

Космические катастрофы и шевронные дюны

Ю. И. Лобановский

Бросая в воду камешки, смотри на круги, ими образуемые; иначе такое бросание будет пустою забавою.
К. Прутков

Краткое содержание

В данной работе описывается метод расчета высоты волны цунами по высоте шевронной дюны, созданной этой волной. Показано, что взаимосогласование не только осей, но и высот различных шевронов, расположенных на удаленных друг от друга морских и океанских берегах, свидетельствует о происхождении этих дюн от морских волн, которые называют гигантскими цунами. На Макранском побережье Ирана по космическим фотоснимкам найден шеврон, который вместе с известным ранее шевроном на индийском берегу Аравийского моря, а также осадочными отложениями в Нижней Месопотамии и в бухте Чах Бахар, расположенной недалеко от первого шеврона, образуют систему наносов, возникших около 5200 лет назад в результате ранее неизвестного импактного события – падения метеороида в северную часть Аравийского моря. Линии осей этих двух шевронов, пересекаясь в Аравийском море, дают координаты точки его падения.

На основе размеров кратера Баркл и высоты возникших вместе с ним цунамигенных шевронов получены оценки характеристик небольшого астероида – небесного тела, падение которого и создало эти геологические структуры, а также определена нижняя граница энергии взрыва, произошедшего во время этого катастрофического процесса. Показано, что она на 3 порядка больше, чем энергия взрыва вулкана Тамбора в 1815 году, вызвавшего на всей Земле «год без лета». Следовательно, климатические последствия этого события, по-видимому, должны быть не меньше чем при начале Позднего дриаса (около 12700 лет назад), и приурочивать падение астероида Баркл к более поздним датам нет никаких оснований.

Ключевые слова: метеороид – астероид – комета – импакт – шевроны – взрыв – цунами – энергия – катастрофа – Всемирный потоп

Таблица символов

v – скорость
p – давление
ρ – плотность
D – диаметр метеороида
d – диаметр кратера
L – удаление, дистанция
m – масса
E – энергия
H – высота волны на поверхности воды
S – глубина слоя воды
λ – длина волны
δ – угол входа
γ – показатель степени
ε – относительное отклонение
k – коэффициент

Индексы

0 – начальный
a – располагаемый, относящийся к железоникелевому метеороиду
c – относящийся к силикатному метеороиду
r – потребный
e – взрывной
i – импактный
max – максимальный
cr – критический
lim – предельный
* – характерный

I. Введение

На морских и океанских побережьях существуют так называемые шевронные дюны (шевроны), которые в соответствии с разделяемыми многими исследователями представлениями, были созданы в прошлом гигантскими волнами цунами, образовавшимися при землетрясениях, взрывах вулканов, оползнях или при падениях в мировой океан крупных небесных тел. Известен общемировой список таких шевронов, включающий 221 пункт [1]. Многие из шевронов, как можно предполагать, образуют своеобразные группы, связанные общностью происхождения. В первом приближении эти группы определяются азимутами их продольных осей, указывающих на направление, откуда пришла создавшая их волна.

Эти азимуты оказываются своеобразными пеленгами на источник волны. И число точек, на которые указывают эти пеленги, оказывается много меньше числа шевронов. Несмотря на то, что при наличии сложной береговой линии (выступы, острова, полуострова, узкие бухты и проливы), линия направления движения волны может отклоняться от радиуса (точнее, от ортодромы на поверхности геоида при больших расстояниях), проведенного из источника возмущения, такие отклонения, обычно, не слишком велики и достаточно предсказуемы. При желании в каждом конкретном случае их можно рассчитать численно. Правда, для этого надо знать длину волны, которая становится известной только после решения задачи, так что в этих исследованиях необходимо применять методы последовательных приближений. При этом длины волн в случаях с инцидентами большой энергии велики, и дифракция этих волн на сравнительно мелких элементах рельефа практически незаметна. Кроме того, есть немало шевронов, у которых отклонения осей от ортодром, проведенных из источника волн цунами, практически отсутствуют.

Однако идеи о гигантских цунами, создавших в прошлом шевронные дюны на морских берегах, тем не менее, встречают серьезные возражения. В противовес им утверждается, что дюны имеют эоловое (ветровое) происхождение (см., например, [2]), в основном потому, что иногда похожие структуры находят и в глубинах материков – в качестве примера приводят, обычно, зону дюн Палаус (Palouse) на северо-западе Соединенных Штатов [3]. Подобные утверждения высказываются, несмотря на то, что шевронные дюны часто сложены из довольно крупных, неподъемных ветром частиц. Кроме того, наличие в шевронах морских организмов, а также «метеоритных» металлов: никеля, хрома и железа, внедренных в ископаемые остатки, достаточно недвусмысленно указывает на мощные взрывные процессы, когда-то происходившие под водой, и, по-видимому, скорее всего, все-таки вызванные падением каких-то небесных тел [4]. К тому же, приводятся свидетельства того, что и зона дюн Палаус была создана не воздушными, а водяными потоками во время грандиозных наводнений, происходивших в этой области по геологическим меркам совсем недавно – в конце плейстоцена, и, видимо, вызванных таянием ледников [4].

В Индийском океане в полутора тысячах километров к юго-востоку от острова Мадагаскар в точке с координатами 30.865° ю. ш. и 61.365° в. д. около 10 лет назад был обнаружен крупный ударный кратер Баркл (Burckle) [5, 6], а по берегам Мадагаскара, Африки, Шри-Ланки и Австралии существует группа шевронных дюн, пеленги осей которых направлены в точку расположения этого кратера. Так что вполне обоснованным является предположение о том, что это эти шевроны были созданы гигантской волной цунами, образовавшейся при формировании этого кратера упавшим туда небесным телом. При этом диаметр кратера составляет около 29 км, и расположен он на глубине 3.8 км, так что метеороид, падение которого привело к образованию кратера и гигантского цунами должен быть очень велик, а взрыв, произошедший в результате его падения – поистине грандиозен.

Достаточно очевидно, что если не только азимуты, но и максимальные высоты шевронов одной группы будут связаны некой простой и обоснованной физическими соображениями функциональной зависимостью от расстояния до предполагаемого источника волны, то это сможет стать новым доказательством их происхождения именно от водяных волн, а не от ветра. Наиболее перспективным источником такого рода по всем показателям является объект или процесс, создавший кратер Баркл, с которым, как можно предполагать, может быть связано до трех десятков известных шевронов (см. [1]). При этом, станет также возможным оценить параметры того не вполне ординарного небесного тела, которое создало этот кратер, и понять, насколько возможно считать его источником Библейского («Всемирного») потопа, что уже делается сейчас (см., например, [6]).

II. Метод определения высоты волны по максимальной высоте созданного ею шеврона

Несмотря на сложность процесса возникновения волн при падении тела в воду, распространение длинных гравитационных волн по мелкой воде, чем являются все движения волн цунами по Мировому океану, описывается довольно просто (см. например, [7]). При этом, несмотря на то, что с физической точки зрения это всегда есть волны «на мелкой воде», далее будем различать волны «на глубине», то есть, при толщине слоя воды, близкой к первоначальной, и на «мелководье» – когда толщина слоя воды и высота волны соизмеримы. Так как при отсутствии влияния берегов такая волна концентрически распространяется

по поверхности воды, захватывая все бóльшие круговые области океана, а диссипативными потерями энергии при ее движении можно пренебречь, то при постоянной глубине высота волны H оказывается обратно пропорциональной расстоянию от центра ее возникновения L (см., например, [8]):

$$H \sim L^{-1} \quad (1)$$

Если же волна распространяется в канале с постоянной шириной, то из тех же соображений

$$H \sim L^{-1/2} \quad (2)$$

Изменение высоты волны H от толщины слоя (глубины) воды S , по которому она распространяется, как известно, определяется формулой Эйри, также получаемой из энергетических соображений [7]:

$$H \sim S^{-1/4} \quad (3)$$

Так что с уменьшением глубины воды высота волны растет до тех пор, пока она не достигнет максимально возможной величины для мелководья H^* и не станет примерно равна $3/5$ от глубины воды S^* в этом месте:

$$H^* = \frac{3}{5} S^* \quad (4)$$

Как следует из эмпирических данных, с этого момента рост высоты волны прекращается из-за сильного турбулентного рассеивания энергии на переднем фронте волны [9]. Далее она некоторое время движется с постоянной высотой, а затем, при совсем малых глубинах

$$S_{\text{lim}} < \frac{4}{3} H^* \quad (5)$$

фронт ее опрокидывается, и волна распадается [7].

