

Анатолий Биршерт

Гидродинамика для песка и глины

Наукой о строении Земли установлено, что внешняя оболочка нашей планеты, закрывающая раскаленную магму, сложена из кристаллических горных пород (базальты и граниты) мощностью, т.е. толщиной, до 50 км под континентами и до 10 км под океанами. Сверху эта гранитно-базальтовая оболочка закрыта т.н. чехлом, сложенным из осадочных пород. Мощность осадочных пород над континентами достигает 5 км, а среднее значение по всему земному шару составляет 2,2 км с суммарным объемом около 1120 млн. кубкилометров. Т.н. осадочный чехол состоит из чередующихся слоев песка и глины, а также суглинков, супесей и известняков. Мощность каждого слоя – от долей метра до нескольких десятков метров, простираемость – от нескольких метров до нескольких километров. Кроме этих нерудных материалов внутри осадочного чехла встречаются рудные месторождения, а также месторождения горючих ископаемых (газ, нефть, ископаемый уголь, горючие сланцы). Там же встречаются и подземные водные горизонты (как питьевой, так и минеральной воды).

Поясним вкратце состав осадочного чехла. Песок на 90% и более состоит из частиц кварца (SiO_2) размером от 1 до 0,1мм. Глина – это смесь мельчайших частиц кварца (30 – 70%) с частицами корунда Al_2O_3 (10 – 40%) и водой, придающей глине пластичность. Размер частиц кварца и корунда, образующих глину – 0,01мм и менее. Суглинок – это смесь примерно 70% глины и 30% песка. Супесь – смесь примерно 70% песка и 30% глины. Известняк – это осадочная порода, состоящая из частиц кальцита (CaCO_3). размером от 0,005мм и более.

В данной работе попытаемся объяснить, почему осадочный чехол сложен в основном из чередующихся слоев песка и глины, причем слои песка и глины перемежаются с редкими слоями известняка.

Геологическая наука утверждает, что песок и глина, образующие осадочный чехол Земли, образовались в результате длительного процесса разрушения коренных магматических пород оболочки, прежде всего гранита. Гранит – это кислая полнокристаллическая магматическая горная порода, состоящая в основном из кварца и калиевого полевого шпата (алюмосиликата калия).

В природе разрушение гранита наиболее интенсивно идет там, где летом стоит жаркая погода с периодическими дождями, а зимой или в межсезонье наблюдаются ночные заморозки. Необходимые условия для этого процесса – поверхность гранита должна хорошо нагреваться Солнцем летом, а зимой или в

межсезонье эта поверхность должна подвергаться заморозкам. Если на прогретую Солнцем поверхность гранита падают первые капли летнего дождя, поверхность камня в первую же секунду покрывается от термоудара сеткой микротрещин. В следующие летние сезоны глубина и плотность этих микротрещин увеличится. Попавшая в межсезонье в микротрещины дождевая вода замерзает во время ночных заморозков, отчего микротрещины расширяются. Так постепенно, год за годом, в природе происходит разрушение гранита, причем непосредственно активное разрушение гранита идет не более 365 секунд в год, т.е. достаточно медленно, поскольку в году $3,15 \times 10^7$ секунд.

Для разрушения гранита природа может использовать только небольшую часть поступающей на Землю энергии излучения Солнца, составляющую 2×10^{14} кДж/с. Эта энергия нужна прежде всего для поддержания средней температуры поверхности Земли на уровне $+12^\circ\text{C}$. Уменьшение потока получаемой энергии на 10% от номинальной величины автоматически приводит к уменьшению средней температуры поверхности Земли на $6,5\text{C}$, и это понижение температуры заблокирует процессы естественного разрушения гранита. Поэтому на разрушение 1120 млн. кубокилометров (или $1,12 \times 10^{24}$ см³) гранита природа может потратить не более 1% получаемой Землей солнечной энергии, или 2×10^{12} кДж/с.

Если мы примем, что эффективность использования солнечной энергии при разрушении гранита в природе не хуже, чем эффективность сверления гранита при строительстве пирамид в Древнем Египте, то для разрушения 1120 млн. кубокилометров гранита в песок и глину природе потребовалось бы $2,78 \times 10^{26}$ кДж, поскольку расход энергии у древних египтян при разрушении 1 см³ гранита при его сверлении составлял 224 кДж. Заметим, что чем примитивнее технология, тем она более энергозатратная. При непрерывном процессе разрушения 1120 млн. кубокилометров гранита природе потребовалось бы время, равное $2,78 \times 10^{26}$ кДж : 2×10^{12} кДж/с = $1,4 \times 10^{14}$ секунд. Поскольку выше было показано, что процесс разрушения гранита в природе составляет не более 365 секунд в год, то на разрушение 1120 млн. кубокилометров этой горной породы потребовалось бы $3,8 \times 10^{11}$ лет. Но таким запасом времени природа не располагала, поскольку возраст Земли составляет $4,5 \times 10^9$ лет, а пик гранитообразования имел место в протерозое, т.е. приблизительно $2,5 \times 10^9$ лет тому назад. Заметим также, что при формировании осадочного чехла за счет продуктов разрушения гранитных пород, никакой слоистости не было бы. В этом случае осадочный чехол был бы сложен из однородной массы, состоящей в основном из равномерно перемешанной смеси частиц кварца и корунда.

