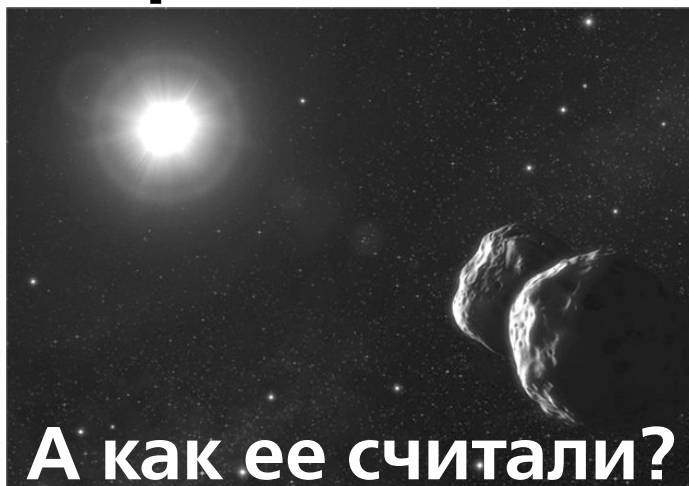


*Иосиф Гольдфаин*

# Вероятность?



## А как ее считали?

В последние годы много говорят и пишут о метеоритной опасности, угрожающей Земле. Кое-кто даже предлагает бороться с ней с помощью ядерного оружия. Но прежде чем приступать к борьбе с какой-либо опасностью, надо оценить ее реальность. И здесь возникает проблема из-за того, что большие метеориты падают на Землю чрезвычайно редко. Поэтому мало-мальски точно оценить вероятность падения такого метеорита невозможно. Собственно говоря, на исторической памяти человечества произошел только один такой случай — Тунгусский метеорит. К счастью, он упал в безлюдной тайге, так что человеческих жертв и экономического ущерба не было. Но этот феномен часто рассматривают как предупреждение об опасности, грозящей всему человечеству.

«Задержишься на орбите эта космическая бомба на 4,5 часа, и... не стало бы Санкт-Петербурга», — пишет журнал «Земля и Вселенная» (2008, №4, с. 81). Естественный вопрос: а почему через 4,5 часа метеорит упал бы именно на Санкт-Петербург, а не на какое-то

другое место? Журнал «Земля и Вселенная» этого не разъясняет, по-видимому, считая это общеизвестным. Ответ мы находим в другом журнале: «Подлети камень к Земле минут на пятнадцать пораньше, и его частицы искали бы не в тайге, а на безлюдных развалинах Санкт-Петербурга, который находится практически на той же широте, что и Тунгуска» («Русский Newsweek», 21 — 27 июля 2008, №30 (203)). Здесь четверть часа попало по ошибке — перепутали четверть часа с четырьмя часами, обычно называемым числом. Но дело не в этом. В таких рассуждениях молчаливо предполагается, а иногда и утверждается «открытым текстом», как в «Русский Newsweek», что если метеорит прилетел бы позже, то он упал бы на той же широте. Причем предположение очень распространенное. Отметим, что мы указали лишь две статьи в не столь давно вышедших серьезных журналах, но подобные высказывания можно найти во множестве статей и книг. И поскольку это предположение (о той же широте места падения) нигде не обсуждается, то, следо-

вательно, авторам этих трудов оно кажется вполне естественным. Но почему? На чем основывается это предположение?

