

ЗЕМНАЯ ВОДА

Лёзин Евгений Степанович,
drachenjager@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается гипотеза об образовании воды в земной атмосфере из атмосферного атомарного кислорода и захватываемого водорода из межзвездного вещества (МЗВ). Предлагается выделять в истории Земли периоды водообразования нормального захвата МЗВ и водообразования, связанные с нормальным или интенсивным захватом МЗВ.

Ключевые слова: происхождение воды на Земле, межзвездное вещество (МЗВ), захват МЗВ.

EARTH WATER

Evgeniy Lezin

Abstract. In the article the hypothesis of the water formation in the Earth atmosphere from atmospheric atomic oxygen and captured hydrogen which is the main component of the interstellar medium (ISM) is considered. The author gives reasons in favour of the hypothesis. It is suggested to divide the history of Earth into periods of the normal capture of ISM and water formation and periods of the intensive capture of ISM and water formation.

Keywords: Earth water formation, ISM: molecules, ISM: atoms, considered ISM.

В настоящей работе рассмотрен захват Землей (другими планетами) межзвездного газопылевого вещества (МЗВ) и его последствия в контексте эволюции воды на Земле. Из планет земной группы только Земля аномально богата водой. Чем это вызвано и почему на других планетах ситуация принципиально иная?

Считается, что вся вода земной гидросферы была приобретена Землей в процессе ее образования. Большинство исследователей полагает, что первичная гидросфера Земли была маломощной и только в ходе дегазации мантии приобрела современный вид и массу. Для объяснения аномально большого количества воды на современной Земле рядом исследователей была сформулирована дегазационная гипотеза, согласно которой вода, аккумулированная в мантии, постепенно просачивается к земной поверхности и пополняет гидросферу. Дегазационная гипотеза базируется на модели «холодной» Земли, разработанной О.Ю. Шмидтом. Однако позднее была выявлена значительная роль крупных тел в аккумуляции Земли [1]. Такие тела падали на зародыш планеты с большими скоростями и формировали ударные кратеры. При ударах вещество дробилось, прогревалось и дегазировало практически в полном объеме. Очевидно, это справедливо даже для воды,

связанной химически в составе гидратов. Подобные модели аккумуляции получили название модели «теплой» Земли и согласно им мантия не должна содержать воды.

Рассмотрим историю воды на Венере. Если земная мантия дегазирует воду, то аналогичный процесс должен происходить и на Венере и последняя должна быть, как и Земля, богата водой, что не находит своего подтверждения. Благодаря исследованиям космических летательных аппаратов на Венере обнаружены целые поля галек, как угловатых, так и окатанных. Присутствие окатанного галечного материала указывает на то, что на Венере ранее присутствовала вода, в жидкой фазе и в значительном объеме, которая формировала ливневые потоки на поверхности планеты. Однако современная Венера очень бедна водой и вся вода находится в парообразном состоянии в нижней атмосфере, включающей облачный слой (рис. 1) [2].

Содержание пара на высоте в 52 км составляет $\sim 2 \cdot 10^{-4}$ об. долей, а к поверхности падает до $\sim 2 \cdot 10^{-5}$. Ни о какой дегазации воды из мантии Венеры не может быть и речи. Напротив, в ее недрах существует некий акцептор воды неизвестной природы. Отсюда, можно сделать вывод о том, что дегазации воды из земной мантии также не происходит.