Длина волны λ уменьшается при уменьшении глубины:

$$\lambda \sim S^{1/2}, \quad (6)$$

и этот факт необходимо учитывать при рассмотрении взаимодействия волны цунами с элементами берегового рельефа.

У нас, как можно полагать, есть материальные следы древних цунами – шевронные дюны, но как их высота связана с высотой самих волн – пока не ясно. Представляется достаточно очевидным, что если отсутствуют другие ограничения, то высота волны и высота поднятого ею и перенесенного на новое место слоя наносов, в том числе и образовавшего поле шевронных дюн, должны иметь функциональную связь через энергию, требуемую для создания слоя наносов, и располагаемую энергию волны. В том случае, когда доля энергии, затрачиваемой на создание слоя наносов, от энергии, располагаемой при изменении масштаба процесса, изменяется мало, эта функциональная связь может выглядеть очень просто. В самом деле, как известно [7], энергия волны пропорциональна квадрату ее высоты (при неизменных остальных ее размерах):

$$E \sim H^2$$

Тогда при сохранении геометрического подобия, полная (располагаемая) энергия гравитационной волны E_a будет пропорциональна ее объему, умноженному на высоту ее центра тяжести, то есть четвертой степени ее любого размера, в то числе и высоты:

$$E_a \sim H^4$$

Точно такой же пропорцией описывалась бы и связь между максимальной высотой слоя наносов и энергией, необходимой для его образования, но только при сохранении геометрического подобия этого слоя. Однако, опыт показывает, что форма слоя наносов не остается постоянной при изменении его масштаба. Если высота волны мала, этот слой имеет почти постоянную толщину. Но, с ростом высоты слой наносов становится все более и более волнообразным. Собственно говоря, ровные песчаные пляжи и сами шевронные дюны вполне являются доказательством этого утверждения. Поэтому, и характерные размеры и высота центра тяжести дюн при увеличении их масштаба будут расти медленнее, чем их максимальная

высота. Следовательно, требуемая для их образования энергия E_r , в первом приближении может быть описана следующим образом:

$$E_r \sim h_{\max}^{\gamma},$$

где показатель степени $\gamma < 4$. При этом вследствие сравнительно медленного изменения формы слоя наносов при его утолщении, величина γ вряд ли будет заметно меньше 3.

Отсюда следует, что, по крайней мере, в первом приближении и при отсутствии неэнергетических ограничений максимальная высота шевронов (то есть слоя наносов) связана с максимальной высотой создавшей их волны следующим образом:

$$h_{\max} = kN^{4/\gamma}, \quad (7)$$

где k – неизвестный нам пока коэффициент пропорциональности. Очевидно, что при такой структуре формулы (7) при некоторой высоте волны N максимальная высота дюны h_{\max} превысит высоту волны, что представляется не соответствующим реальности. Поэтому следует ввести дополнительное, чисто геометрическое ограничение:

$$h_{\max} \leq N \quad (8)$$

Данную высоту назовем критической. Она определяется величиной коэффициента k и показателя степени γ :

$$h_{cr} = N_{cr} = k^{\frac{\gamma}{\gamma-4}}$$

В результате первичных оценок высот шевронов было получено, что показатель степени $\gamma = 3$ вполне подходит для дальнейшей верификации. Тогда

$$h_{\max} = kN^{4/3} \quad (9)$$

и

$$h_{cr} = N_{cr} = k^{-3} \quad (10)$$

По данным археолога сэра Леонарда Вулли, высота волны, создавшей слой наносов в древнем городе Уре во время Месопотамского наводнения («Всемирного потопа») максимальной толщиной 3 м, «как и следует из Библии» должна была составлять 8 м [10]. Тогда из формулы (9) следует, что коэффициент $k = 3/16 = 0.1875 \text{ м}^{-1/3}$, и критическая высота волны при образовании дюн $N_{cr} \approx 150 \text{ м}$. Именно при таких волнах высота шевронных дюн сравнивается с высотой самих волн. При меньшей высоте волны созданные ею шевроны могут быть в 2 – 3 раза ниже волны, а при совсем малых масштабах процесса волнообразные структуры превращаются просто в достаточно ровный слой наносов.

III. Отбор подходящих для анализа шевронов и верификация метода расчета

Как уже упоминалось выше, не менее 30 шевронов можно связать с кратером Баркл. Однако далеко не все из них подойдут для верификации формул (9), (10). Кроме геометрических и энергетических ограничений на максимальную высоту шевронов может существовать еще множество других. Самым очевидным ограничением такого рода может быть банальная нехватка подходящего сыпучего материала. К тому же, шевроны могут быть затенены различными островами, мысами, находясь в глубине достаточно узких проливов или бухт. В этих условиях формула (1), справедливая для безграничного океана, перестает адекватно отражать изменение высоты волны от длины ее пробега. И на каких-то участках траектории движения волны зависимость между ее высотой и длиной пробега будет лучше описываться формулой с показателем степени меньше 1, вплоть до $1/2$ и даже еще ниже. Кроме того, в таких случаях при значительном отклонении траектории движения волны от первоначального направления должны возникать существенные потери ее энергии. При близости длины волны и размеров препятствий значительное и нелегко учитываемое влияние вносит дифракция волн. Во всех этих случаях у нас теряется возможность правильно оценивать реальную высоту волны, что необходимо для верификации формул (9), (10).

Поэтому при верификации среди имеющихся близкорасположенных шевронов должны использоваться шевроны с максимальными высотами, так как это дает определенную гарантию того, что нехватки сыпучего материала в данном месте не было. Вдобавок, шевроны должны лежать на открытом достаточно ровном длинном берегу, не затененном крупными (соизмеримыми с длиной волны) островами. Ясно, что расстояния от точки падения метеороида до разных шевронов должно заметно различаться. Для шевронов из группы

Баркла таких «модельных» экземпляров пока нашлось 4: 2 на острове Мадагаскар (шевроны 156 и 157), 1 – в Мозамбике (шеvron 141) и 1 – в Южной Австралии (шеvron 198). Все они описаны в таблице 1.

Таблица 1

| Объект | Широта (°) | Долгота (°) | L (км) | h_{\max} (м) | H_1 (м) | H_2 (м) | H_3 (м) | ε (%) |
|------------------|------------|-------------|--------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| Баркл | - 30.865 | 61.365 | 0 | – | – | – | – | – |
| Шеврон 156 | - 25.46 | 45.72 | 1645 | 190 | 190 | 102 | 103 | 0.9 |
| Шеврон 157 | - 25.22 | 44.59 | 1750 | 182 | 182 | 96.8 | 96.8 | 0.1 |
| Шеврон 141 | - 24.13 | 35.48 | 2685 | 115 | 123 | 59.4 | 63.1 | 6.1 |
| Шеврон 198 | - 33.87 | 122.06 | 5630 | 60 | 75.7 | 32.3 | 30.1 | -7.0 |
| Метеороид Потопа | 21.12 | 62.79 | 0 | – | – | – | – | – |
| Конарак | 25.47 | 59.48 | 590 | 12.3 ^{*)} | 23.1 | 7.5 | 7.5 | – |
| Шеврон 167 | 22.78 | 69.44 | 710 | 10 | 19.7 | 6.2 | 6.2 | 0.0 |
| Ур | 30.96 | 46.10 | 2200 | 3.0 | 8.0 | 2.0 | 2.0 | – |

^{*)} – расчетная величина.