Таким образом, официальная версия происхождения песка и глины осадочного чехла Земли за счет длительного процесса разрушения гранитного фундамента,

верна только отчасти. Сделав этот вывод, попытаемся объяснить, каким же образом в осадочном чехле нашей планеты образовались достаточно четко структурированные слои песка и глины. Для ответа на этот вопрос нам придется обратиться к теории катастрофизма, предложенной в 1812г. французским естествоиспытателем Жоржем Кювье. Согласно этой теории развитие природы нашей Земли состоит из непрерывно чередующихся циклов спокойной эволюции и относительно кратковременных катастроф, скачкообразно изменяющих лик Земли. В качестве одной из основных причин этих скачкообразных изменений современная теория катастроф считает периодические бомбардировки Земли кометами.

Кометы являются малыми космическими телами (размером от 0,5 до 100км), состоящими из смеси замерзших до твердого агрегатного состояния газов и паров, перемешанных с т.н. космической пылью – твердыми частицами размером менее 1мм разного химического состава: силикаты, окислы и соли металлов, хлориды и т.п. Состав льдов комет (H_2O , CH_4 , NH_3 , CO_2 и др.) показывает, что температура этих космических тел не выше минус $200^{\circ}C$.

В настоящее время считается, что первоосновой комет служат осколки взорвавшихся звезд, выбрасываемых через т.н. струйные рукава Галактики. Эти рукава каждые 30 ± 5 млн. лет пересекает наше Солнце, движущееся со всеми своими планетами по круговой орбите вокруг Галактики. Покинув Галактику, осколки взорвавшихся звезд в процессе своего полета остывают до криогенной температуры, и затем, проходя через газо-пылевые туманности космического пространства, намораживают на свою поверхность смесь различных льдов, перемешанных с космической пылью. Часть звездных осколков, постепенно превратившихся в кометы, достигают Солнечной системы. Поэтому Солнце, Земля и другие планеты и их спутники через каждые 30 ± 5 млн. лет подвергались ранее и будут подвергаться в будущем бомбардировкам галактическими кометами. Длительность каждого бомбардировочного цикла – до 500 тыс. лет.

Интенсивность бомбардировок в каждом цикле различная, т.к. поток выброса материи из различных струйных рукавов Галактики также различный, не говоря уже о непостоянстве этих потоков во времени. Кроме того, Солнце движется вокруг Галактики не по плоской круговой орбите, а одновременно с круговым движением совершает синусоидальные колебания в вертикальной плоскости.

Как же происходит бомбардировка Земли кометами? В зависимости от размеров и степени сцепления льда в однородный конгломерат комета может либо разрушиться в верхних слоях атмосферы, либо, потеряв некоторую часть поверхностных слоев, достигнуть водной или твердой поверхности Земли.

В случае разрушения кометы в верхних слоях атмосферы на поверхность Земли, расположенную под эпицентром разрушения, выпадает ливень ледяных осколков, наспигованных частицами космической пыли. Этот ливень выпадает либо на поверхность мирового океана, либо на поверхность одного из материков. Заметим сразу, что площадь поверхности нашей планеты, занимаемая океаном, в процессе эволюции Земли периодически изменялась от современного значения как в большую, так и в меньшую сторону.

Поясним причину периодических изменений уровня океана. С позиций теории катастрофизма все просто. Если вода доливается в океан, его уровень повышается. Если вода выливается из океана, его уровень понижается. «Доливание» воды в океан обеспечивают кометы, размер которых не превышает 1 км. При попадании таких комет в океан возникает огромная волна и высокий выброс воды вверх. Но суммарный баланс от таких комет – положительный. «Выливание» воды из океана обеспечивают более крупные кометы, размер которых более 1 км. При попадании таких комет в океан большая часть их огромной кинетической энергии (эта энергия пропорциональна кубу диаметра кометы) идет на то, чтобы выплеснуть как можно больше имеющейся в океане воды в космическое пространство. Суммарный баланс от действия крупных комет – отрицательный. Таким образом, уровень океана зависит от того, кометы преимущественно какого размера падают на Землю в тот или другой бомбардировочный цикл.

