

# Месторождения с небес

Одна из загадок Земли — образование месторождений тяжелых металлов. Вещество молодой планеты расплавлено, и в нем происходит стратификация — тяжелые элементы собираются в центре, а легкие всплывают наверх. Поэтому, скажем, месторождений железа, меди, никеля вблизи поверхности планеты ожидать вроде бы не следует: все исходное железо, медь, никель, уран и многие другие должны лежать в ядре в виде чистых элементов или в нижних слоях мантии, если речь идет о соединениях — оксидах, сульфидах и так далее, а выше расположены оксиды более легких элементов вроде кремния, алюминия, кальция. Однако месторождения тяжелых металлов вблизи поверхности есть, более того, они хаотично размещены внутри осадочной породы. Геологическая теория констатирует факт расположения скоплений тяжелых металлов на поверхности, прогнозирует, где следует их искать, а причину появления приписывает флюидно-интрузивным процессам выноса рудных тел из магматического очага в осадочный чехол.

Другая загадка — с осадочными породами: энергии, поступающей на Землю, не хватит, чтобы создать их за счет выветривания. Посчитаем. Мощность осадочных пород достигает 5 км, а в среднем — 2,2 км; суммарный объем — 1,125 млрд. км<sup>3</sup>. Их образуют песок, глина и известняк. Песок — на 90% состоит из частиц SiO<sub>2</sub> размером 0,1—1 мм, иногда в их составе есть другие оксиды и вещества, которые придают песку красный, черный, белый или желтый цвет. Более сложен состав глины; ее образуют частицы кварца SiO<sub>2</sub> (30—70%) и корунда Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (10—40%) размером не более 0,01 мм, а также вода (5—10%), которая придает ей пластичность. Известняк — это осадочная порода, состоящая из частиц кальцита CaCO<sub>3</sub>.

Геологическая наука утверждает, что песок и глина образовались в результате длительного процесса разрушения коренных магматических пород, в основном гранита. Попробуем оценить энергетические затраты, требуемые для размельчения такой огромной массы гранита, которая необходима для получения 900 млн. км<sup>3</sup> (или 9·10<sup>23</sup> см<sup>3</sup>) песка и глины. Для простоты будем считать, что из одного объема гранита образуется два объема песка и глины. Из ГОСТа испытаний камней на истирание и результатов таких испытаний,



Так могут сталкиваться кометы в системе Бета Живописца

которые приводят компании, торгующие мраморными и гранитными плитами для строительства, нетрудно получить, что на истирание 1 см<sup>3</sup> камня тратится 224 кДж. Значит, на истирание всех 4,5·10<sup>23</sup> см<sup>3</sup> песка и глины из гранита нужно затратить 1·10<sup>26</sup> кДж. Причем это эффективным металлическим инструментом.

Чтобы более полно оценить возможности природы по переработке гранита, посмотрим, какими энергетическими мощностями располагает наша Земля. Известно, что энергия, поступающая на поверхность Земли, на 99,98% определяется излучением Солнца. Мощность солнечного излучения, достигающего Земли, составляет 1,27·10<sup>17</sup> Дж/с. Если всю эту мощность можно было бы потратить на размалывание 4,5·10<sup>23</sup> см<sup>3</sup> гранита в песок и глину, природе потребовалось бы 25 тысяч лет. Однако природа не могла потратить на это всю получаемую от Солнца энергию, поскольку она тратится в основном на поддержание постоянной температуры планеты и испарение воды. На такие мощные проявления стихий, как ветер, волны, течения (а они играют важную роль в выветривании, завершая разрушение породы и разнос ее осколков), идет по разным оценкам 1—0,1% падающей на Землю солнечной энергии. Вряд ли на само измельчение пород — согласно основному механизму это нагрев, резкое охлаждение и замерзание в получившихся микротрещинах воды, что вызывает откалывание частиц, — тратится больше. Тогда срок размола возрастает стократно, до 2,5 миллионов лет, или 7,9·10<sup>13</sup> с.