В этой таблице указаны географические координаты всех перечисляемых объектов и расстояние L до шевронов от «головного объекта» – кратера Баркл для первых четырех групп дюн, и от точки в северной части Аравийского моря под наименованием «Метеороид Потопа» до двух местных шевронов и до развалин города Ура – зоны, где археологические раскопки показали наличие трехметрового слоя наносов. В таблице имеются значения h_{\max} – максимальной высоты шевронов или толщины слоя наносов в Уре, H_1 – максимальной высоты волны цунами на мелководье, определяемой с помощью формул (9), (10) по высоте шеврона. Кроме того, в таблице 1 можно увидеть величину H_2 – высоту волны цунами, которая была бы в той же точке, но в открытом океане начальной глубины (3800 м – у первой и 3500 м – у второй группы объектов). Первая глубина – такая, как в зоне расположения кратера Баркл, а вторая – это оценка для Аравийского моря в указанной точке. Величина H_2 вычисляется из высоты волны на мелководье H_1 в итерационном процессе по формулам (3), (4). Далее, H_3 – высота волны цунами, полученная путем минимизации по методу наименьших квадратов произведения LH_2 для всех рассматриваемых случаев, что означает пересчет высот волны по формуле (1). В последнем столбце таблицы 1 показано относительное различие высот волны H_2 и H_3 в процентах, что является характеристикой точности метода расчета высоты волны по высоте шеврона. Так как величины H_2 и H_3 для шеврона 157 практически совпадают, то значения H_3 для других рассмотренных случаев – это, по существу, пересчет высоты данного шеврона по формуле (1) с шеврона 157, то есть обратно пропорционально дистанции пробега волны L.

Траектории волн от кратера Баркл к шевронам 156, 157, 141 и 198 показаны на рис. 1. Даже они, строго говоря, не полностью удовлетворяют всем требованиям к «модельным шевронам»: мадагаскарские расположены на острове, хоть и на очень большом, траекторию волны мозамбикского шеврона «стесняет» с севера этот же остров, вызывая ее разворот на южной оконечности острова на север в Мозамбикский пролив, а в самом конце траекторию волны австралийского шеврона тоже с севера «подпирает» берег. Но, как показали дальнейшие расчеты, длина этой волны цунами на глубине порядка 100 км, а на мелководье у Мадагаскара она уже порядка 30 км (см. формулу (6)), в то время как характерный поперечный размер этого острова даже на самом юге минимум в 10 раз бóльший. Поэтому дифракция волн в окрестности рассматриваемых мадагаскарских шевронов 156 и 157 должна быть незначительна, и с интересующей нас точки зрения берег этого острова практически не отличается от материкового. Ну, а влияние граничных условий на высоту волн, создавших мозамбикский (141) и австралийский (198) шевроны, по-видимому, и объясняет те несколько процентов расхождения со средними расчетными значениями этого параметра (см. последний столбец таблицы 1).

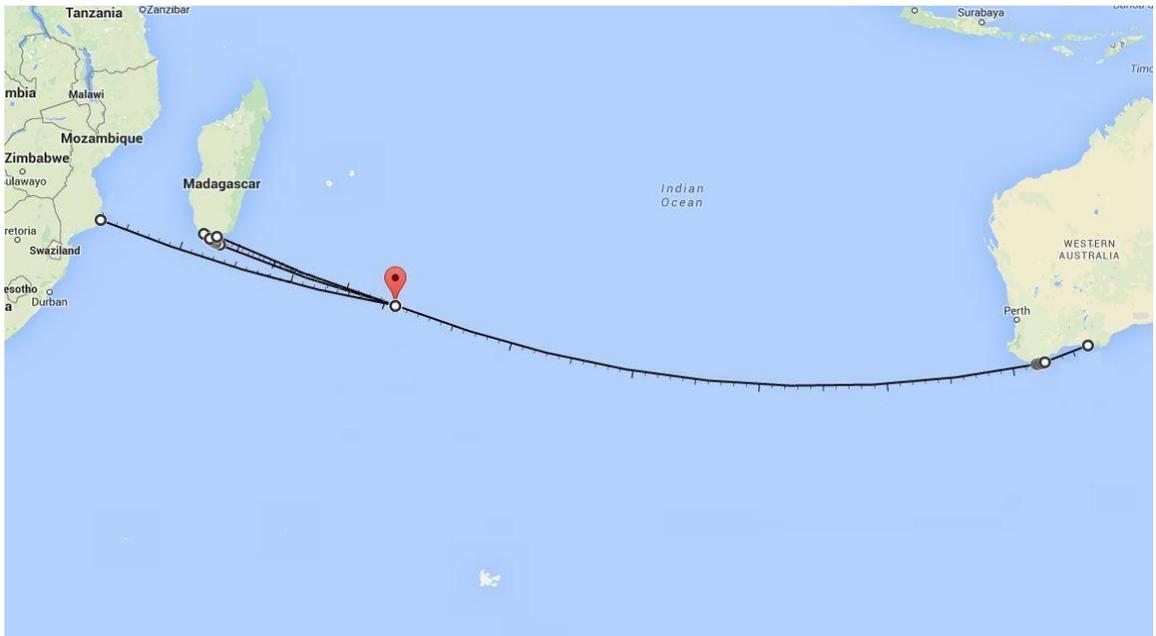


Рис. 1

IV. Формирование новой группы шевронов с центром на севере Аравийского моря

Наряду с широко известными шевронами Мадагаскара и Австралии, высота которых иногда достигает 200 м и более, на северо-восточном индийском побережье Аравийского моря в штате Гуджарат у города Мандви около точки с координатами 22.78° с. ш. и 69.44° в. д. расположился скромный шеврон 167 с максимальной высотой около 10 м. В отличие от своих более известных собратьев, образующих некие взаимосвязанные группы, этот шеврон ни в какие группы не входил, что было видно из азимута его оси, то есть пеленга на источник его возникновения. Но этот пеленг указывает на северную часть Аравийского моря, то есть именно на ту область, которая рассматривалась в качестве возможной зоны падения Метеороида Потопа – предполагаемой причины Библейского «Всемирного потопа» [11], см. рис. 2.



Рис. 2

В связи с этим в поисковой системе Google/Earth был произведен просмотр крупномасштабных космических фотографий берегов северной части Аравийского моря, и на так называемом Макранском побережье в 90 километрах западнее иранского города Конарак в точке 25.47° с. ш. и 59.48° в. д. были обнаружены типичные шевронные дюны, очень похожие на шеврон 134 Южной Африки или шеврон 154 с южной оконечности острова Мадагаскар, но только значительно меньших размеров. Фотография вновь найденного иранского шеврона, названного Конараком, представлена на рис. 3.



Рис. 3

Линии на рисунках 2 и 3 – это пеленги на источник волны цунами, создавшей оба этих шеврона. Их пересечение дает точку падения Метеороида Потопа, который после этого из гипотетического объекта превращается во вполне реальный. Надо отметить, что эти 2 шеврона расположены весьма удачно для определения точки падения (угол между пеленгами довольно близок к прямому), и размеры района падения составляют, по оценкам, не более 0.5° , а номинальные координаты расчетной точки – это 21.12° с. ш. и 62.79° в. д. Она находится в глубоководной зоне Аравийского моря на севере ее Аравийской котловины с плоским дном и глубинами в этой зоне от 3 до 4 км [12]. Поэтому толщина слоя воды в этом месте была оценена в 3500 м.

Из точки падения метеороида были измерены расстояния до шеврона 167 и шеврона Конарак, которые оказались равны 710 и 590 км соответственно (см. рис. 2). Дистанция по прямой от нее до развалин города Ур, где был зафиксирован трехметровый слой водных наносов [10], составляет 1990 км. Однако, волна цунами распространяться по прямой не могла – на ее пути лежал аравийский полуостров Мусандам. Известно, что волна на поверхности воды на достаточно большом удалении от источника образует в узостях прямолинейный фронт постоянной высоты и распространяется по ним даже при их небольшой глубине, в том числе и по рекам, с малыми потерями. При этом фронт волны практически перпендикулярен продольной оси узости, и ее извивы не слишком мешают распространению волны (см, например, [7, 9]). Из этих соображений и была проведена приближенная траектория движения волны цунами до Ура с учетом древней береговой линии Персидского залива, простиравшегося до самого этого города. При этом длина пробега волны от точки падения метеороида до Ура составила, примерно, 2200 км (см. рис. 4).



