

**Соботович Э.В.***ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»***К ПРОБЛЕМЕ РАДИОГЕННОГО ТЕПЛА ЗЕМЛИ***Рассмотрен механизм и источники энергии образования Земли и ее геологическое строение.*

18 января 1942 г., когда в битве под Москвой решалась судьба страны, в стенах Академии наук СССР состоялось «обычное» плановое собрание, на котором В.И. Вернадский прочитал доклад «О геологических оболочках Земли как планеты». Высказанное в докладе убеждение, что «...геологические явления, самые грандиозные, всецело сосредоточены на поверхностной пленке нашей планеты в немногие километры мощностью и тесно связаны с атомной энергией ее вещества» [1], наверное, были восприняты неоднозначно, несмотря на бесспорное признание безошибочной интуиции гениального ученого. Да, это была научная интуиция, для подтверждения которой на то время еще не сформировалась достаточно полная система фактов. Известным был лишь факт, установленный Д. Джоли и Р. Стреттом за 30 лет до этого, что «...количество тепла, получающееся при радиоактивном распаде атомов, достаточно для объяснения того увеличения теплоты по мере углубления в планету, которое давно эмпирически установлено. Максимум радиоактивного распада лежит относительно неподалеку от земной поверхности, и с глубиной теплота эта должна уменьшаться. Раньше теплота эта объяснялась космогоническими гипотезами о расплавленной некогда планете, чему до сих пор, к сожалению, учат в наших школах» [1].

На сегодня, благодаря прогрессу в области астрофизики и геологии вслед за В.И. Вернадским есть больше оснований считать, что Земля никогда не была целиком расплавленным телом. Происхождение Земли, по нашему мнению, наиболее адекватно современному уровню знаний описывается моделью полихронно-гетерогенной аккреции Солнечной системы из протосолнечной газопылевой туманности. Импульсом к дифференциации этой первоначальной туманности была вспышка Сверхновой звезды, происшедшая 4,7 млрд лет назад [2] на расстоянии в несколько световых лет от туманности, имевшей размеры того же порядка. Первоначальная протосолнечная туманность в квазиравновесном состоянии содержала 1—2 % консолидированного материала – пыли с некоторой долей более крупных фрагментов. Вещество Сверхновой находилось преимущественно в состоянии плазмы и состояло из существенного количества тяжелых радиоактивных ядер, синтезированных в фазу взрыва (примерно в первые 100 с). Привнос в туманность 2—3 % вещества Сверхновой, обладающего мощным электромагнитным излучением, явился энергетическим источником процессов консолидации материала туманности в обособленные сгущения и тела Солнечной системы.

В процессе образования Земли, как и других тел Солнечной системы, растущая планета последовательно поглощала материал различного происхождения – реликтовое и «вторичное» вещества, находящиеся в различных физических состояниях, с разным содержанием радиоактивных элементов. Такой дифференциации вещества по мере роста планеты обязаны образование и внутренняя зональность геосфер, прежде всего ядра и мантии. Центром аккреции Земли служили крупные реликтовые фрагменты типа железных астероидов, содержащих от 5 до 20 % никеля. Этот материал практически был нерадиоактивным. По мере захвата относительно крупных реликтовых тел из околоземного пространства последний постепенно обогащался мелкими частицами, пылью и «вторичным» веществом. При этом в прирастающем ядре планеты возрастала доля алюмосиликатного и силикатного материала. Образование наружных слоев Земли происходило за счет материала, существенно обогащенного «вторичным» веществом, содержащим радиоактивные

тепловыделяющие элементы. Таким образом, распределение радиоактивности по завершении аккреции (когда материал околоземного пространства был практически исчерпан) характеризовалось монотонным возрастанием от центра к поверхности планеты. Предполагается, что распространенность урана тогда в целом составляла от  $n \times 10^{-11}$  г/г во внутренней части ядра до  $n \times 10^{-9}$  или даже до  $n \times 10^{-7}$  г/г в верхней части мантии.

Дальнейшее развитие Земли заключалось главным образом в дифференциации геосфер и формировании земной коры. По современным представлениям [3], основными составляющими Земли являются (см. схему): ядро, которое четко разделяется на внутреннее и внешнее, нижняя и верхняя мантии. Последняя включает в себя земную кору и астеносферу – прерывистый пластичный, вероятно, местами расплавленный слой, который фиксируется в верхней мантии на разных глубинах. Нарастивание земной коры на верхней мантии началось с образования протобазальтового слоя в результате дифференциации внешних слоев верхней мантии с относительным обогащением их радиоактивными элементами. По-видимому, в это же время происходила и дифференциация вещества внешнего ядра, имеющего, в основном, железосиликатный состав, которая привела к обогащению верхней части внешнего ядра салическими компонентами и, как и верхней мантии, ураном и торием.

