масса представлена железом с обилием мелких шарообразных пустот, обрамляется оболочкой, имеющей (по данным Интернета) структуру стекла, с ядром кварцевого состава. То есть обособление, трактуемое как метеорит, содержит совершенно

\* В табличке к фрагменту метеорита указан размер его виртуального родителя 45 м, который испарился. Опираясь на методику астроблемной концепции расчёта параметров и скорости астероидов, можно определить содержание условного золота в испарениях. Расчёт прост. Потомки Дэниэла Бэрринджера, владеющие территорией, за обозрение кратера и метеорита Холсингера взимали плату 18 \$ с человека, что эквивалентно в то время стоимости 0,3 г золота при цене 1850 \$ за унцию. Группа туристов из 13 человек весит около 1 т. Отсюда получаем содержание 4 г/т усл. Au.

разнородные образования при наличии «пузыристого метеоритного» железа. Стекловатая оболочка может сопоставляться со следами обычного плавления оболочки и её абляции (сдувания) при входе в атмосферу метеорита, но надутого пузырями. Можно полагать, что при повышенных тепло- и теплопроводности железа по сравнению с горными породами метеорит мог вскипать при нагревании и подвергаться декрепитации. Но тогда невероятным представляется наличие тонких трубообразных каналов выхода газов, подобных каналам в коре метеорита Хоба. То есть возможны разные и существенные объяснения.

Проблемные характеристики упомянутых метеоритов побуждают обратиться к примерам условий образования самородного железа в связи с базальтоидным магматизмом в геологической обстановке, аналогичной местам находок железистых метеоритов. Это обстоятельно рассмотрено в монографии [9]. Железные самородки связаны с Хунгтукунским интрузивом оливинсодержащих габбродолеритов, который расположен в непосредственной близости к Хатангскому рифтогену, западнее Анабарского щита, симметрично Попигайской «астроблеме». Возраст интрузива близок к возрасту его соседей – сибирских траппов. Проявления самородного железа находятся в верхней эндоконтактной зоне интрузива, выглядят в виде пластин, шарообразных желваков, дисковидных линз. Из наиболее крупных самородков два – «Бомба» (60 кг) и «Подвеска» (250 кг) – хранятся в музее ИГиГ СО АН СССР в Новосибирске, а один массой 150 кг – в музее А. Е. Ферсмана в Москве. В каньоновидном ущелье, пересекающем верхнюю часть интрузива, обнаружен самородок из сливного железа, выступающая часть которого оценена в 10 т. В. В. Рябовым с соавторами была выдвинута гипотеза, согласно которой железо восстанавливается из окисных соединений газовыми струями ( $\text{CH}_4$ , CO,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ), возникшими при разложении органики сапропелей под действием магм. Это соответствует чрезвычайно большой газонасыщенности железных метеоритов.

В качестве примера вовлечения обильной биогенной органики в вулканический процесс служит её участие в современной рециклинговой системе вулкана Олдоиньо Ленгаи (Танзания) [3]. Просачивание по крутопадающему сдвигу обогащённой органикой вод щелочного озера Натрон в надочаговое пространство этого вулкана происходит в наше время.

Оксиды железа, восстанавливаемые до металлического (самородного) состояния, могут иметь первично разную природу, например типа слоёв Главного магнетитового рифа Верхней зоны Бушвелда, или другую. Процесс образования крупных безкратерных