Рис. 4

При вхождении волны цунами из Аравийского моря в Оманский залив и далее в Ормузский пролив, а, затем, и в Персидский залив, имеются факторы, оказывающие на ее энергию, а, значит, и высоту, взаимно противоположное влияние в сравнении с распространением волны в безграничном океане. С одной стороны, появляются потери энергии по берегам трассы, затраты на развороты траектории волны в окрестности Ормузского пролива, а также потери при последовательных сужениях и расширениях канала движения. С другой стороны, с расстояния в несколько сот километров от старта волны зависимость ее высоты от дистанции пробега начинает определяться не формулой (1), а чем-то, достаточно близким к формуле (2). Это означает что «в среднем» здесь практически прекращается рассеивание энергии волны поперек ее траектории из-за примерного постоянства ширины канала ее распространения. Какой из этих факторов будет преобладать, имеющимися сейчас у нас методами решить невозможно. Однако, факт есть факт: толщина слоя наносов в Уре и высота шеврона на индийском побережье полностью согласуются между собой при указанных дистанциях и при условии расчета по формулам (1), (3), (4), (8) – (10) (см. две последние строки таблицы 1). И любую из этих двух расчетных точек можно добавить к четырем ранее рассмотренным для вычисления среднеквадратичного отклонения по данным, получаемым двумя различными способами.

Среднеквадратичное отклонение по 5 расчетным точкам составляет всего 4.2 % для диапазона изменения максимальной толщины слоя наносов от 3.0 м до 190 м, что при учете всех приводящих обстоятельств представляется прекрасным результатом. И это означает, что метод пересчета высоты волны с максимальной высоты созданного ею шеврона работает со вполне достаточной для нас степенью точности.

V. Влияние морских узостей на энергию волн и оценка точности предлагаемого метода

Ситуация, схожая с только что рассмотренной, возникает и при движении волны цунами по Мозамбикскому проливу (см. рис. 5). Также как и в Ормузском проливе, волна разворачивается больше чем на 90°, входя в сужающийся канал, а затем она из этой узости выходит. Качественным отличием между двумя рассматриваемыми случаями является только то, что после выхода из Ормузского пролива волна от Метеороида Потопа движется по довольно узкому Персидскому заливу примерно постоянной ширины, а для волны от метеороида Баркл на востоке открывается почти безбрежное пространство Индийского океана. Это обстоятельство приводит к рассеиванию энергии волны в восточном направлении, поэтому можно ожидать, что модельный линейный пересчет по формуле (1) приведет к некоторому завышению высоты волн, и, следовательно, высоты шевронов на этом побережье Африки.

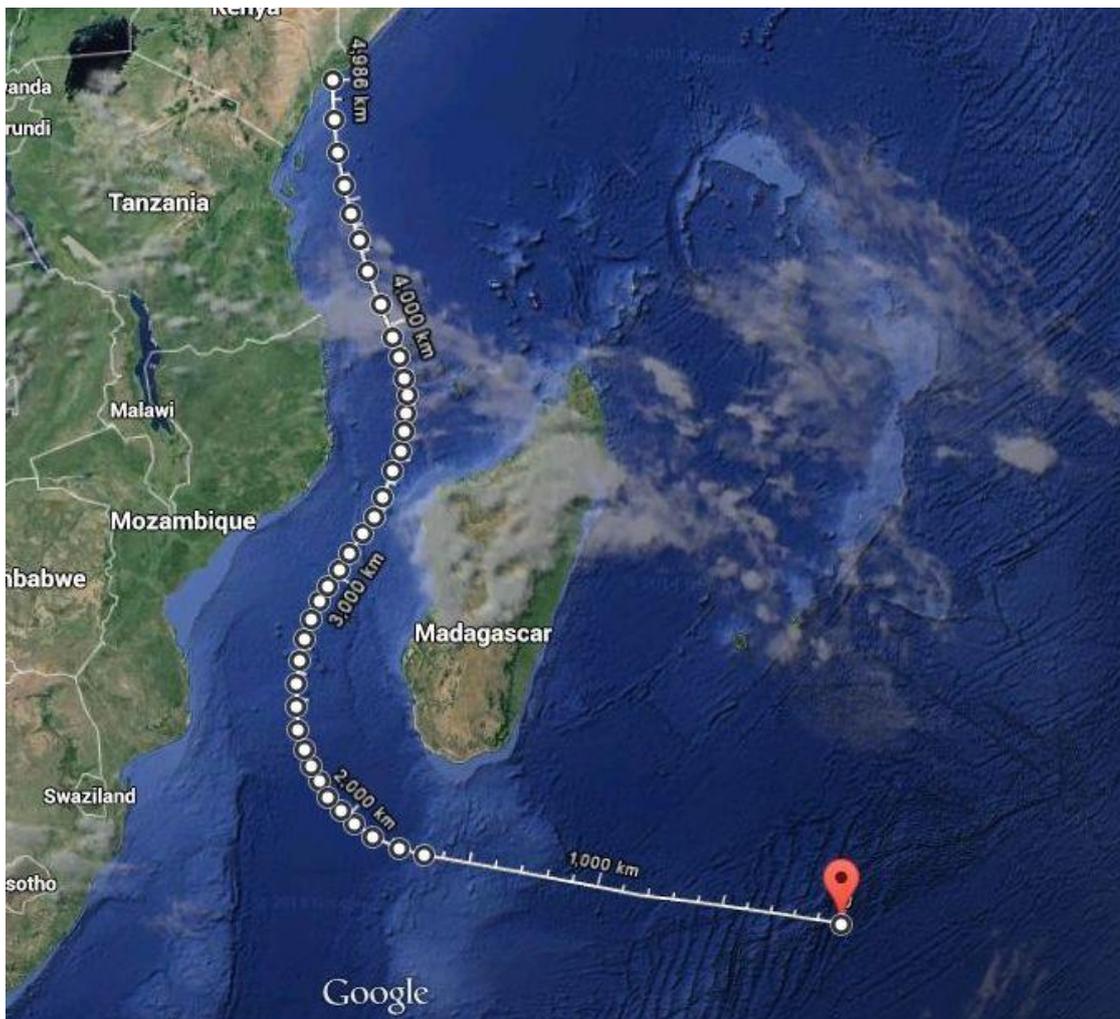


Рис. 5

Так в самом деле и происходит. В таблице 2 для сравнения снова приведены данные по шеврону 157, для которого имеется полное совпадение высот волн, рассчитанных двумя различными способами, а также данные еще по трем шевронам. Один из них лежит у входа в Мозамбикский пролив (это ранее уже рассмотренный нами шеврон 141), второй (шеврон 143) находится на 285 км севернее на небольшом острове в самом проливе у африканского берега, и третий (шеврон 144) лежит далеко за выходом из пролива на океанском берегу в Кении. Его местоположение показано конечной точкой траектории, изображенной на рис. 5. У шеврона 141 расхождение данных еще вполне приемлемо для применения рассматриваемой модели, а у расположенных дальше по африканскому берегу шевронов 143 и 144 уже явно заметна прогрессирующая переоценка высоты волны по линейной формуле (1). Следует отметить, что шеврон 143 находится на острове, характерный размер которого, нормальный к фронту цунами, меньше длины волны в этой зоне океана, и поэтому там должно быть заметно еще и ослабление цунами из-за дифракции, что увеличивает расхождение оценок. Без этого дополнительного эффекта увеличение разброса результатов $\varepsilon = f(L)$ по мере движения волны по Мозамбикскому проливу, по-видимому, было бы более гладкой функцией от расстояния.

