

# **Владимир Иванович Вернадский: Учение о Биосфере и Астробиология**

***М.Я. Маров***

*Академик Российской Академии наук*

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской Академии наук*

Феномен выдающегося русского ученого Владимира Ивановича Вернадского принадлежит к числу замечательных явлений XX-го столетия. Природный талант и пытливый ум естествоиспытателя вместе с поистине энциклопедическими знаниями позволили ему коснуться в своей многогранной деятельности целого ряда научных направлений и оставить в них глубокий след, а переосмысление природных явлений и их философское обобщение - заложить основы новых разделов современного знания. Он внес громадный вклад в геохимию и изучение истории химических элементов земной коры, в минералогию и природный водообмен, в анализ сущности симметрии и времени. Им были заложены основы радиохимии, как одного из главных направлений развития атомной энергетики. Он впервые исследовал ключевую проблему тесной связи деятельности живых организмов и человека с геологическими процессами, что послужило основой его учения о биосфере. Ему принадлежат исследования по истории науки в ее ведущих отраслях и путей накопления научных знаний. Он был первым председателем Комиссии по истории знаний, созданной Академией наук в 1921 г. и преобразованной в 1932 г. в Институт истории естествознания и техники. Он был страстным публицистом, статьи которого выражали беспокойство и заботу об интересах страны и мира.

Мы коснемся здесь только одного аспекта из громадного наследия В.И. Вернадского - его учения о биосфере, науке, охватившей гигантскую ретроспективу эволюции Земли и в своей основе тесно связанную с ее космическим окружением. К этому направлению исследований, вышедшему далеко за пределы солнечной системы и получившему мощное развитие за последние десятилетия, непосредственно примыкает астробиология, охватывающая широкий круг актуальных проблем. Астробиология относится к самым фундаментальным разделам современного естествознания. Она напрямую связана как с биологией, так и с астрономией, поскольку изучает не только ключевые проблемы происхождения жизни, ее физико-химические основы и свойства, но и основополагающие представления о химической эволюции вещества и возможности зарождения жизни в различных условиях природной среды и на разных объектах во Вселенной. Громадный прогресс молекулярной биологии, генетики и биохимии, приведший к расшифровке генома, вместе с астрономией, астрофизикой и космическими исследованиями, сделавшими возможным детальное изучение тел солнечной системы, обнаружение внесолнечных планетных систем и понимание их генезиса, поставил это междисциплинарное направление исследований на новую научную основу. Чрезвычайно важно проследить при этом связь астробиологии с геохимией, миграцией химических элементов на планете и проблемой появления жизни, напрямую связанной, согласно В.И. Вернадскому, с зарождением биосферы. В более широком смысле можно говорить о взаимосвязи эволюции верхних оболочек планеты с введенным им понятием биогеохимии, а рассматривая эволюцию химических элементов в космическом пространстве – о космохимии (или астрохимии).

В главе «Геохимия и изучение вопросов жизни» (The Geochemistry and Study of Life), написанной в 1911 г. и являющейся частью его фундаментального труда «Пронизанная жизнью оболочка нашей планеты» (The Envelope of Our Planet Permeated by Life) Вернадский писал: «Научное знание все проникнуто построениями, которые вытекают из научного представления о человеке, живой природе, неразрывную часть которой человек составляет, и об окружающей его среде жизни, т.е. той части планеты, которую мы называем биосферой... Опираясь на это знание, человек научно идет дальше в чуждые ему области видимого Космоса или в недоступные глубокие части обитаемой им планеты. Это научное знание всегда не сравнимо ни по глубине, ни по разнообразию явлений с тем, что вскрывается человеку в изучении себя самого и своей среды жизни. Прогресс научного знания связан с ростом, не только количественным, картины Вселенной, но ее качественным изменением под влиянием того, что человек переносит в нее, уточняя методику эмпирического наблюдения и углубляя математический и логический анализ – в явления Космоса и в глубь планеты, - то знание, которое он построил из изучения себя, живого и родной ему биосферы». И далее: «Сейчас человек научно непосредственно знает только биосферу и в ней себя и живое – научно знает только тонкую внешнюю оболочку планеты, и с ней все знание связывает. И вверх, и вниз от нее области ему недоступны. Вверху космические явления отражаются в его органах чувств и в создании биосферы, которая является особой областью планеты, вызванной влиянием космических проявлений – сил, вне планеты находящихся. Биосфера – тот аппарат, на котором человек изучает Космос».