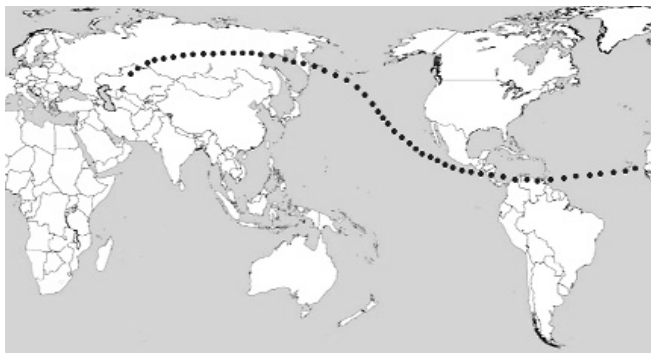
Трудно усомниться в том, что ответ на этот вопрос должны дать психологи. Действительно, в рассуждениях человек склонен, изменив какой-то параметр, полагать, что прочие параметры не меняются, и сравнивать варианты «при прочих равных условиях». Это естественно. Но как быть с траекторией метеорита? Что в ней считали постоянным авторы многочисленных работ, где было отмечено, что Тунгусский метеорит упал на широте Петербурга? Если предположить, что метеорит мог двигаться по той же орбите, но «на четыре с половиной часа позже», то он вообще не столкнулся бы с Землей, движущейся вокруг Солнца со скоростью более 29 километров в секунду. Так что интересно узнать, какие параметры должны были, по мнению авторов многочисленных статей и книг, оставаться неизменными, чтобы метеорит, упав на Землю через четыре часа, оказался бы на той же широте. Мне лично далеко не сразу стало понятно, что это произошло бы, если бы траектория движения метеорита осталась неизменной в геоцентрической системе координат. Но вряд ли это имели в виду авторы множества работ, где упоминалось об опасности, угрожавшей тогда Петербургу.

О такой подсознательной склонности человека считать неизвестные параметры постоянными и/или одинаковыми полезно вспоминать, когда обсуждаются вопросы, связанные с какой-то потенциальной опасностью. С теми же метеоритами, в частности. Действительно, в дискуссиях о метеоритной опасности много говорится о вероятности падения на Землю метеоритов того или иного размера. И здесь уместно поставить вопрос: а что это такое — «вероятность»? На первый взгляд, этот вопрос вызывает недоумение. Вроде бы всем известно, что есть такая математическая наука — теория вероятностей. И что математики написали много формул, по которым

эти вероятности вычисляются. И есть множество книг, где эти формулы приводятся.

Но если обратиться к учебникам теории вероятностей, то там можно найти нечто необычное и даже обескураживающее. Например, такое: «Методы теории вероятностей по природе приспособлены только для исследования массовых случайных явлений». Это заслуженно популярный, выдержавший множество изданий учебник (Е.С. Вентцель. Теория вероятностей. — Изд. 3-е. — М.: «Наука», 1964. — с. 16.). То же самое можно найти и во множестве других учебников. Однако это существенное замечание содержится в первой, вводной главе, а на введении, предисловии и тому подобные предварительные материалы общего характера, к сожалению, лишь немногие обращают внимание. Но так или иначе вопрос поставлен: что означает вероятность падения гигантского метеорита, если массового падения таких метеоритов никто не наблюдал?

Конечно, все не так безнадежно. Небольшие метеориты падают часто, их падение можно считать массовым явлением, и соответствующие вероятности вычисляются без каких-либо теоретических трудностей. Я не знаю, как были рассчитаны вероятности падения гигантских метеоритов, но, скорее всего, дело обстояло так: вычисляли вероятности падения метеорита с небольшими массами. Эти вероятности можно вычислить на основании наблюдений за фактически упавшими метеоритами. Далее на основании этих вычислений делается вывод о зависимости вероятности падения метеорита от его массы. И уже на основании таких предположений вычисляются вероятности падений метеоритов-гигантов. Слабость подобного подхода очевидна — такие вычисления можно выполнять, только сделав какие-то предположения о характере связи между частотой падения метеоритов и их размерами. А эти предположения неизбежно должны иметь умозрительный характер. И пока нам эти предположения не извест-



Возможные  
места падения  
Апофиса

ны, мы не можем понять, насколько серьезной можно считать информацию о метеоритной опасности. Возможно, что эти вычисления столь же обоснованны, как и мнение, которое, впрочем, многим кажется вполне естественным, — что в 1908 году Тунгусский метеорит угрожал Петербургу больше, чем лежащей на другой широте Одессе.