Таблица 2

| Объект | Широта (°) | Долгота (°) | L (км) | h_{\max} (м) | H_1 (м) | H_2 (м) | H_3 (м) | ε (%) |
|------------|------------|-------------|--------|----------------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| Баркл | - 30.865 | 61.365 | 0 | - | - | - | - | - |
| Шеврон 157 | - 25.22 | 44.59 | 1750 | 182 | 182 | 96.8 | 96.8 | 0.1 |
| Шеврон 141 | - 24.13 | 35.48 | 2655 | 115 | 123 | 59.4 | 63.1 | 6.1 |
| Шеврон 143 | - 21.56 | 35.49 | 2885 | 100 | 111 | 52.2 | 58.6 | 11.7 |
| Шеврон 144 | - 2.30 | 40.83 | 4985 | 55 | 70.9 | 29.8 | 33.9 | 12.9 |

То, что волна, создавшая шеврон 144 двигалась примерно по указанной на рис. 5 траектории, следует из азимута оси этого шеврона. Как видно в Google/Earth, она отклонена от меридиана к западу не более чем на

10°. Почему в тех местах не найдены следы движения волны цунами от того же взрыва, обошедшей остров Мадагаскар с севера по более короткому пути, пока не ясно. Возможно, это связано с тем, что дифракция на северной оконечности острова настолько ослабила волну, двигавшуюся к кенийскому берегу со стороны открытого океана, что волна, пришедшая по Мозамбикскому проливу несколько позже, оказалась более высокой и мощной, и стерла следы первой волны. Кроме того, анализ изображений многих шевронов показывает, что подход волны цунами под острым углом к береговой линии оптимален для создания высоких шевронов, если высота местности быстро растет по мере удаления от берега (при очень быстром подъеме дна нормальная к береговой линии волна должна испытывать дополнительные потери). А именно так подходила через Мозамбикский пролив к месту расположения шеврона 144 вторая волна цунами.

Стоит также отметить, что в безграничном пространстве при снижении высоты волны на 12.5 – 15 % на заданной дистанции от точки взрыва, его энергия уменьшается на 25 – 30 %.

Итак, можно сделать вывод, что при прохождении волны цунами через морские узости она может терять достаточно заметную, но все же далеко не большую долю своей энергии. А при дальнейшем движении по каналу примерно постоянной ширины влияние этих потерь и вовсе может нивелироваться за счет прекращения рассеивания энергии по направлениям, нормальным траектории движения. В связи с этим не кажется слишком удивительным то, что волна от падения и взрыва Метеороида Потопа после прохождения по криволинейной траектории до Ура, по расчетам, имела практически ту же высоту, какая была бы у нее при движении на ту же дистанцию в безграничном океане.

VI. Расчет параметров метеороида, который мог создать кратер Баркл и шевроны его группы

Итак, теперь появилась возможность определить высоту волны цунами, возникшую при образовании кратера Баркл. Считая, что кратер образовался от удара и взрыва метеороида, определим возможные параметры этого небесного тела. Для этого, как и в других исследованиях автора подобного рода, снова применим интерактивную программу расчета падения и разрушения метеороидов [8, 13]. При ее использовании на входе необходимо задать 4 параметра, характеризующие метеороид-импактор: его диаметр D , среднюю плотность вещества импактора ρ_i , а также скорость v и угол его входа в атмосферу δ . Кроме того, следует указать толщину слоя воды S , который импактор пробивает перед ударом о дно, падая в океан. При этом на выходе имеется 2 параметра, определяющих решение задачи: диаметр кратера и высота волны цунами на каком-то известном удалении от точки падения. В силу обратной линейной зависимости высоты волны на глубине от дистанции ее пробега в безграничном океане, любое количество согласующихся между собой условий связи высоты волны, и ее дистанции пробега дадут только одно граничное условие для решения рассматриваемой задачи (в отличие от граничных условий с максимальным давлением на воздушной ударной волне – из-за нелинейности их может быть получено сколько угодно).

Поэтому для однозначного расчета не хватает еще двух каких-либо параметров, характеризующих этот процесс. Однако, для анализа возможных его характеристик можно использовать типовые значения трех возможных вариантов метеороидов, например, таких: железоникелевого ($\rho_i = 7850 \text{ кг/м}^3$), силикатного ($\rho_i = 3200 \text{ кг/м}^3$) и снежно-ледяного ядра или обломка ядра кометы ($\rho_i = 500 \text{ кг/м}^3$). Тогда остается неизвестным только один параметр – скорость, но ее можно проварьировать в разумных пределах, и посмотреть, что же получится в результате.

При решении конкретной задачи оценки характеристик небесного тела, падение которого создало (или могло создать) кратер Баркл и связанную с ним группу шевронов, имеем следующие входные и выходные данные: плотность метеороида ρ_i – назначаются 3 варианта, указанные выше, скорость падения v – варьируется, толщина пробиваемого метеороидом слоя воды равна глубине океана в месте расположения кратера Баркл – $S = 3800 \text{ м}$, диаметр образовавшегося кратера $d = 29.0 \text{ км}$, высота волны цунами на глубине на удалении 1750 км – $H_3 = 96.8 \text{ м}$ (см. таблицу 1). Плотность вещества мишени (океанского дна) – стандартная для этого алгоритма и равна 2750 кг/м^3 [13]. Цель единичного расчета – при заданном значении скорости входа метеороида в атмосферу Земли v вычислить угол входа δ , диаметр D , массу метеороида m и энергию его удара и взрыва E_e . Последний параметр определит масштаб всего катастрофического процесса, что позволит оценить его влияние на окружающую среду.

Расчеты были проведены во всем возможном диапазоне скоростей падения на Землю тел Солнечной системы – от 11 до 72.5 км/с. Сначала с постоянным шагом $\Delta v = 6.0 \text{ км/с}$ от начального значения $v = 11 \text{ км/с}$ до значения 71 км/с были проведены расчеты параметров железоникелевого импактора, способного создать такой кратер как Баркл и шевронные дюны, рассмотренные в разделе III данной работы. Затем аналогичные расчеты были выполнены для силикатного импактора. При этом выяснилось, что во всем диапазоне расчетных параметров размеры импактора столь велики, что атмосфера Земли уже не оказывает практически никакого влияния на его взаимодействие с нашей планетой. Поэтому метеороиды долетают до водной поверхности целиком, не распадаясь на куски (см. [13]), и энергия удара в пределах точности

алгоритма совпадает с кинетической энергией метеороида в непосредственной близости от Земли. Кроме того, было обнаружено, что для силикатного астероида имеется предельная скорость падения, при которой еще существует решение задачи, и эта скорость ниже максимальной скорости падения на Землю небесных тел из Солнечной системы. Поэтому расчет с постоянным шагом по скорости в этом случае мог быть доведен только до скорости входа 59 км/с.

Результаты пошаговых расчетов представлены на рис. 6, где показаны зависимости от скорости v углов входа железоникелевого импактора δ_a и силикатного – δ_c (в градусах), а также энергии их удара и взрыва E_a и E_c соответственно (в тераоннах тротилового эквивалента, $1 \text{ Тт} = 10^{12} \text{ т} = 10^6 \text{ Мт}$).