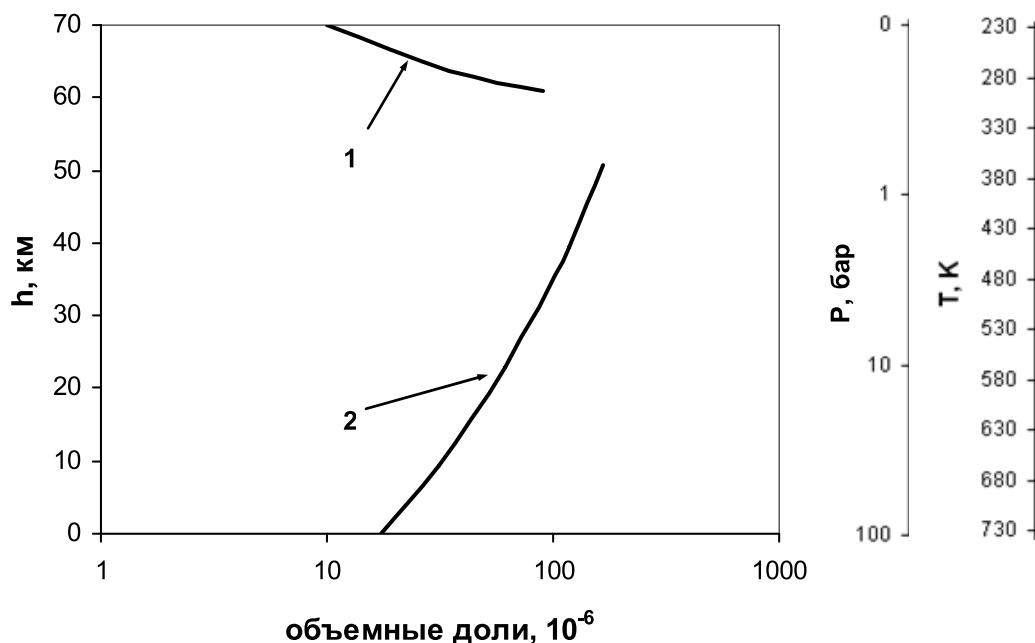


Рис. 1. Содержание паров воды в атмосфере Венеры [2]

1 – по данным «Пионер – Венера»; 2 – по данным «Венера – 11, – 12»

Для выявления источника гидросферной воды рассмотрим такое атмосферное явление как серебристые облака. Они формируются и движутся в мезопаузе на высоте 80...85 км. Специальными ловушками, устанавливаемыми на ракетах, производился захват облачных частиц [3]. Частицы оказались пылевыми, метеоритного происхождения, почти все покрытые ледяными оболочками. Метеоритные частицы являются центрами конденсации паров воды, происходящей в мезопаузе. Согласно расчетам ряда авторов [4] концентрация водных паров для образования ледяных оболочек должна быть не меньше $n_{\text{H}_2\text{O}} = 10^{-4}$ об. А согласно астрономическим моделям, при отсутствии каких-либо источников воды в верхней атмосфере содержание водных паров в мезопаузе составляет менее 10^{-6} об. долей [5]. То есть, требуемая концентрация не может быть достигнута лишь благодаря притоку водных паров из гидросферы в мезопаузу.

Ряд исследователей считает [4], что приток паров воды обеспечивается благодаря снежным мини-кометам. Ежеминутно в атмосферу Земли должны попадать десятки 100-тонных ядер таких комет. Такое количество мини-комет способно обеспечить прирост массы гидросферы от первичной до совре-

менной. Однако снежные мини-кометы – гипотетические тела, которые астрономическими методами не наблюдались. Если бы они существовали в столь значительном количестве, Венера и Марс приобрели бы огромные массы воды, что не соответствует действительности.

В отличие от других планет на Земле существует жизнь, а в земной атмосфере – свободный кислород. Поэтому необходимо предположить, что гидросферная вода образуется в атмосфере, в частности в мезопаузе, из молекулярного водорода и атомарного кислорода.

При наличии атомарного кислорода реакция (1) идет при низких температурах. Атомарный кислород в заметном количестве появляется на высоте 1000 км, достигая максимума на высотах 80...100 км, затем его концентрация уменьшается и на уровне тропопаузы $h \approx 10$ км становится равной нулю. Водообразование по указанной схеме (1) может идти во всем приведенном диапазоне высот. Однако здесь существуют трудности, связанные с проблемой происхождения атмосферного водорода.