А теперь обратимся к Апофису — астероиду, который в 2036 году может появиться в опасной близости от Земли. О нем пишут в последнее время очень много. Постоянно уточняется сакраментальное число — вероятность падения Апофиса на Землю. И здесь уместно задать вопрос: о какой вероятности идет речь? Действительно, нас интересует уникальное явление — сближение с Землей одного-единственного вполне конкретного астероида. Причем речь идет не о сближении этого астероида с Землей вообще, а об одном конкретном сближении, которое произойдет в 2036 году. Но Е.С. Вентцель и другие авторы учебников нас предупреждали, что аппарат теории вероятностей не приспособлен для изучения подобных явлений. А нам говорят о вероятности. Так что надо отдавать себе отчет в том, что здесь речь идет о необычной вероятности. Вернее, не о той вероятности, о которой пишут в учебниках. Причем в общедоступной литературе не уточняется, о какой именно вероятности идет речь. Но, не зная, как ее фактически считали и, самое главное, какие явные или неявные предположения были приняты при проведении этих подсчетов, мы не можем адекватно относиться к ин-

формации о вероятности столкновения Апофиса с Землей.

Однако в 2013 году этот астероид уже пройдет недалеко от Земли. И тогда можно будет более точно измерить параметры его орбиты. Так что об опасности, которую представляет для Земли Апофис, мы будем значительно более обоснованно говорить после 2013 года. Но к 2013 году надо основательно подготовиться. А для этого в первую очередь следует научиться максимально точно определять параметры орбиты. И такая работа ведется. Главное — входят в строй новые телескопы, позволяющие точнее определять траектории астероидов. Более того, планируется послать в 2013 году в сторону Апофиса специальный зонд, который мог бы служить своеобразным радиомаяком для более точного определения его орбиты. Возможно, кто-то работает и над математической стороной вопроса.

Вообще говоря, математическая обработка результатов наблюдений — наука старая и разработанная. Однако приближение Апофиса заставляет задуматься: нельзя ли уточнить какие-то формулы? Но такая работа незаметна, не требует больших денежных средств и поэтому не привлекает к себе внимания СМИ и политиков. Наверное, было бы полезно объявить конкурс на наиболее точное определение положения Апофиса. Ведь устраивали же чемпионаты мира по шахматам среди компьютеров. Пусть все желающие заранее укажут положение Апофиса на небосводе в какую-то определенную ночь 2013 года. И тем, чье предсказание окажется максимально

точным, — премия, внимание СМИ и репутация выдающихся вычислителей. А еще лучше провести такой конкурс до 2013 года с каким-либо другим астероидом. И если результаты будут сильно неточными, то успеть внести поправки в расчеты.

Многие забывают, что в последние годы ведется большая работа по идентификации потенциально опасных космических объектов. Есть все основания считать, что в ближайшие годы нам станут известны параметры орбит если не всех, то подавляющего большинства крупных астероидов, чьи орбиты пересекают орбиту Земли. А именно такие астероиды представляют непосредственную опасность. Пока, кроме Апофиса, не было обнаружено ни одного, способного в XXI веке опасно приблизиться к Земле. Скоро эта работа будет в основном закончена, и тогда надо будет разбираться или только с Апофисом, или в крайнем случае с двумя-тремя подобными объектами.

Существует еще одна опасность — космические объекты, которые не поддаются такой идентификации и могут столкнуться с Землей. Особый интерес среди них должны вызывать кометы, поскольку по ряду причин такое столкновение было бы опасней, чем столкновение с астероидом. Но вероятность такого столкновения должна быть мала даже по сравнению с астероидами. В частности, потому, что в то время как плоскости движения астероидов мало отличаются от земной, плоскости движения комет пересекаются с земной под произвольными углами. Поэтому для столкновения с Землей астероида необходимо совпадение двух координат, а кометы — трех. Но с накоплением наших знаний о кометах это утверждение, возможно, получит какие-то уточнения.

Но вернемся к Апофису. Здесь было бы полезно попытаться также определить вероятности разных исходов его столкновения с Землей. Например, какова вероятность, что он попадет в Луну, которая сыграет роль своеобразного щита? Но зная, даже неточ-

но, время возможного столкновения Апофиса с Землей, можно вычислить, сможет ли тогда Луна оказаться на пути опасного астероида. И только убедившись, что это возможно, есть смысл анализировать вероятность такого столкновения и его возможные последствия.