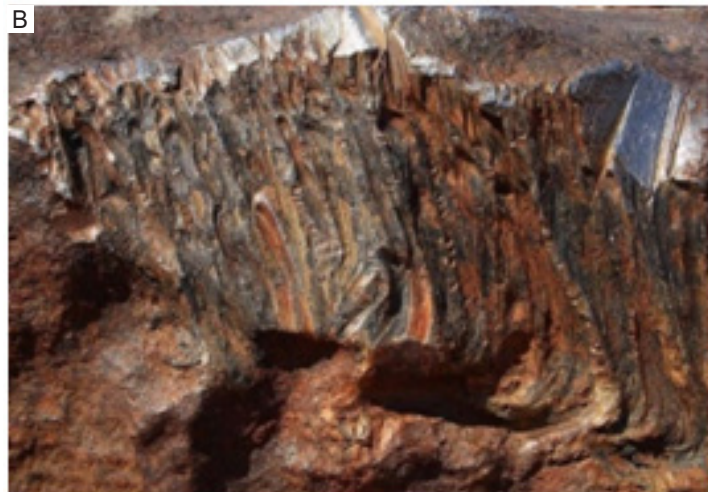


Рис. 6. Метеориты Хоба, Мбоси и Вилламетт – самые крупные среди найденных:

А – участники Международного геологического конгресса у метеорита Хоба, 1929 г.; Б – морфология метеорита Хоба – национального памятника Намибии, 1987; В – текстура верхнего фрагмента тела Хоба с овальными пустотами и отходящими вверх от них трубообразными каналами; Г – метеорит Мбоси (Юго-Восточная Африка); Д – метеорит Вильяметт (штат Орегон, США)

«метеоритов» мог происходить при трапповом магматизме, магмы которого регенерировали раннепротерозойские скопления железа. При наличии сапропелевых масс в соседстве магм и железоксидных руд могли образовываться железные самородки с газовыми пузырями, похожие на метеорит.

Существенную роль в проникновении растворов и суспензий с органическим веществом (восстановителем железа) в надынтрузивное пространство играют крутопадающие разломы зон трансенсии. Об этом свидетельствуют приведённые примеры Африки, пример американской ситуации с вулканом Парикутин, извергшим 39 млн т водяного пара.

*Заключение.* Кольцевые структуры, имеющие сходство с астроблемами, должны изучаться во взаимо-

отношении с окружающей средой, что дополнительно покажет либо их случайность, присущую метеоритным ударам, либо геодинамическую закономерность, ставящую под сомнение астроблемную природу. Комбинации (ансамбли) трансенсионных сдвигов и ячеистых структур закономерны. Анализ объекта с позиций конвективной геодинамики и сопутствующих ей структурных элементов даст объективный ответ. Выводы об астроблемной природе многих ячеистых кратерообразных структур Земли и Луны требуют ревизии. Если метеориты, в которых обнаружены алмазы с изотопно-лёгким углеродом, характерным для биомассы их источника, окажутся не метеоритами, то это снимет одну из загадочных проблем алмазной минерации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Апродов В. А.* Вулканы. – М.: Мысль, 1982. – 367 с.
2. *Атлас офицера.* – М.: Военно-топографическое управление, 1974. – 394 с.
3. *Барышев А. Н.* Вулкан Олдоиньо Ленгаи (Танзания) и сущность его современных извержений // Отечественная геология. – 2021. – № 3–4. – С. 69–80.
4. *Глазовская Л. И., Парфенова О. В., Илькевич Г. И.* Импаكتиты Логойской астроблемы // Петрология. – 1993. – Т. 1, № 6. – С. 834–844.
5. *Кац Я. Г., Козлов В. В., Поletaев А. И., Сулиди-Кондратьев Е. Д.* Кольцевые структуры лика планеты. – М.: Знание, 1989. – 48 с.
6. *Масайтис В. Л.* О геологическом картографировании импактных структур // Региональная геология и металлогения. – 2016. – № 3 (67). – С. 61–69.
7. *Нифонтов Ю. И., Протопопов Д. Д., Ситников И. Е., Кликов А. В.* Подземные ядерные взрывы. – М.: Атомиздат, 1965. – 160 с.
8. *Пальянов Ю. Н., Сокол А. Г., Борздов Ю. М., Соболев Н. В.* Экспериментальное исследование процессов кристаллизации алмаза в системах карбонат-углерод в связи с проблемой генезиса алмаза в магматических и метаморфических породах // Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39, № 12. – С. 1780–1792.
9. *Рябов В. В., Павлов А. Л., Лопатин Г. Г.* Самородное железо сибирских траппов на примере Хунгтукунского месторождения. – Новосибирск: Наука, 1985. – 170 с.
10. *Фельдман В. И.* Астроблемы – звездные раны Земли // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 9. – С. 67–74.
11. *Хачатрян Г. К., Барышев А. Н.* Азот и водород в алмазах: следствия минерации. – М.: ЦНИГРИ, 2022. – 188 с.
12. *Штейнберг Г. С.* О происхождении крупных лунных кратеров и круглых морей // Доклады АН СССР. – 1969. – Т. 184, № 3. – С. 566–569.