В этих словах заключен глубочайший смысл, определяющий многочисленные проблемы окружающего мира и его эволюции. Мы кратко обсудим эти проблемы, опираясь на основополагающие представления В.И. Вернадского о биосфере, как одной из геосфер нашей планеты и ключевой парадигме биогеохимических процессов в природной среде, и попытаемся с учетом этих подходов подойти к вопросам происхождения жизни с позиций современной астробиологии.

### **Биосфера В.И. Вернадского**

Вернадский сильно расширил и развил понятие биосферы и сам этот термин, впервые предложенный в 1802 г. французским ученым Ж.Б. Ламарком в книге «Гидрогеология» для обозначения совокупности живых организмов нашей планеты, приобрел у него гораздо более глубокий смысл. Он вышел далеко за пределы определения совокупности осадочных пород, образованных организмами, в каком его использовали в конце XIX в. также австрийский геолог Э. Зюсс в работе «О происхождении Альп» и немецкий геолог И. Вальтер, известный своими работами по литологии. Новое понимание этот термин приобрел после выхода в 1926 г. книги Вернадского «Биосфера», а наиболее полно учение о биосфере нашло свое отражение в вышедших уже после его смерти книгах «Химическое строение биосферы Земли и ее окружения» (1965 г.) и «Живое вещество» (1978г.) в которых собраны его размышления и работы, неопубликованные при жизни.

Вернадский определил границы биосферы, ее состав, энергетику и динамику. К биосфере он относил верхнюю часть литосферы до 2-3 км, в которой есть живые бактерии, гидросферу и нижнюю часть атмосферы. В ней он выделял два типа слагающего вещества: минерального, которое он называл косным, и живого. В то время как

морфология (химический состав и физическое состояние) косного вещества сохраняется в течение геологического времени неизменным, живое вещество и в целом, и в отдельных своих формах непрерывно изменяется в процессе эволюции биосферы, как целостной системы. Эту вторую, активную биосферную составляющую, он рассматривал в качестве носителя свободной энергии в геохимических процессах биосферы, а некоторые сохранившиеся в течение миллиарда лет неизменные формы однородного живого вещества (такие, как некоторые виды радиолярий, неизменные с альгонкской эры, или *Lingula* – с кембрийской) считал исключением. Он отрицал, вместе с тем, существование каких-либо особых зон между живой и неживой материей, выдвинув эмпирическое обобщение, согласно которому «между живыми и косными естественными телами биосферы нет переходов - граница между ними на всем протяжении геологической истории резкая и ясная... Вещество биосферы состоит из двух состояний, материально и энергетически различных – живого и косного».

Вернадский рассматривал биосферу и условия появления жизни на нашей планете как неразрывную составную часть определенного строения земной коры и степени ее организованности. Основой такой концепции он считал геологию и геохимию и накопленный этими науками огромный эмпирический материал. Геология сделала возможной научную постановку вопроса о начале биосферы, а геохимия позволила достоверно определить условия, необходимые для создания биосферы и появления жизни. По его определению, задачей геохимии является «изучение истории в пределах нашей планеты химических элементов», и этот новый раздел естественных наук сложился по существу благодаря трудам Вернадского. «Мы получаем новую прочную базу, - говорил он, - опирающуюся на огромный эмпирический материал геологии и геохимии. Геология позволяет сейчас научно ставить вопрос о начале биосферы, а геохимия научно точно определяет условия, каким должна удовлетворять жизнь для того, чтобы могла создаться биосфера». С возникновением биосферы связано, таким образом, геохимически обоснованное решение проблемы полифилитического происхождения основных таксонов - тесной взаимосвязи многообразных форм первичной жизни как целостного космопланетарного явления в масштабах биосферы.

Он полагал, что непрерывно идущая миграция атомов в коровом слое Земли является в значительной степени биогенной, т.е. вызывается геохимической энергией живого вещества (энергией жизни), связанной, в первую очередь, с процессами питания и дыхания живых организмов. Удивительным образом он пришел к заключению, что живое вещество меняет структуру косной материи, воздействуя на химические соединения и даже состояние атомов и приводя в термодинамических условиях биосферы к стабильному состоянию углерода в органических молекулах. Он считал, что живые организмы следует количественно характеризовать так же, как другие тела, в соответствие с их атомным составом, массой, энергией, что масса живого вещества и его средний химический состав в биосфере не меняются и не нарушаются эволюционным процессом. Такой подход к биогеохимической функции биосферы означает, что биогенные миграции атомов не меняются ни количественно, ни качественно, несмотря на резкое изменение в течение геологического времени морфологической структуры живого вещества. Вместе с тем, эволюция живых форм приводит к росту геохимической энергии и изменению в характере биосферы, особенно в связи с «вихрем биогенной миграции атомов» вследствие

роста цивилизации, ею вызываемой, однако без заметных нарушений закономерностей более мощного механизма земной коры.