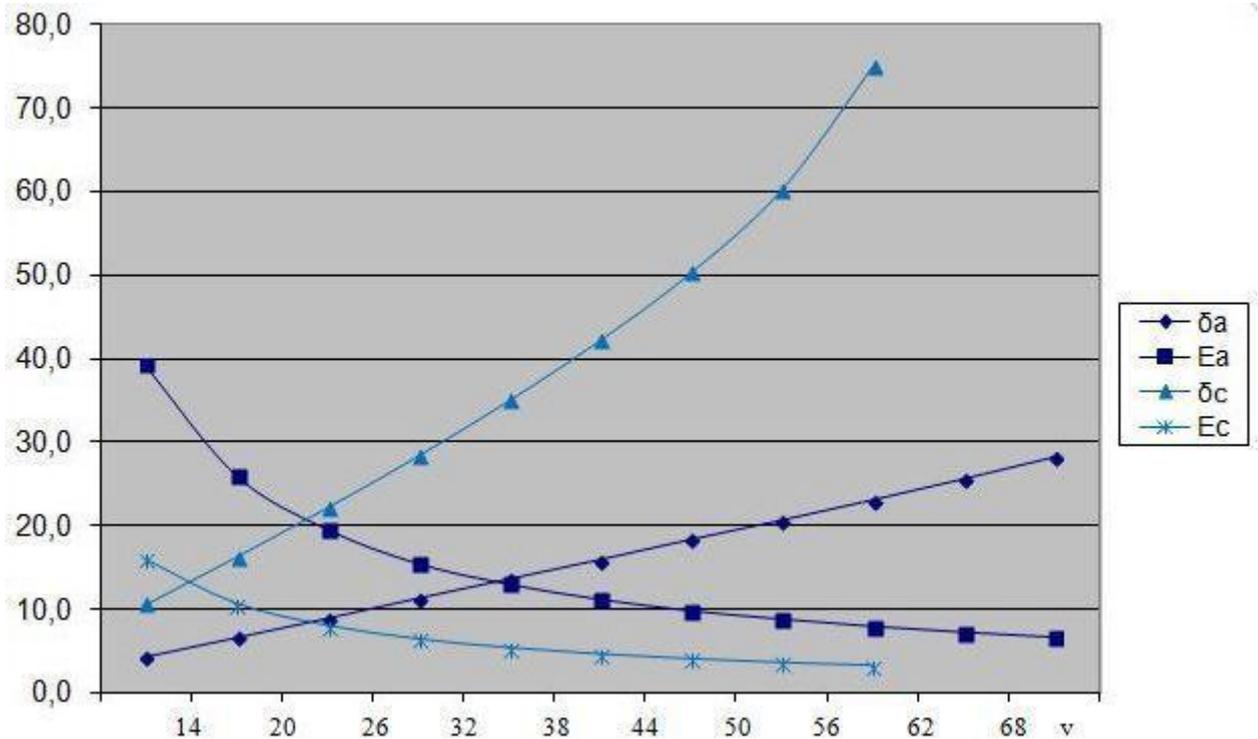


Рис. 6

При скорости входа несколько более 60 км/с угол входа δ_c силикатного метеороида достигает предельного значения 90° , и при бóльших скоростях рассматриваемая задача решения не имеет. В результате расчетов было обнаружено, что диаметры двух рассматриваемых метеороидов при одинаковой скорости практически совпадают – $D = f_1(v)$, что априорно было совершенно неочевидно. Кроме того, параметр D^{-1} оказался линеен по скорости v :

$$D = \frac{1000}{0.115 + 0.0101(v - 11.0)}, \quad (11)$$

где диаметр метеороида измеряется в м, а его скорость – в км/с. При этом среднеквадратичное отклонение результатов расчетов и данных по формуле (11) составило всего 0.21 %.

С учетом структуры формул, описывающих кратерообразование в используемой интерактивной программе [8], более предсказуемым (см. [13]) было то, что комплекс параметров $\rho_i \sin \delta$ также является функцией скорости – $\rho_i \sin \delta = f_2(v)$. При этом и функция f_2 оказалась линейна по скорости при среднеквадратичном отклонении всего 0.18 %, и, поэтому, для углов входа, удовлетворяющих решению задачи, справедлива следующая аппроксимация:

$$\delta = \arcsin \left[\frac{589 + 52(v - 11.0)}{\rho_i} \right], \quad (12)$$

где плотность импактора ρ_i измеряется в кг/м^3 .

Из формулы (12) следует существование предельной скорости объекта v_{lim} (при $\delta = 90^\circ$):

$$v_{\text{lim}} = 11.0 + \frac{\rho_i - 589}{52}, \quad (13)$$

и, чем ниже плотность, тем ниже эта скорость. По формуле (13) для железоникелевого метеороида $v_{\text{lim}} = 150.6$ км/с, для силикатного – $v_{\text{lim}} = 61.2$ км/с, а для ядра кометы плотностью 500 кг/м^3 $v_{\text{lim}} = 9.3$ км/с, что ниже минимальной скорости падения небесных тел на Землю – $v_{\text{min}} \approx 11$ км/с (вторая космическая скорость на поверхности Земли равна 11.2 км/с, но при входе метеороида с запада из номинальной скорости вычитается проекция скорости вращения Земли на траекторию полета, и в районе экватора при очень пологих входах скорость объекта может уменьшиться, примерно, на 0.4 км/с). Если плотность импактора будет равна плотности, скажем, астероида Итокава ($\rho_i \approx 1900 \text{ кг/м}^3$) [14], то $v_{\text{lim}} = 36.2$ км/с.

Таким образом, падение кометы в принципе не могло образовать кратер Баркл. Это связано с тем, что объект такой низкой плотности гораздо эффективнее создает волны цунами, чем кратер в твердой коре Земли, и баланс этих его активных воздействий на гидро- и литосферу в рамках рассматриваемой задачи не может быть достигнут ни при какой реальной скорости входа. Только при плотности $\rho_i > 589 \text{ кг/м}^3$ такой баланс может существовать.

Дальнейшие расчеты показали, что при любых значениях плотности в диапазоне

$$500 \text{ кг/м}^3 \leq \rho_i \leq 7850 \text{ кг/м}^3$$

по формулам (11), (12) получаются значения скорости v и угла входа δ , обычно отличающиеся от рассчитываемых по программе [8] не более чем на ± 5 м/с и $\pm 0.05^\circ$ соответственно. Так что вместо численных расчетов для определения параметров импактора Баркл при заданной скорости входа и при любом разумном значении его плотности достаточно использовать аппроксимационные выражения (11), (12). Массу объекта и энергию его взрыва легко определить по формулам

$$m = \frac{\pi \rho_i D^3}{6}, \quad (14)$$

$$E_e = \frac{mv^2}{2} \quad (15)$$

Для того чтобы перевести энергию удара и взрыва импактора из единиц системы СИ в мегатонны или тератонны тротилового эквивалента, достаточно получившийся результат поделить на $4.18 \cdot 10^{15}$ Дж/Мт или на $4.18 \cdot 10^{21}$ Дж/Тт соответственно.

Результаты расчетов некоторых характерных вариантов метеороида Баркл представлены в таблице 3. Первые 3 строки соответствуют предельным скоростям входа v_{lim} . Предельная скорость железоникелевого варианта метеороида МБ-1-lim намного превышает максимальную скорость падения на Землю небесных тел из Солнечной системы. Небольшое различие результатов численного расчета по сравнению с оценкой по формуле (13) вызвано тем, что атмосфера Земли на такой высокой скорости входа влияет на движение даже такого плотного метеороида не слишком большого размера, приводя его к распаду еще в воздухе, и рассеиванию около 0.01 Гт энергии (в тротиловом эквиваленте) еще до удара и взрыва. При максимальной скорости входа для объектов Солнечной системы $v_{\text{max}} = 72.5$ км/с (вариант МБ-1-max), угол входа δ меньше 29° , масса импактора возрастает на порядок, а энергия – более чем в 2 раза по сравнению с предельным по скорости вариантом. Минимальный по скорости вариант железоникелевого метеороида МБ-1-min имеет совершенно невообразимые для таких тел размеры и массу. Для лучшего понимания масштабов рассматриваемых импакторов их можно сравнить их с кометой 67P/Чурюмова-Герасименко, масса которой практически точно равна 10 Гт [15].