Водород – самый легкий газ, скорость его диссипации из земной атмосферы очень велика и за время существования Земли первичный водород должен

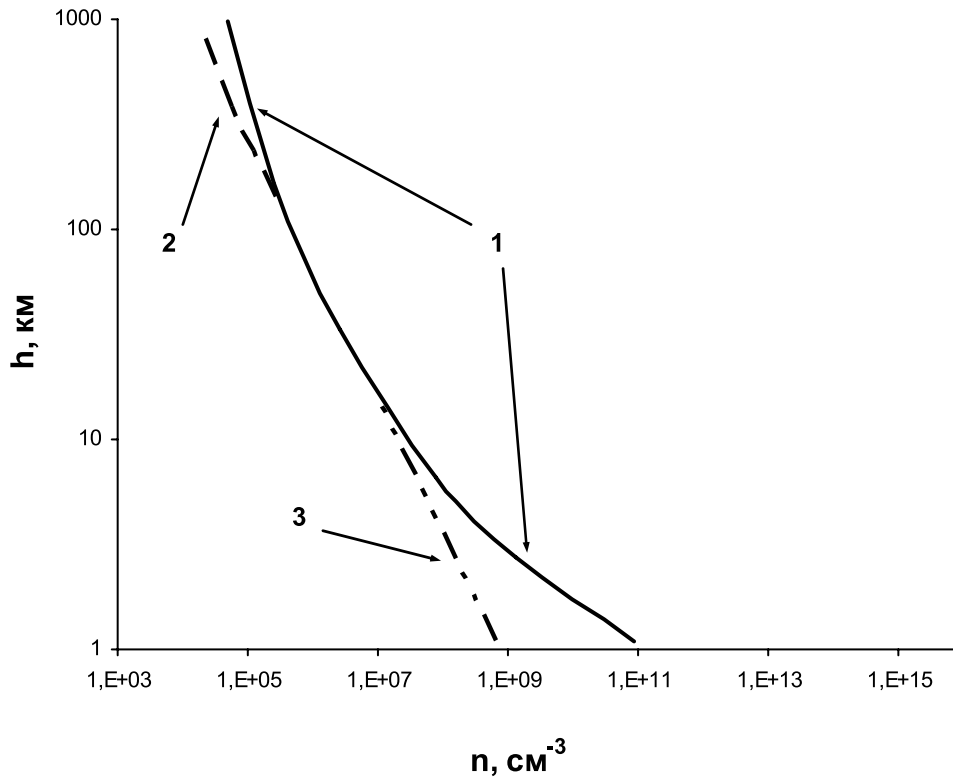


Рис. 2. Требуемое распределение водорода при его образовании в средней атмосфере

1 – Экспоненциальное распределение при отсутствии расхода в атмосфере и вне ее; 2 – Распределение при диссипации из атмосферы; 3 – Распределение при потреблении в Земле

был полностью диссипировать. Между тем верхняя атмосфера почти полностью состоит из водорода и гелия. В связи с этим получила распространение гипотеза о происхождении водорода путем фотодиссоциации воды под действием жесткого ультрафиолета Солнца.

Жесткий ультрафиолет, способный разрушать молекулы H_2O , проникает до высоты $h \approx 60$ км. Ее и считают нижней границей образования водорода. Если фотодиссоциация воды в средней атмосфере действенна, и в атмосфере и вне ее нет потребителя водорода, то его повысотное распределение должно соответствовать экспоненциальному распределению Больцмана (рис. 2).

Так как водород диссипирует из атмосферы, то в случае его образования в средней атмосфере его распределение в верхней атмосфере должно быть круче барометрической экспоненты. Если акцептор водорода имеется на поверхности или в недрах Земли,

то его распределение в нижней атмосфере должно быть положе барометрической экспоненты.

Рассмотрим теперь наблюдаемое распределение водорода (рис. 3 и 4). В термосфере с уменьшением высоты концентрация H_2 монотонно увеличивается. Начиная с высоты ~ 100 км кривая распределения H_2 становится более полой, на высотах $\sim 70..40$ км уменьшается по абсолютной высоте и на высоте 40 км достигает минимума $n_B = 10^4 \text{ см}^{-3}$. Еще ниже концентрация H_2 с уменьшением высоты снова увеличивается, и на уровне моря составляет $n_A = 5 \cdot 10^{-7}\%$ об, или $n_A = 1,2 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ [6].

Автор не имеет данных по форме кривой в диапазоне высот $0..40$ км, но для последующих выводов она не имеет значения. Согласно известным концентрациям на высотах $h_A = 0$ и $h_B = 40$ км эта кривая существенно круче кривой молекулярного кислорода O_2 .