Первоисточником энергии жизни служат солнечная и химическая энергия. Поглощение солнечной энергии фотоавтотрофами - единственным преобразователем солнечной энергии в химическое живое вещество, которое разносит ее по всей планете, - одна из важнейших функций живого вещества в биосфере. И это основной энергетический источник экзогенных геохимических и геологических процессов. Другими словами, живое вещество, трансформируя солнечное излучение, вовлекает неорганическую материю в непрерывный круговорот, и такое понимание служит центральной концепцией введенного Вернадским понятия биогеохимии. Сюда же он относил функции обмена веществ - дыхания, питания, создания массы тел организмов, их движений и производимой ими работы и еще более грандиозных деяний в масштабах человеческих сообществ. «Значение биогенной миграции в строении биосферы, - писал он, - чрезвычайно. Достаточно указать на то, что свободный кислород создается на нашей планете почти нацело геохимической энергией жизни - фотохимическими процессами растительного мира».

В его работах неоднократно подчеркивается биогенность газовых и водных масс и их связь с живым веществом, которое оказывает огромное влияние на химический состав атмосферы и гидросферы. «Живые вещества - писал он - определяют своей жизнью химию моря, в частности, состав морской воды, характер природных вод - пресных, озерных, части минеральных источников». Регулирование осуществляется как наземным живым веществом, определяющим химизм речных вод, впадающих в океан, так и живым веществом моря, производящим избирательное осаждение поступающих в океан химических элементов. Иными словами, биогенная миграция химических элементов на земной поверхности в биосфере осуществлялась при непосредственном участии живого вещества в течение всего геологического времени и ее проявление в массе вещества планеты, так же как явления жизни, должно расти в геометрической прогрессии.

Исходя из эмпирических обобщений геохимии, Вернадский выдвинул три положения, согласно которым существование биосферы и появление живой материи нераздельны. Биосферу он считал не случайным образованием, а «своеобразным закономерным механизмом», отдельные части которого связаны и взаимообусловлены и которому свойственна организованность. Организованность обусловлена биогенными циклами атомов химических элементов, причем обратимость характерна не для всех элементов - часть их постоянно выходит из кругооборота. Это положение чрезвычайно важно, поскольку исключает хаотичность и предполагает саморегуляцию биосферы, как парадигму возникновения самоорганизации в природной среде, наличие в ней упорядоченностей с исторически сложившимися формами переноса вещества и энергии. А значит, существует принципиальная возможность точного описания структуры живой природы и процессов взаимодействия в ней на основе математических моделей. Другое важное положение - это понимание совокупности всех организмов, образующих жизнь, как неразрывной части данного механизма, пронизывающего всю биосферу. Наконец, можно говорить об устойчивости и постоянстве в основных чертах структуры и механизма взаимодействий, лежащих в основе биосферы, как устойчивой и равновесной

динамической системы в течение миллиардов лет с самого своего начала (с археозоя), подобно устойчивости и неизменности конфигурации солнечной системы (рис.1). По существу, отсутствие перестройки биосферы в течение всего геологического времени отражает «научное понимание неизменности и устойчивости всех природных процессов».



Fig. 1. Schematic view of the Solar system and planetary nebula to be left behind after the Sun (a G2 star with the lifetime  $\sim 10$  Gyr) will exhaust its nuclear fuel in  $\sim 5$  Gyr from now. According to EAA (2002)

Условием устойчивости биосферы и одновременно основой жизни, как биосферного процесса, являются замкнутые биотические циклы, важным компонентом которых являются пищевые (трофические) взаимодействия. С ними связаны процессы роста биомассы организмов, ассимиляции веществ и энергообмена, дифференциации/миграции химических элементов, синтеза и разрушения органических соединений на всех этапах трофического цикла в биоценозах. Бактерии и растения ранней биосферы (аутотрофы) потребляли углерод из углекислоты атмосферы и не обладали аппаратом для фиксации азота и фотосинтеза, а также не имели ферментных систем, служащих источником энергии за счет гидролитического расщепления внутренних структур. Эти процессы возникли позднее в ходе эволюции, и современный животный мир (гетеротрофы), обладающий чрезвычайно сложной организацией, потребляет большой комплекс органических и неорганических веществ. По существу трофические связи лимитируют распределение и численность популяции того или иного вида и его эволюционную судьбу.