Но дело в том, что природа не тратит энергию на разрушение камней круглыми сутками, а обходится краткими отрезками времени. Если летом в самую большую жару солнце нагревает поверхность гранита до температуры около 100°C, разрушения не происходит, как бы долго не прогревался гранит. Оно случится, когда на горячую поверхность упадет холодная капля воды: поверхность интенсивно охладится и в первую же секунду покроется от термоудара сеткой микротрещин. Следовательно, на все разрушение после предварительного нагрева тратится не более секунды в каждый ливень. Если считать, что они случаются каждый день, получается, что работой по разрушению природа занята 365 секунд в год. (Несколько ливней в день ничего не меняют, поскольку поверхность камня в интервале между ними не успевает нагреваться.) И тогда размол занимает уже 220 миллиардов лет, чего быть не может.

Таким образом, утверждение о том, что песок и глина осадочного чехла нашей планеты образовались в результате длительного процесса разрушения гранита, верно только отчасти, не более чем на несколько процентов. Как же образовались в осадочном чехле остальные песок и глина? Скажем прямо: их могли принести кометы. Именно они содержат смерзшуюся первичную космическую пыль, главным образом частицы диоксида кремния. Кроме них, в кометах есть вода, метан, аммиак, углекислый газ, соли и многие другие вещества: состав каждой конкретной кометы зависит от времени и места ее зарождения и орби-



## А ПОЧЕМУ БЫ И НЕТ?

ты. Главные же кометные бомбардировки случаются при прохождении Земли через рукава Галактики, когда кометы падают чуть ли не каждую неделю в течение полумиллиона лет. За время своего существования (4,5 млрд. лет) Земля испытала не менее 155 циклов таких бомбардировок.

Когда расплавленная Земля еще не имела гранитно-базальтовой оболочки, кометы падали в жидкую магму. Имеющейся в них метановый лед плавился и испарялся, после чего его молекулы под действием высокой температуры распались на составляющие — углерод и водород. Если атомы водорода из-за своей летучести покидали планету, то атомы углерода, оказавшиеся в магме, могли вступать в химическую реакцию с оксидами металлов и формировали там карбиды. Иначе говоря, вкрапления карбидов различных металлов могут оказаться следами бомбардировки и представляют собой тот запас соединений, которые позднее будут вынесены из магматического очага в осадочный чехол с помощью газообразных или жидких растворов — так называемых флюидно-интрузивных процессов.

Когда планета остыла и появилась кора, водяной лед и космическая пыль из комет попадали уже на твердое вещество. На относительно теплой поверхности Земли, не покрытой еще мягким осадочным чехлом, водяной лед таял, и полученная при этом вода с примесью хлоридов щелочных металлов шла на образование гидросферы. Остальные ледянистые компоненты ядер комет ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  и другие), не имея возможности зафиксироваться на твердой поверхности, улетучивались в атмосферу. Бомбардировки Земли кометами были столь интенсивными, что уже в первой четверти архея (4 млрд. лет назад) Мировой океан покрыл почти всю поверхность нашей планеты.

Попадая в воды океана, кометы всплывали, как обычные льдины, и начинали таять, высвобождая содержащуюся в них космическую пыль. Может показаться, что комета никак не может упасть в океан и плавать по нему, ведь известно, что она должна взорваться из-за нагрева при движении в атмосфере, которая к тому времени появится. Тут надо вспомнить, что скорость движения галактической кометы огромна — до 200 км в секунду. Она мгновенно пронзает атмосферу Земли и нагревается только от удара. На сколько частей расколется комета, особенно если ее размер — десяток километров, выше Эвереста, как будет нагреваться с исходной температурой космического холода — неизвестно. Но возможность того, что она отнюдь не полностью испарится после удара, а именно расколется, исключать никак нельзя.