Другой интересный вопрос: что произойдет, если Апофис попадет в Северный Ледовитый океан? Возможно, что там появится гигантская полынья, которая будет отражать солнечный свет значительно слабее, чем снег и лед. И это может повлиять на климат. Хотя если это произойдет зимой, то полынья, наверное, быстро затянется. Более сложный вопрос — оценить возможный размер такой полыньи. Но прежде чем размышлять над этим действительно интересным вопросом, также надо узнать время возможного столкновения и как следствие будет ли тогда в Северном полушарии зима или лето. Как мы видим, при столкновении Земли с астероидом могут быть эффекты, зависящие от времени столкновения. И про часть из них специалисты заранее могут сказать, что при столкновении с Апофисом они не произойдут.

А если астероид упадет в океан, то, скорее всего, возникнет цунами. Но с удалением от места удара волна будет затихать. И в таком случае желательно выяснить, какова вероятность падения Апофиса в такие места Мирового океана, где это падение не приведет к цунами, опасным для густонаселенных прибрежных местностей. Но для этого надо знать высоту волны сразу после его падения. А этот вопрос еще не разработан. Кстати, что произойдет, если астероид упадет на мелководье? Ведь в таком случае только часть энергии удара перейдет в энергию волн. А если Апофис упадет на Балтику, пострадает ли Петербург?! Ослабит ли эту волну дамба, построенная для защиты города от наводнений? Что произойдет, если астероид упадет на Гренландию или на Антарктиду? Если такое падение произойдет у побережья, то, возможно, в море окажется много айсбергов. И тогда возникает

вопрос: не будет ли это способствовать повышению уровня Мирового океана? Но если астероид упадет на Гренландию или Антарктиду вдали от берега, то что произойдет тогда?

Все это частности. Но так или иначе ущерб от падения астероида на Землю зависит от места его падения. И возникает желание оценить вероятность более или менее благоприятного исхода. Но подобные вероятности также нельзя считать, не используя те или иные умозрительные предположения. Так, например, известно, что океаны и моря покрывают около 70% поверхности Земли. Так что естественно считать, что столкнувшийся с Землей астероид с большой вероятностью упадет в море. Если полагать, как часто делают, что он с равной вероятностью может упасть в любую точку земной поверхности, то вывод очевиден: он упадет в море с вероятностью 70%. Но только по мере уточнения траектории приближающегося астероида вычисление подобных вероятностей станет все более и более информативным.

Поскольку вероятность столкновения Земли с каким бы то ни было небесным телом очень мала, то тратить значительные средства на попытки каким-то образом изменить траекторию потенциально опасного небесного тела представляется пока нерациональным. Есть много других способов с помощью меньших затрат на одного потенциально спасенного уменьшить число человеческих жертв — уменьшение авто- и авиакатастроф и так далее. Впрочем, так мы можем рассуждать до 2013 года. Поскольку нельзя исключить, что тогда выяснится, что Апофис представляет собой реальную опасность. Но в любом случае, узнав за несколько дней место падения астероида, можно будет к нему подготовиться — эвакуировать население, прекратить подачу газа, в последний момент отключить электричество и тому подобное.

Отдельный и очень серьезный вопрос — возможные глобальные последствия столкновения Земли с астероидом. Под этим понимаются в ос-

новном изменения климата, которые будут иметь трагические последствия для всех жителей Земли. Иногда говорят более конкретно — о «ядерной зиме». В свое время много рассуждали о том, что после ядерной войны в атмосфере возникнет слой пыли, дыма и пепла, который не будет пропускать солнечные лучи и будет рассеиваться очень медленно. В результате — гибель растительности и как следствие гибель всех высших форм жизни, кроме, быть может, глубоководных рыб. Даже небольшая вероятность подобного исхода представляется неприемлемой. Поэтому вопрос о последствиях столкновения Земли с астероидом должен вызывать озабоченность независимо от точности измерений параметров орбиты Апофиса в 2013 году.

Но что конкретного мы можем сказать о такой опасности, кроме чисто умозрительных соображений? Допустим, гипотеза о «ядерной зиме» представляется мало правдоподобной. Действительно, в случае атомной войны был бы не один, пусть и гигантский, источник пыли, а много (по числу ядерных взрывов), к тому же сильно рассредоточенных. Кроме того, при ядерном взрыве возникает сильное световое излучение, которое вызывает пожары и как следствие большое число пожаров, много дыма. Этого при падении астероида быть не должно. Но, с другой стороны, что будет, если гигантский астероид упадет в Сахаре? Не возникнет ли при этом такое большое песчаное облако, что оно повлияет на климат?