## REFERENCES

1. *Aprodov V. A.* Vulkany [Volcanoes], Moscow, Mysl' Publ., 1982, 367 p.
2. *Atlas ofitsera* [Atlas of the officer], Moscow, Voennotopograficheskoe upravlenie Publ., 1974, 394 p.
3. *Baryshev A. N.* Vulkan Oldoin'o Lengai (Tanzaniya) i sushchnost' ego sovremennykh izverzhenii [Oldoinyo Lengai volcano (Tanzania) and the essence of its modern eruptions], Otechestvennaya geologiya [National Geology], 2021, No 3–4, pp. 69–80. (In Russ.).
4. *Glazovskaya L. I., Parfenova O. V., Il'kevich G. I.* Impaktity Logoiskoi astroblemy [Impacts of the Logoi astrobleme], Petrologiya [Petrology], 1993, V. 1, No 6, pp. 834–844. (In Russ.).
5. *Kats Ya. G., Kozlov V. V., Poletaev A. I., Sulidi-Kondrat'ev E. D.* Kol'tsevye struktury lika planet [Ring structures of the face of the planet], Moscow, Znanie Publ., 1989, 48 p.
6. *Masaitis V. L.* O geologicheskome kartografirovani i impaktnykh struktur [On geological mapping of impact structures], Regional'naya geologiya i metallogeniya [Regional Geology and Metallogeny], 2016, No 3 (67), pp. 61–69. (In Russ.).
7. *Nifontov Yu. I., Protopopov D. D., Sitnikov I. E., Klikov A. V.* Podzemnye yadernye vzryvy [Underground nuclear explosions], Moscow, Atomizdat Publ., 1965, 160 p.
8. *Pal'yanov Yu. N., Sokol A. G., Borzdov Yu. M., Sobolev N. V.* Eksperimental'noe issledovanie protsessov kristallizatsii almaza v sistemakh karbonat-uglerod v svyazi s problemoi genезisa almaza v magmaticeskikh i metamorficheskikh porodakh [Experimental investigation of diamond crystallization processes in carbonate-carbon systems in connection with the problem of diamond genesis in igneous and metamorphic rocks], Geologiya i geofizika [Russian Geology and Geophysics], 1998, V. 39, No 12, pp. 1780–1792. (In Russ.).

9. *Ryabov V. V., Pavlov A. L., Lopatin G. G.* Samorodnoe zhelezo sibirskikh trappov na primere Khungtukunskoro mestorozhdeniya [Native iron of Siberian traps on the example of the Khungtukun birthplace], Novosibirsk, Nauka Publ., 1985, 170 p.
10. *Fel'dman V. I.* Astroblemy – zvezdnye rany Zemli [Astroblems – stellar wounds of the Earth], Sorosovskii obrazovatel'nyi zhurnal [Soros Educational Journal], 1999, No 9, pp. 67–74. (In Russ.).
11. *Khachatryan G. K., Baryshev A. N.* Azot i vodorod v almazakh: sledstviya mineragenii [Nitrogen and hydrogen in diamonds: consequences of mineralogy], Moscow, TsNIGRI Publ., 2022, 188 p.
12. *Shteinberg G. S.* O proiskhozhdenii krupnykh lunnykh kraterov i kruglykh morei [On the origin of large lunar craters and round seas], Doklady AN SSSR [Reports of the USSR Academy of Sciences], 1969, V. 184, No 3, pp. 566–569. (In Russ.).

По всем вопросам, связанными со статьями, следует обращаться в редакцию  
по тел. +7 (495)315-28-47,  
E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1