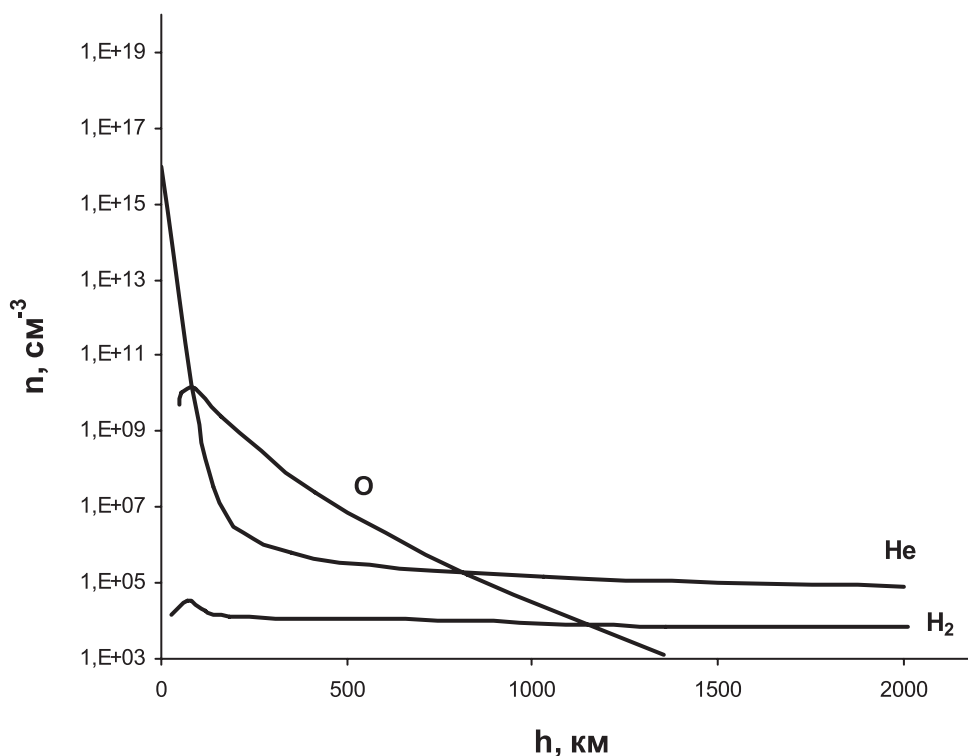


Рис. 3. Распределение водорода в земной термосфере, согласно данным [6]

Уменьшение концентрации H_2 с уменьшением высоты в диапазоне 100...40 км указывает на его поступление извне и расход в этом диапазоне. Большая крутизна кривой H_2 относительно кривой O_2 в диапазоне 0...40 км указывает на его приток из недр Земли и расход в этом диапазоне.

Таким образом, земная атмосфера имеет два источника H_2 , – внешний космический и эндогенный – коромантийный. Расходуется же водород на образование воды. В термосфере реакция водообразования (1) тормозится реакцией фотодиссоциации (2). В средней же атмосфере прямая реакция (1) идет интенсивнее обратной. Образующиеся водные пары конденсируются, выпадают на земную поверхность и пополняют гидросферу.

Рассмотрим еще одну закономерность – так называемый «кислородный парадокс». В процессе фотосинтеза кислород гидросферной воды превращается в молекулярный кислород и поступает в атмосферу. Кислород углекислого газа расходуется на образование органического вещества (углевода) и новой молекулы воды, которая возвращается в гидросферу.

Кислород из атмосферы возвращается в гидросферу и в массив углекислого газа. Период кругооборота CO_2 в биосфере составляет 35 лет. Поэтому, если по каким-то причинам изотопный состав атмосферного, гидросферного O_2 , а также кислорода в составе углекислого газа варьировался, то он должен был выровняться по все компонентам в течение очень небольшого в геологическом масштабе временного интервала. Однако измерения показывают неравенства изотопных отношений $^{18}O/^{16}O$: в кислороде гидросферной воды – 0,2005%; в кислороде углекислого газа – 0,20083%; в атмосферном кислороде – 0,2039%. Это неравенство указывает на то, что рассматриваемые массивы имеют непрерывное приращение со своими отношениями $^{18}O/^{16}O$.