Здесь надо вспомнить о тех, кто следит за астероидами и вычисляет их орбиты. Возможно, что со временем можно будет точно предсказывать места падения небольших астероидов и организовывать там наблюдение. Может быть, наблюдая за облаком пыли в случае падения небольшого астероида в Сахаре или за высотой волны в случае падения такого астероида в море, можно будет сделать более обоснованные выводы о последствиях падения большого астероида в пустыне или в море. Хотя разница между эффектами от падения таких астероидов и Апофи-

са (диаметр 320 метров) может быть весьма значительной. Напомним, что объем тела, а следовательно, и его масса пропорциональны кубу его линейных размеров. (Отметим, что это тривиальное рассуждение верно для тел с одинаковой плотностью, так что они сравниваются «при прочих равных условиях», о чем шла речь в начале этих заметок. Но в данном случае это вроде бы естественно.) Кстати, читая про пугающие последствия в случае падения астероида диаметром 1 — 1,5 километра, также не следует забывать, что у Апофиса масса в десятки раз меньше. Тем не менее наблюдения за падением астероидов диаметром в десятки метров поможет реально оценить астероидную опасность.

В 2013 году у нас будет возможность более реально оценить опасность, связанную с Апофисом. Но уже можно подводить некоторые итоги. Главный из них — информация об Апофисе попадала в СМИ в таком виде, что общественности, а возможно, и политикам трудно было судить о том, насколько реальной была эта опасность. И хотя довольно часто называли даже вероятность столкновения Земли с этим астероидом, трудно было понять, как эту вероятность считали и что эти числа означали. Здесь есть, над чем задуматься. Поскольку, помимо астероидов, жителей планеты Земля угрожает множество потенциальных опасностей, имеющих глобальный характер, но вероятность реализации которых очень мала. При этом в случае необходимости значительных материальных затрат для предупреждения подобных опасностей окончательное решение должно принимать не ученые, а политики. Возникает вопрос, как ученые должны рассказывать политикам о маловероятных, но возможных опасностях? Действительно, в таких случаях трудно обойтись без языка теории вероятностей. Но при этом не следует забывать, что в таких случаях часто речь идет не о той вероятности, которую изучают в институтах.

И здесь пример тревоги, связанной с Апофисом, может быть весьма по-

учительным. Поскольку довольно быстро стали делать то, что нужно было сделать, — стали уточнять информацию. В частности, с помощью совершенных телескопов стали более точно определять траектории пролетающих мимо Земли космических объектов. Вполне возможно, что это поможет в 2013 году окончательно прояснить вопрос со злокозненным астероидом. Но если даже тогда станет ясно, что Апофис Земле не угрожает, накопленные знания не окажутся бесполезными. Поскольку вполне возможно, что через какое-то время Земле опять будет угрожать столкновением какой-то незванный гость из космоса. В то же время проведенные мероприятия не потребовали особо больших затрат.

Но в любом случае, когда речь идет о малых вероятностях, надо быть осторожным. Если для часто происходящих событий (например, падение небольших метеоритов) можно «набрать статистику» и определить искомую вероятность, то маловероятные события вычислять разного рода косвенными методами. Поэтому, встретив информацию о том, что вероятность какого-то опасного события равна 0,0001% или 0,00001%, полезно задуматься, как эти числа были получены. И скорее всего, об этих вероятностях мы не узнаем ничего определенного, кроме того, что они очень малы. Но как вычислить вероятность крупномасштабной катастрофы на атомной электростанции (АЭС)?! Их в мире не так уж и много. И невозможно поверить, что когда-нибудь на какой бы то ни было АЭС возникнет ситуация, похожая на черную дыру. То есть это не массовое явление, для которого мы имеем аппарат теории вероятностей. А ведь страх перед такой катастрофой препятствует строительству АЭС.

Понятно, что когда речь идет о возможности глобальной катастрофы, то и очень малыми вероятностями пренебрегать не следует. Но, как и в случае с Апофисом, начинать надо с их уточнения. И выяснять, при каких явлениях и/или неясных предположениях они считались.