Вернадский оценил биомассу в биосфере величиной от 1 до 10 тысяч триллионов тонн, полагая, что она изменялась в процессе биологической эволюции вместе с формами жизни, начиная от ничтожной массы сине-зеленых водорослей и первых наземных растений девонского периода около 330 млн. лет назад до сильно увеличившейся массы болотных лесов каменноугольного периода и вплоть до новейшей истории. Он изучил геохимическую энергию живого вещества, исходя из количественных закономерностей его распространения в биосфере и размножения различных групп организмов. Сопоставляя энергетический баланс Земли с другими планетами солнечной системы, Вернадский выделял биосферу, как область превращения солнечной электромагнитной энергии в минеральное сырье (которое называл твердыми растворами) в виде залежей бурых и каменных углей, горючих сланцев, нефти и газа, - в коре выветривания и вне биосферы неизвестных. Он оценил величину энергии этих горючих соединений как живого вещества Земли, обусловленного только растительностью континентов, порядка

$10^{18} - 10^{19}$  ккал. «Мы, – писал Вернадский, – имеем здесь дело с новым процессом – с медленным проникновением внутрь планеты лучистой энергии Солнца, достигшей поверхности Земли. Этим путем живое вещество меняет биосферу и земную кору. Оно непрерывно оставляет в ней часть прошедших через него химических элементов, создавая огромные толщи неведомых помимо его вадозных<sup>1</sup> минералов или пронизывая тончайшей пылью своих остатков косную материю биосферы». Он рассматривал слоистую часть земной коры (осадочную оболочку Земли), как остаток былых биосфер, считая, что даже гранитно-гнейсовый слой образовался в результате метаморфизма и переплавления пород, некогда возникших под влиянием живого вещества. Другими словами, только базальты и другие основные магматические породы являются глубинными, не связанными по своему происхождению с биосферой. Поскольку на Луне и Венере не было жизни, там не обнаружены породы, аналогичные гранитам, а лишь основные магматические породы.

Таким образом, биосфера Вернадского – это глобальная экосистема, в которой связи между газовой, жидкой и твердой оболочками регулируются живым веществом и ее основные свойства – результат их деятельности. Поэтому жизнь – это планетарная константа Земли, теснейшим образом связанная со строением и функционированием этих оболочек. «Жизнь не является... внешним случайным явлением на земной поверхности, – говорил он... Никогда в течение всего геологического времени не наблюдались азойные<sup>2</sup> геологические эпохи».

### **О происхождении жизни**

Как видим, сам факт наличия живого вещества на Земле был отправным для Вернадского при создании его учения о биосфере, которую буквально пронизывает все живое, и условиях, при которых стало возможным появление этого вещества на нашей планете, хотя сама интригующая проблема возникновения жизни остается до сих пор нерешенной.

В своем докладе «Об условиях появления жизни на Земле» в Ленинградском обществе естествоиспытателей и в Академии наук СССР в 1931г. Вернадский говорил: «Условия появления жизни на нашей планете должны быть поставлены в реальную обстановку. В реальной обстановке жизнь нам известна только как неразрывная составная часть определенного строения земной коры. Такой формой организованности является одна из геосфер нашей планеты – биосфера. Условия, определяющие первое появление жизни на Земле, те же, которые определяют создание или начало биосферы на нашей планете. Научно вопрос о начале жизни на Земле сводится, таким образом, к вопросу о начале в ней биосферы... Организм, удаленный из биосферы, есть не реальное, есть отвлеченное логическое построение...». Иначе говоря, жизнь может появиться только

---

<sup>1</sup> Минералы, обогащенные марганцем (вады). Вернадский придавал огромное значение роли живого вещества и воды в его концентрации в поверхностной земной оболочке. В геохимической истории марганца огромное значение имеют биохимические реакции, связанные с бактериями, особенно автотрофными бактериями, источником существования которых является химическая энергия (энергия окисления), способными накапливать марганец в количестве до 7%. Более развитые организмы (например, некоторые водные растения, лишайники, некоторые грибы) концентрируют марганец до уровня 1%.

<sup>2</sup> лишенные жизни

при определенных физико-химических условиях, а условия, определившие появление жизни на Земле, привели к возникновению биосферы.