В.И. Бгатов [8] на основе анализа геологического материала показал, что O_2 дегазирует из мантии вместе с магмой. Предполагается, что этот дегазированный кислород и приводит к изотопному отношению $[^{18}O/^{16}O]_{атм} = 0,2039\%$. Если из мантии наравне с кислородом дегазирует и вода, то при температурах в мантии ~ 1600...4600 К мо-

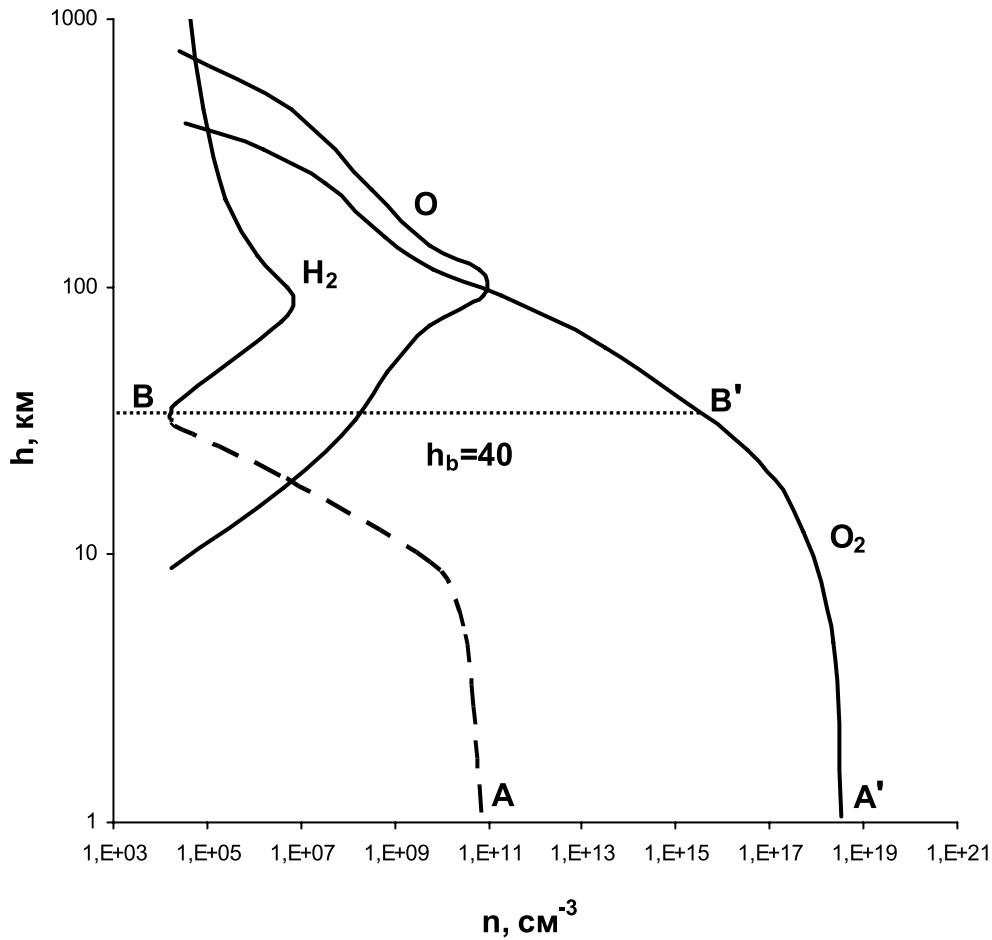


Рис. 4. Распределение водорода в земной термосфере, согласно данным [7]

лекулы O_2 , H_2O , CO_2 , CO , Fe_2O_3 , FeO термически диссоциируют в большей или меньшей степени. В процессе диссоциации от молекулы на короткое время отрывается атом (радикал), а затем снова присоединяется к ней. В магме и флюидах молекулы не связаны в составе кристаллических решеток, поэтому оторвавшийся от одной молекулы атом (радикал) может присоединиться к молекуле другого флюида. Времени движения флюидов к поверхности вполне достаточно для того, чтобы изотопные отношения $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ сравнялись у всех флюидов, в частности, у H_2O и O_2 . Таким образом, предположение о дегазации воды из мантии не устраняет кислородный парадокс и, следовательно, вода из мантии не дегазирует.