Рассмотрим сначала те осколки кометы, которые выпали на поверхность океана. Эти осколки из достаточно пористого кометного льда благодаря своей высокой скорости погружались глубоко в воду. После того, как они гасили свою кинетическую энергию за счет сопротивления воды, они всплывали на поверхность океана, где постепенно таяли. Вода от растаявшего водного льда комет естественно присоединялась к океанской воде. Образовавшиеся при таянии метанового льда молекулы газообразный метан при контакте с водой образовывали т.н. кристаллогидраты метана, которые, будучи тяжелее воды, опускались на дно океана. Остальные газы (CO_2 , NH_3) либо растворялись в верхних слоях океана, где вступали в химические реакции с хлоридами, растворенными в океанской воде, либо переходили в атмосферу. Что касается космической пыли, то у нее было два пути. Пылинки, образованные хлоридами, достаточно быстро растворялись в океанской воде. Те же пылинки, материал которых не растворим в воде, опускались на дно океана. Это прежде всего частицы кварца и корунда размером от 1 до 0,01 мм и менее.

Скорость осаждения в воде частиц из кварца и корунда можно легко получить из гидродинамического закона Стокса, определив, что сила сопротивления вязкой жидкости для шарика, равномерно движущегося в этой жидкости,

пропорциональна произведению вязкости μ жидкости, радиусу r шарика и его скорости v .

Падение шарика в жидкости происходит под действием силы всемирного тяготения за вычетом выталкивающей силы Архимеда

В установившемся режиме сила тяготения, уменьшенная на силу Архимеда, уравновешивается силой сопротивления жидкости, отсюда легко получить выражение для скорости равномерного опускания шарика в жидкости:

$$v = 2g(\rho - \rho_0)r^2/9\mu \quad (1)$$

где: g – ускорение силы тяжести,

ρ – плотность материала шарика,

ρ_0 – плотность жидкости.

Из уравнения (1) следует, что установившаяся равномерная скорость опускания шарика в жидкости прямо пропорциональна квадрату радиуса этого шарика. Для частиц кварца ($\rho = 2,65 \text{ г/см}^3$) размером 1мм получаем скорость опускания в воде ($\mu = 1,308 \times 10^{-4} \text{ Па}\cdot\text{с}$ при $+ 10^\circ\text{C}$) $v_{1\text{мм}} = 6,9 \text{ м/с}$. Расчеты сделаны в предположении, что частицы кварца и корунда, входящие в состав космической пыли, имеют форму, приблизительно соответствующую форме шарика. Для частиц кварца размером 0,01мм получаем $v_{0,01\text{мм}} = 0,00069 \text{ м/с}$, т.е. в десять тысяч раз меньше.

При таких скоростях частица кварца размером 1мм, следуя закону Стокса, опустится в океане на глубину 1км за 145с, а частицы того же кварца размером 0,01мм будут опускаться на ту же глубину 1,45 млн. секунд, или 16,8 суток. Таким образом, при падении на дно океана частиц кварца и корунда из осколков кометы происходит их своеобразная сепарация по размеру частиц. Быстрее всего опускаются крупные частицы кварца, которые образуют на дне океана слой песка. После этого с задержкой по времени в несколько суток, зависящей от глубины океана, сверху слоя песка начинает формироваться слой глины, в состав которой, как мы помним, кроме воды, входят частицы кварца и корунда размером 0,01мм и менее. Заметим, что площадь этого двухслойного образования из песка и глины не бесконечна, а соответствует, с поправкой на существующие в данном месте течения, размерам ареала выпадения на поверхность океана осколков льда из каждой конкретной кометы. То же, что чередующимися слоями песка и глины покрыт практически весь земной шар, лишний раз подтверждает, что суммарное число комет, достигших Земли, исчисляется миллионами.

В случае непосредственного падения кометы в океан комета остается на плаву, при этом ее ледяная субстанция достаточно быстро тает, а высвобождающиеся из ледяного плена частицы космической пыли начинают опускаться на дно. При этом происходит сепарация этих частиц по размеру, и на дне океана образуются два слоя – песка и глины.

В случае же попадания кометы или ее осколков на твердую поверхность материка, сепарации космической пыли по размеру частиц не происходит.

Когда в палеозое (от 570 до 235 млн. лет назад) уровень океана понизился примерно на 1км, достигнув своего современного значения, вода отступила с поверхности современной суши, и чередующиеся пласты песка и глины перешли в наследство современным континентам, а значит и нам, современным обитателям Земли.

Литература

1. Биршерт А.А. Кометы формируют планету // Природа и человек XXI век 2012, №6 С. 44-47.
2. Биршерт А.А. Что у нас тут под ногами // Техника – молодежи 2012, № 10 С.16-20.

Краткие сведения об авторе

Биршерт Анатолий Андреевич, 1937г, в 1960г окончил МФТИ, после чего 40 лет проработал в НИИ Вакуумной техники, последовательно занимая должности от инженера до начальника лаборатории. С 1969г – кандидат технических наук. В настоящее время – на технической должности в ИХФ им Н.Н. Семенова РАН. С 2005г начал писать статьи по научно-популярной тематике, в том числе по догеологической истории Земли. Более 15 статей опубликованы (журналы «Химия и жизнь», «Техника–молодежи», «Природа и человек», «Знание–сила»).

Домашний адрес: 117461 Москва Керченская ул. 28 кв 69

Телефон: 8-963-651-46-56 (моб)

Электронная почта: <birshert.an@yandex.ru>