При таянии часть космической пыли комет, в том числе оксиды кремния и алюминия, которые не растворились в воде, как это произошло с хлоридами щелочных металлов, опускались на дно океана. При этом шла сепарация: крупные частицы опускались быстрее мелких. Так на дне последовательно откладывались более или менее однородные по составу слои песка и глины. Через некоторое время, в палеозое (от 570 до 235 млн. лет назад), океан отступил с поверхности современной суши, и чередующиеся пласты в осадочном чехле естественно перешли в наследство современным континентам. Заметим, что при формировании осадочного чехла только за счет продуктов разрушения гранитных пород никакой слоистости не было бы.

Современная наука признает: в осадочном чехле Земли по крайней мере один слой глины (мощностью 1—6 см) имеет космическое происхождение. Он лежит на стыке отложений мезозоя и кайнозоя примерно 65 миллионов лет — знаменитый конец эры динозавров. Характерная его черта — повышенное в 30 раз содержание иридия по сравнению с соседними слоями известняка. А иридий, по современным понятиям, мог попасть в осадочный чехол Земли только из космического пространства.

Если принять, что имеющиеся в осадочном чехле слои имеют кометное происхождение, то такое же происхождение должно иметь большинство месторождений как металлов, так и неметаллов: их образовала комета, в которой была пыль, обогащенная соответствующим элементом.

Формирование месторождений полезных ископаемых могло идти как минимум по трем путям. Во-первых, это уже упоминавшиеся флюидно-интрузивные процессы выноса рудных компонентов в осадочный чехол из магматического рудоносного очага. Во-вторых — непосредственная имплантация комет в относительно мягкий осадочный чехол. В-третьих — образование месторождений из комет «осадочным» способом. У всех трех способов есть общая черта: первичное формирование месторождений происходило практически на внешней поверхности существовавшего на тот момент осадочного чехла. А затем все месторождения были засыпаны при очередных кометных бомбардировках, как бы погружаясь внутрь планеты.

К сожалению, из-за небольшой разницы в удельной плотности и размерах частиц, образующих осадочную породу (песок и глину) и полезные ископаемые, четкой сепарации между этими, абсолютно различными по химическому составу частицами могло и не происходить. Поэтому в большинстве случаев

реальные месторождения в той или иной степени заполнены пустой породой, которую при добыче отправляют в отвалы.

А вот как образовывались месторождения горючих ископаемых. При таянии плавающей в океане кометы на дно сначала опускался песок, который образовывал плоский холм. Сверху на этот холм из песка оседал слой глины. Метановый лед при взаимодействии с водой (а она под кометной льдиной холодная и находится под давлением в десятки атмосфер) должен плавиться и превращаться в кристаллогидраты метана. Будучи немного тяжелее воды, они опускаются на дно медленнее, чем песок, засыпая вместе с ним только что созданный там холм, который будет служить подошвой пласта формируемого месторождения метана. И последнее — легший на подошву слой кристаллогидрата метана засыпали частицы глины; из-за малых размеров их время осаждения в 10 тысяч раз больше времени осаждения частиц песка.

Что касается образования нефти из кристаллогидратов метана, заметим следующее. В осадочном чехле Земли на глубине 5 км температура составляет около  $+150^\circ\text{C}$ , а давление — под 1000 атмосфер. Возможно, этих условий достаточно для превращения метана из распавшихся кристаллогидратов в более сложные углеводороды. Кроме того, месторождения нефти, как и других полезных ископаемых, могли образоваться и при имплантации метаносодержащих комет в относительно мягкий осадочный чехол Земли. Кинетическая энергия комет при этом превращалась в тепловую — температуру и давление.

Как можно проверить такую гипотезу? Надо постараться найти связь между расположением полезных ископаемых и местами падения комет (так называемыми астроблемами), либо поискать общие черты у песка, глины и частиц кометной пыли. Благо последние скоро должна добыть экспедиция ЕКА «Розетта», которая в ноябре 2014 года высадит спускаемый аппарат на комете Чурюмова — Герасименко.

Кандидат технических наук  
**А.А.Биршерт**,  
Институт химической физики  
им. Н.Н.Семенова РАН  
birshert.an@yandex.ru