Однако парадокс находит свое решение, если предположить, что вода образуется в атмосфере. Причем часть воды должна образовываться в об-

ласти перемешивания, верхней границей которой является граница мезопаузы $h = 85$ км, другая часть воды должна происходить из диффузной зоны, т.е., термосферы. В зоне перемешивания образуется вода с изотопным отношением, равным изотопному отношению атмосферного кислорода $[^{18}\text{O}/^{16}\text{O}]_{\text{атм}} = 0,2039\%$. В диффузионной зоне содержание ^{18}O с увеличением высоты уменьшается быстрее, чем содержание ^{16}O . Поэтому, образовавшаяся в ней вода имеет отношение $[^{18}\text{O}/^{16}\text{O}]$ меньше отношения $[^{18}\text{O}/^{16}\text{O}]_{\text{гидр}}$, а в атмосфере накапливается тяжелый ^{18}O , приводящий к отношению $[^{18}\text{O}/^{16}\text{O}]_{\text{атм}}$. Смешение образовавшейся воды с гидросферной совместно с кругооборотными процессами фотосинтеза-окисления приводит к отношению $[^{18}\text{O}/^{16}\text{O}]_{\text{гидр}}$. Отношение $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ у дегазирующего из мантии кислорода должно составлять или быть близким отношению $[^{18}\text{O}/^{16}\text{O}]_{\text{CO}_2} = 0,20083\%$.

Перейдем теперь к рассмотрению внешнего источника водорода. Им является захваченное МЗВ, имеющее начальную концентрацию частиц n_0 и состоящее преимущественно из водорода, гелия и примеси тяжелых элементов. Относительная скорость МЗВ и Солнца в среднем равна $v = 7...8$ км/с [6], поэтому при сближении МЗВ обтекает Солнце по гиперболическим орбитам.

Вследствие этого обтекания в перигелии, в окрестностях планетных орбит, концентрация и скорость МЗВ значительно увеличиваются. МЗВ захватывается планетами при соударениях об их тела, включая атмосферу. Массовая скорость захвата пропорциональна начальной концентрации n_0 . По своей структуре МЗВ неоднородно [9]: большую часть объема занимает межоблачный газ, в который вкраплены облака МЗВ. Концентрация частиц в последних в $40...10^6$ раз больше, чем в межоблачном газе.

При пересечении межоблачного газа происходит нормальный захват МЗВ, а при пересечении облаков МЗВ – интенсивный захват с массовой скоростью в $40...10^6$ раз большей, чем при нормальном захвате. Длительность пересечения облаков МЗВ составляет $\sim 2...4$ Млет.

Для диссипации атмосферные частицы должны иметь скорость, равную или большую скорости убегания, для Земли, $-v_{уб} = 11$ км/с. Если атмосферу считать изолированной, не взаимодействующей с МЗВ, то скорости атмосферных частиц определяются распределением Максвелла-Больцмана. При температуре термосферы ~ 1500 К частицы со скоростями, превышающими скорость убегания существуют, однако их очень мало. И чем тяжелее газ, тем их меньше. Согласно расчетам, вследствие тепловой диссипации концентрация H_2 уменьшается в e -раз через 10^3 лет, а концентрация O_2 – через 10^{20} лет, то есть при тепловой диссипации тяжелые газы практически не диссипируют. Однако если учесть захват МЗВ, то картина диссипации будет принципиально иной. Средняя относительная скорость Земли и захватываемых частиц МЗВ равна $v_{зхв} \approx 42$ км/с. Ее имеют все захватываемые частицы – как легкие так и тяжелые. Их привнос в сферу диссипации $R_{кр} = R_{земли} + 500$ км резко интенсифицирует диссипационный процесс. Частицы диссипируют после одного или нескольких соударений. Поэтому нельзя отличить, какие частицы диссипируют: захватываемые или атмосферные аборигенные. В захвато-диссипационном процессе существуют