Таблица 3

| var | v (км/с) | δ (°) | ρ_i (кг/м ³) | D (м) | m (Гт) | E _e (Тт) |
|-----------------|----------|--------------|-------------------------------|-------|--------|---------------------|
| МБ-1-lim | 151.8 | 90.0 | 7850 | 656 | 1.16 | 3.18/3.19 |
| МБ-2-lim | 61.2 | 90.0 | 3200 | 1607 | 6.95 | 3.11 |
| МБ-3-lim | 9.3 | 90.0 | 500 | 10280 | 284 | 2.94 |
| МБ-1-min | 11.0 | 4.30 | 7850 | 8715 | 2720 | 39.3 |
| МБ-2-min | 11.0 | 10.6 | 3200 | 8715 | 1110 | 16.0 |
| МБ-1-mid | 41.0 | 15.9 | 7850 | 2390 | 56.1 | 11.3 |
| МБ-2-mid | 41.0 | 42.2 | 3200 | 2390 | 22.9 | 4.59 |
| МБ-1-max | 72.5 | 28.8 | 7850 | 1360 | 10.3 | 6.49 |

Впрочем, и вообще любой вариант железоникелевого импактора, как представляется автору этой работы, совершенно не совместим с нашими представлениями о строении Солнечной системы. Конечно, известны так называемые «металлические» астероиды спектрального класса М. Однако их средние плотности гораздо ниже использованных здесь значений для железоникелевого варианта импактора, и они довольно близки по плотности к силикатному варианту импактора, см., например, [16]. Среди известных нам настоящих чисто железоникелевых небесных объектов крупнейшим, видимо, является Аризонский метеорит диаметром около 40 м и массой около 0.3 Мт [17], что почти в 200 тысяч раз меньше, чем средний вариант импактора Баркл МБ-1-mid. Поэтому следует полагать, что железоникелевый импактор, способный создать кратер Баркл и систему его шевронов, как и кометный, в реальности существовать не может. Все это могло быть создано только углеродным, силикатным или «металлическим» астероидом со средней плотностью, примерно, от 1800 до 3500 кг/м³.

Из системы соотношений (11) – (15) нетрудно получить, что минимальная энергия удара и взрыва астероида, необходимая для создания кратера Баркл и системы его шевронов равна 2.93 Тт в тротиловом эквиваленте (при $v = 11.0$ км/с, $\delta = 90^\circ$, $\rho_i = 589$ кг/м³). Это нижний предел по энергетике для данного процесса. Отметим также, что максимальный размер кратера в воде после падения импактора во всех вариантах расчета очень близок к 50 км. Если рассматривать этот кратер в водяном массиве как полуволновой дипольный излучатель, то длину волны цунами на глубине можно оценить, как уже упоминалось выше в разделе III, в 100 км.

Размер импактора Баркл велик, и он должен быть тем больше, чем ниже скорость его входа в атмосферу Земли. Поэтому, наиболее близкие к Земле астероиды можно, по-видимому, исключить из этого рассмотрения. В таких условиях наиболее вероятным объектом может быть астероид из главного пояса или групп троянских астероидов [18], выброшенный после гравитационного воздействия Юпитера или другой планеты-гиганта на вытянутую орбиту с перигелием меньше 1 а. е. Если афелий астероида при этом сильно не изменился, то для троянцев Юпитера его наибольшая величина может быть близка к 5.5 а. е. Минимальная величина перигелия из известных нам астероидов – у Фаэтона [19], и она составляет около 0.14 а. е. При крайних значениях афелия 5.5 а. е. и перигелия 0.125 а. е, скорость входа объекта в атмосферу Земли составит около 40 км/с. Если астероид «выпал» с нижней границы основного пояса астероидов, его афелий лишь немного больше 2 а. е. Тогда при перигелии в 1.0 а. е. его скорость входа в атмосферу Земли будет равна примерно 12 км/с. Таким образом, скорости входа астероидов от 12 до 40 км/с и есть тот диапазон скоростей, который нужно рассматривать при решении данной задачи.

Вследствие пористости материала средняя плотность достаточно крупных астероидов заметно ниже, чем плотность мелких кусков, в принципе, аналогичного материала. Поэтому для силикатных астероидов характерная плотность, скорее, ближе к 2000 кг/м³, а для «металлических» – к 3000 – 4000 кг/м³. Поэтому рассмотрим теперь в диапазоне скоростей входа 12 – 40 км/с импакторы плотностью 3500 и 1800 кг/м³. Их характеристики представлены в таблице 4. Для объекта с меньшей плотностью критическая скорость входа составляет 34.3 км/с, поэтому эта величина и является для него максимально возможной. По данным статьи [13], число объектов более крупных, чем таких как варианты МБ-4-1 и МБ-5-1 в 10 – 15 раз меньше, чем число объектов крупнее МБ-4-3 и МБ-5-3. Так что варианты импактора Баркл со скоростями около 12 км/с и несколько выше, весьма маловероятны. Между прочим, вариант МБ-5-1 по массе – это почти 50 комет 67Р/Чурюмова-Герасименко вместе взятых, а МБ-4-1 и вовсе почти 100.

Таблица 4

| var | v (км/с) | δ (°) | ρ_i (кг/м ³) | D (м) | m (Гт) | E _e (Тт) |
|---------------|----------|--------------|-------------------------------|-------|--------|---------------------|
| МБ-4-1 | 12.0 | 10.55 | 3500 | 7995 | 936 | 16.1 |
| МБ-4-2 | 20.0 | 17.6 | 3500 | 4855 | 210 | 10.1 |
| МБ-4-3 | 40.0 | 36.8 | 3500 | 2450 | 27.0 | 5.17 |
| МБ-5-1 | 12.0 | 20.85 | 1800 | 7995 | 481 | 8.29 |
| МБ-5-2 | 16.0 | 28.15 | 1800 | 6040 | 208 | 6.37 |
| МБ-5-3 | 34.3 | 90.0 | 1800 | 2855 | 21.9 | 3.09 |
| МБ-Ф | 35.7 | 69.5 | 2000 | 2745 | 21.6 | 3.30 |

Значительно более вероятны импакторы со скоростями входа в атмосферу Земли из диапазона, границы которого определяются вариантами МБ-4-2, МБ-5-2 и МБ-4-3, МБ-5-3. И после того, как этот вывод был сделан, у автора возникла мысль более внимательно присмотреться к астероиду Фаэтон, с его весьма вытянутой орбитой. При такой орбите, несмотря на не очень высокий афелий – 2.4 а. е., скорость его входа – 35.7 км/с оказывается довольно близкой к предельной скорости, соответствующей его средней плотности 2000 кг/м³. Поэтому объект такого типа оказывается довольно близок к импактору с минимальной энергией

процесса. Его параметры приведены в последней строке таблицы 4 под названием МБ-Ф. Энергия взрыва этого варианта импактора всего на 12 % выше абсолютного минимума, и, как ни удивительно, такой астероид, только в 6 раз бóльший по массе, не только существует в реальности, но и периодически довольно близко подходит к Земле [19]. Чем меньше объекты по размеру, тем чаще они встречаются в Солнечной системе, и, поэтому, некий мини-Фаэтон массой в 2 кометы 667P/Чурюмова-Герасименко, по какой-то причине «выпавший» из основного пояса астероидов, представляется наиболее вероятным вариантом импактора, создавшего кратер Баркл и систему его шевронов. Исследование строения кратера Баркл может позволить оценить угол входа импактора, и после этого практически однозначно установить энергию его взрыва и характеристики его траектории.

VII. Обсуждение результатов

Итак, результаты данной работы дают возможность перейти от чисто эмпирического материала – максимальной высоты различных шевронных дюн к оценке характеристик импактора, вызвавшего волну, которая и образовала эти дюны. После анализа шевронов группы кратера Баркл начали вырисовываться контуры того небесного тела, которое создало этот кратер. Уточнить их возможно, более тщательно исследовав кратер Баркл.

И тут же стало ясно, что размышления спекулятивного характера не только о количественных, но даже и о качественных характеристиках небесного тела, его создавшего, если и отличаются от древних мифов, то, пожалуй, еще меньшим соответствием реальности. Предполагалось, например, что кратер Баркл был создан в мае-июне 2807 года до н. э. кометой, в результате падения которой произошел «сильнейший взрыв (с тротиловым эквивалентом 100 – 200 гигатонн)» [20]. Однако не умозрительные размышления представителей Института вычислительной математики, а, именно, вычисления, позволяют теперь утверждать, что никакая комета в принципе не могла одновременно создать кратер Баркл и систему его шевронов. При этом энергия такого процесса оказалась, минимум, в полтора десятка раз больше, чем это представлялось ранее. Ну, и, конечно, это грандиозное событие, не менее чем на 3 порядка более крупное, чем взрыв вулкана Тамбора [21], не могло произойти в 2807 году до н. э., так как дендрохронологические данные никак не выделяют этот год и его ближайшие окрестности. Тогда «с точки зрения деревьев» никакой, даже самой маленькой катастрофы, так живо и красочно описанной в работе [20], не произошло, в отличие, например, от 3201 года до н. э.