Что же было источником энергии для дифференциации вещества Земли? В общем, нельзя не признавать роли радиоактивности как фактора постоянного генерирования тепловой энергии, необходимой для дифференциации вещества. Однако, само накопление радиоактивных элементов – как в наружном слое верхней мантии, так и, особенно, в наружном слое внешнего ядра, является результатом дифференциации, которая не могла быть обусловленной радиогенным теплом, поскольку его изначально было недостаточно для разогрева формирующейся планеты. По нашему мнению, первичная дифференциация вещества обуславливалась кинетической энергией падения на Землю значительных масс более или менее крупных космических тел [4–8]. Можно предположить, что в истории формирования Земли имели место два периода «массовой бомбардировки» ее поверхности космическими телами. Первый из них соответствовал позднему этапу образования ядра – формированию расплавленного внешнего ядра, второй – времени завершения формирования верхней мантии и в результате дифференциации последней – образования астеносферы и коры. Не исключено, что второй период массового падения космических тел на Землю связан с пересечением орбитой Земли скоплений планетозималей несостоявшейся гипотетической планеты Фаэтон (4,3–4,5 млрд лет назад).

Таким образом, формирование Земли, в частности земной коры, в которой реализуются геологические процессы, происходило благодаря двум принципиально разным, но находящимся в диалектическом единстве источникам энергии: кинетической энергии падения космических тел на Землю и энергии распада радиоактивных элементов. Кинетическая энергия падения космических тел в определенные периоды формирования Земли была импульсом к дифференциации вещества и, в результате, к относительному обогащению отдельных ее зон радиоактивными элементами. Это обеспечивало дальнейшую дифференциацию вещества Земли и, в конечном счете, современную радиоактивность

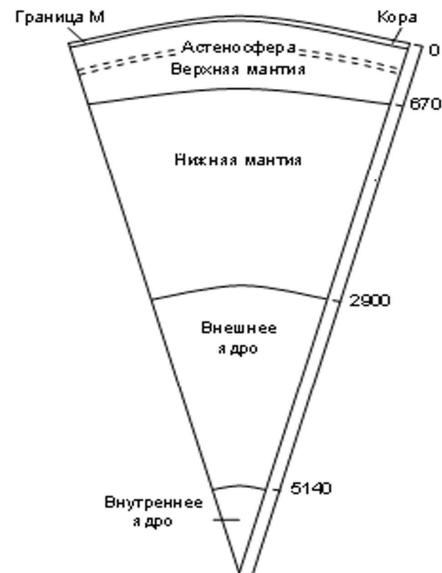


Схема глубинного строения Земли

внешних ее слоев, с которой, как справедливо подчеркивал В.И. Вернадский, связаны геологические явления.

1. *Вернадский В.И.* О геологических оболочках Земли как планеты // Изв. АН СССР. Сер. Геогр. и геофиз. – 1942. – № 6. – С. 251—262.
2. *Бербидж Дж.* Ядерная астрофизика. – М.: Мир, 1964. – 217 с.
3. *Пуцаровский Д.Ю., Пуцаровский Ю.М.* Состав и строение мантии Земли // Соросовский образовательный журн. – 1998. – № 11. – С. 111—119.
4. *Сафронов В.С.* Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет. – М.: Наука, 1969. – 244 с.
5. *Соботович Э.В.* Изотопная космохимия. – М.: Атомиздат, 1974. – 208 с.
6. *Соботович Э.В.* Изотопы свинца в геохимии и космохимии. – М.: Атомиздат, 1970. – 350 с.
7. *Рудник В.А., Соботович Э.В.* Космогеологические аспекты формирования Земли // Проблемы космохимии и метеоритики. – Киев: Наук. думка, 1971. – С. 51—117.
8. *Соботович Э.В., Рудник В.А.* Ранняя история Земли. – М.: Недра, 1984. – 349 с.

**Соботович Е.В.** ЩОДО ПРОБЛЕМИ РАДІОГЕННОЇ ТЕПЛОТИ ЗЕМЛІ

*Розглянуто механізм і джерла енергії утворення Землі та її геологічна будова.*

**Sobotovich E.V.** ON THE PROBLEM OF RADIOGENIC HEAT OF THE EARTH

*A mechanism and energy of formation of Earth sources and its geological structure is considered.*