захватываемый, диссипационный и диффузионный потоки, положительные или отрицательные, из сферы диссипации в остальную атмосферу. При равновесном состоянии какой-либо i -й атмосферной компоненты, не имеющей потребителей в атмосфере и недрах планеты, диссипационный поток равен захватываемому, а диффузионный поток равен нулю. Так как скорость диссипации пропорциональна концентрации компоненты в атмосфере [10], то отсюда следует условие пропорциональности: в равновесном состоянии концентрация i -й компоненты в атмосфере пропорциональна начальной концентрации по этой компоненте в МЗВ. Если атмосферная компонента имеет потребителя, то в равновесном состоянии захватывающий поток равен сумме диссипационного и диффузионного потоков. Концентрация этой компоненты в атмосфере также пропорциональна начальной концентрации n_{0i} МЗВ с поправочным понижающим коэффициентом на потребление. При изменении n_{0i} , то есть, при переходе Солнца из межоблачного газа в облако МЗВ и наоборот, i -я компонента стремится к новому равновесному состоянию. Легкие газы, – водород и гелий достигают нового равновесия очень быстро, в течение первых тысячелетий. Поэтому изложенное полностью относится к ним. У средних газов – атомарного кислорода O , паров H_2O , Ne , время достижения нового равновесного состояния значительно больше, но, вероятно, все же меньше миллионлетия и достигается за время движения Солнца в облаке МЗВ.

Так как скорость водообразования пропорциональна концентрации H_2 , то она пропорциональна концентрации n_0 МЗВ. То есть, в эпохи нормального захвата МЗВ в земной атмосфере идет нормальное водообразование, а в эпохи интенсивного захвата – интенсивное водообразование. Последняя эпоха интенсивного захвата и водообразования длилась весь четвертичный (ледниковый) период, начиная с 2 Млет назад до 17 Тлет назад. В настоящий период Земля находится в нормальном режиме захвата и водообразования [11].

Рассмотрим природу внутреннего источника водорода на Земле. В силикатном веществе литосферы и мантии, нагретом до температуры $800...1000$ К и выше, атомы гелия и молекулы водорода приобретают диффузионную подвижность [12]. Они могут растворяться (аккумулировать) или дегазировать из силикатного вещества в соответствии с законом Генри в зависимости от содержания этих компонент

в окружающей среде, которой является атмосфера, проникающая в земные недра по порам, трещинам и разломам. В четвертичный период Солнце пересекало молекулярно-пылевое облако «У», концентрация частиц в котором может до 10^6 раз превышать нормальную. Водород и гелий аккумулировались в земных недрах в соответствии с этой концентрацией. В настоящее время концентрации водорода и гелия в атмосфере близки к новому равновесному состоянию, соответствующему нормальному захвату МЗВ. Аккумулированные водород и гелий дегазируют из земных недр. На дегазационный

поток аккумулированного гелия накладывается поток радиогенного гелия-4.

Таким образом, историю Земли предлагается делить на периоды водообразования, связанные с нормальным или интенсивным захватом МЗВ, в которые происходило и происходит образование водоемов. При условии, что нагрузка на дно водоема от объема воды и снесенных осадков достигала критической величины, под водоемами формировались литосферные разломы, которые инициировали тектоническую активность, особенно значительную в эпохи интенсивного водообразования.

Список литературы

1. Сафронов В.С. Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет. – М.: «Наука», 1969.
2. Фигли Б., Тримейн А. Химия поверхности и нижней атмосферы Венеры. // Астр. Вестник. Т. 26 – 1992. – №2 – с.3.
3. Соломатина Э. Блистательные и неуловимые. // Знание – Сила. – 1985. – №6. – с.14.
4. Лебединец В.К., Курбанмуратов О. Роль кометного и метеоритного вещества в генезисе серебристых облаков. // Астр. Вестник. Т. 26 – 1992. – №1 – с.83.
5. Брасье Г., Соломон С. Аэрономия средней атмосферы. – Л.: «Гидрометеиздат», 1987.
6. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И. Курс общей астрономии. – М.: «Наука», 1966.
7. Бялко А.В. Наша планета – Земля. – М.: «Наука», 1984.
8. Бгатов В.И. История кислорода земной атмосферы. – М.: «Недра», 1985
9. Марочник Л.С., Сучков А.А. Галактика. – М.: «Наука», 1984.
10. Сивухин Д.С. Общий курс физики. Т. 2. – М.: «Наука», 1975.
11. Межзвездная среда около Солнца. // Земля и вселенная. – 1983. – №2. – с.45; *Astrophysical Journal*. – 1982, 259, 1.
12. Асовская А.С. Гелий на Земле и во вселенной. – Л.: «Недра», 1984.