Напротив, в соответствии со всем комплексом собранных и полученных данных, Месопотамское наводнение, или, иными словами, Библейский «Всемирный» потоп, то есть затопление волной цунами низменности, на которой зародилась земная цивилизация, произошло в результате падения обломка кометы значительно более скромных размеров в северную часть Аравийского моря [10]. И два шеврона, в том числе неизвестный ранее, а также осадочные отложения на дне бухты Чах Бахар, возраст которых был определен, примерно, в 5.3 тысячи лет [22], а не только отложения в Нижней Месопотамии, стали материальными свидетельствами столь знаменитой катастрофы. Более детально с ней можно познакомиться в работе [11]. А энергия, выделившаяся при падении астероида, создавшего кратер Баркл, слишком велика, чтобы это событие можно было бы связывать со «Всемирным» потопом.

Выводы

1. Предлагаемый расчетный метод позволяет по высоте шевронной дюны определить высоту волны цунами, ее создавшую.
2. Информация о высоте волны дает, при наличии другой информации, возможность оценить основные параметры импактора, падение которого вызвало волну.
3. Взаимосогласование не только азимутов, но и высот шевронов, удостоверяет то, что они имеют волновое, а не эоловое (ветровое), происхождение из единого центра.
4. Значительное количество (более 200) высоких шевронных дюн на Земле, часто связанных в определенные группы с импактными кратерами, является подтверждением того, что на нашей планете в голоцене иногда происходили значительные катастрофы, вызванные падением в Мировой океан крупных небесных тел.
5. Известный ранее шеврон, расположенный на побережье Аравийского моря в индийском штате Гуджарат, а также вновь найденный шеврон на Макранском побережье Ирана вместе с осадочными отложениями в Нижней Месопотамии и в иранской бухте Чах Бахар образуют группу геологических структур, связанную с падением в северную часть Аравийского моря метеороида – причины Месопотамского наводнения (Библейского «Всемирного» потопы).
6. Небесное тело, падение которого в Индийский океан привело к возникновению подводного кратера Баркл и его системы шевронов могло быть только астероидом, размеры которого с наибольшей вероятностью, составляют 2.7 – 5 км, а энергия взрыва превышает 3 Тт в тротиловом эквиваленте.

7. Эта энергия почти на 3 порядка больше энергии взрыва вулкана Тамбора в 1815 году, вызвавшего на всей Земле «год без лета», поэтому последствия того падения астероида должны были привести к сильным климатическим изменениям, по-видимому, как минимум, не меньшим, чем при начале Позднего дриаса (около 12700 лет назад). Поэтому нет никаких оснований приурочивать падение астероида Баркл к более поздним датам.

Литература

1. A. Scheffers et al. – Chevrons-enigmatic sedimentary coastal features. *Zeitschrift für Geomorphologie*, **52**, no. 3, 2008 // http://www.academia.edu/8447064/Chevrons-enigmatic_sedimentary_coastal_features
2. C. Gramling – Giant dunes, not mega-tsunami deposits? *EARTH Magazine, The Science Behind the Headlines*, 2009 // <http://www.earthmagazine.org/article/giant-dunes-not-mega-tsunami-deposits>
3. Palouse. *Wikipedia* // <http://en.wikipedia.org/wiki/Palouse>
4. R. Carlson – Responses to comments made about Joe Rogan Podcast – An open letter to a critic on the matter of chevrons, megatsunamis and bolide impact. *Sacred Geometry International*, June 6, 2014 // <http://sacredgeometryinternational.com/randall-carlson-joe-rogan-wax-philosphic-atlantis-cosmic-destiny-mankind-cycles-catastrophe>
5. W. Bruce Masse et al. – Missing in Action? Evaluating the putative Absence of Impacts by large Asteroids and Comets during Quaternary Period. *Holocene Impact Working Group*, 2006 // http://www.academia.edu/4918130/Missing_in_Action_Evaluating_the_Putative_Absence_of_Impacts_by_Large_Asteroids_and_Comets_during_the_Quaternary_Period
6. D. Abbott et al. – Burckle abyssal impact crater: Did this impact produce a global deluge? *Proceedings of the International Conference «The Atlantis Hypothesis: Searching for a Lost Land»*, 11 – 13 July 2005.
7. Б. Б. Кадомцев, В. И. Рыдник – Волны вокруг нас. Москва, «Знание», 1981.
8. R. Marcus, H. J. Melosh, G. Collins – Earth Impact Effects Program. *Imperial College (London), Purdue University* // http://impact.ese.ic.ac.uk/cgi-bin/crater.cgi?dist=20&diam=17&pdens=1000&pdens_select=0&vel=18&theta=30&tdens=&tdens_select=3000
9. И. Н. Днестрянский, Ю. И. Лобановский – Наводнение в Крымске: причины и механизмы затопления города. *Synerjetics Group*, 07.08.2012 – 03.02.2013 // <http://synerjetics.ru/article/machinery.htm>
10. Л. Вулли – Ур халдеев. Москва, Издательство восточной литературы, 1961 // http://historylib.org/historybooks/Leonard-Vulli_Ur-KHaldeev/3
11. Ю. И. Лобановский – Кометно-метеоритная угроза: исторический аспект. *Synerjetics Group*, 30.09.2013 – 10.05.2014 // <http://www.synerjetics.ru/article/history.htm>
12. Аравийское море – Цифры и факты. *База знаний* // http://proznania.ru/?page_id=2376
13. G. S. Collins, H. J. Melosh, R. A. Marcus – Earth Impact Effects Program: A Web-based computer program for calculating the regional environmental consequences of a meteoroid impact on Earth. *Meteoritics & Planetary Science*, **40**, no 6, 2005 // <http://impact.ese.ic.ac.uk/ImpactEffects/effects.pdf>
14. (25143) Itokawa. *Wikipedia* // http://en.wikipedia.org/wiki/25143_Itokawa
15. H. Sierks et al. – On the nucleus structure and activity of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko. *Science*, **347**, no 6220, 23.01.2015 // <http://www.sciencemag.org/content/347/6220/aaa1044.full>
16. (22) Kalliope. *Wikipedia* // http://en.wikipedia.org/wiki/22_Kalliope
17. Ю. И. Лобановский – Два семейства обломков одной кометы и их родители. *Synerjetics Group*, 24.04.2013 // <http://www.synerjetics.ru/article/families.htm>
18. Trojan (astronomy). *Wikipedia* // http://en.wikipedia.org/wiki/Trojan_%28astronomy%29
19. (3200) Фазтон. *Wikipedia* // [https://ru.wikipedia.org/wiki/\(3200\)_Фазтон](https://ru.wikipedia.org/wiki/(3200)_Фазтон)
20. А. С. Алексеев, В. К. Гусяков – О возможности космогенных цунами в Мировом океане. «*Большая медведица*», *Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск*, 2011 // http://ice.tsu.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=376:2011-06-17-05-30-32&catid=71:2011-06-14-11-56-27&Itemid=122
21. Ю. И. Лобановский – Акустические способы оценки энергии мощных взрывов. *Synerjetics Group*, 20.07.2013 – 10.02.2014 // <http://synerjetics.ru/article/acoustics.htm>
22. W. D. Page et al. – Evidence for the Recurrence of Large-Magnitude Earthquakes along the Makran Coast of Iran and Pakistan. *Tectonophysics*, **52**, Issues 1 – 4, 1979 // http://www.researchgate.net/publication/223431810_Evidence_for_the_recurrence_of_large-magnitude_earthquakes_along_the_Makran_coast_of_Iran_and_Pakistan

Автор благодарит Ч. Дылыкова, от которого он узнал о существовании шевронных дюн.

Москва,
15.02.2015

Ю. И. Лобановский