Для жизни необходима жидкая вода, наличие биогенных элементов и доступные источники свободной энергии. К фундаментальным свойствам жизни, отличающим живую материю от неживой, относятся потребление энергии и природных веществ, репликация (воспроизводство), выделение отходов, активный биоминеральный обмен и эволюция (рис. 2). Основной вопрос, который мы адресуем, говоря о зарождении жизни, – как начался процесс перехода от предбиотической химии к возникновению процессов метаболизма, репликации и передаче генетической информации, поскольку жизнь в современном понимании следует определять как функциональную систему, способную перерабатывать и передавать информацию на молекулярном уровне.

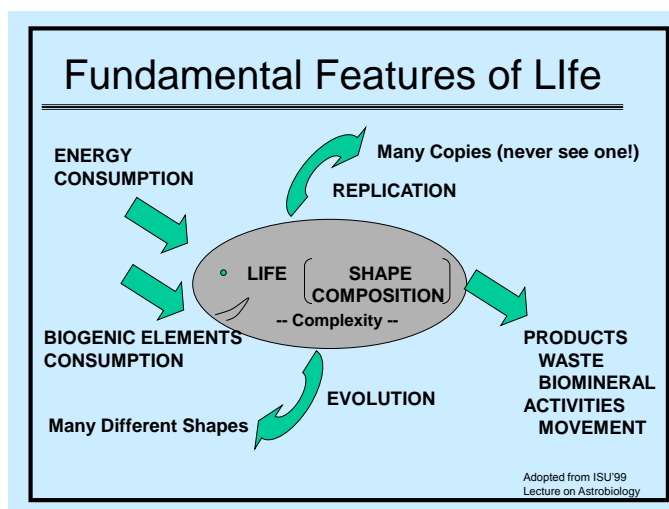


Fig. 2. Схематическое изображение основных свойств жизни. Credit: ISU

Основным необходимым условием возникновения жизни Вернадский считал появление в биосфере крайне разнообразной геохимической функции, представленной совокупностью многих видов, разных морфологических классов организмов и обеспечивающей циклические процессы массообмена. «Говоря о появлении на нашей планете жизни, мы в действительности говорим только об образовании на ней биосферы» - писал Вернадский. Он сформулировал несколько важных биогеохимических принципов, согласно которым биогенная миграция атомов химических элементов в биосфере растет в ходе создания устойчивых форм жизни, стремясь к своему максимальному проявлению, и в этом же направлении идет эволюция видов. В течение всего геологического времени, с криптозооя, заселение планеты должно было быть максимально возможным для живого вещества и никогда в течение всего геологического времени не наблюдались лишённые жизни геологические эпохи. Отсюда – генетическая связь современного живого вещества с живым веществом прошедших геологических эпох, которая перманентна. Хотя коренного изменения в геохимическом влиянии живого вещества на окружающую среду не было, это не означает, однако, отсутствия эволюционного процесса.

Биогеохимические функции биосферы, лежащие в основе жизни, были по его представлению неизменными, существовавшими непрерывно в течение всего геологического времени. К биогеохимическим функциям он относил газообмен с участием  $N_2-O_2-CO_2-CH_4-H_2-NH_3-H_2S$ , который поддерживается всеми организмами; кислородную функцию, обусловленную хлорофильными растениями (фотосинтезом); окислительную и восстановительную функции, обеспечиваемые, в основном, бактериями, в том числе автотрофными; кальциевую функцию, осуществляемую, помимо бактерий, также водорослями, мхами, морскими организмами; концентрационную функцию за счет одноклеточных и многоклеточных организмов. Биогеохимические функции ответственны также за разрушение органических соединений бактериями и грибами, за метаболизм и дыхание. Основой биогеохимической энергии живого вещества он считал, прежде всего, размножение организмов, обусловленное «их неуклонным, определяемым энергетикой планеты, стремлением достигнуть минимума свободной энергии», в соответствие с основными законами термодинамики, отвечающими условиям существования и устойчивости планеты.

Рассматривая жизнь как планетарное явление, а все живые организмы - как неразрывную закономерную часть биосферы, Вернадский полагал, что жизнь определяет химизм, миграцию и дифференциацию химических элементов, Он считал, что живое вещество охватывает и регулирует в области биосферы все или почти все химические элементы и что главную роль в этих процессах играют микроорганизмы. «Это самая мощная биогенная планетарная геологическая сила, самое мощное проявление живого вещества», - писал он. И далее: «жизнь состоит в значительной мере в извлечении из окружающей среды определенных химических элементов, проведении их через соединения или жидкости организма и их выделении вновь в окружающую среду, нередко в виде новых соединений». За счет биогенной миграции химических элементов, осуществляемой живыми организмами и определяемой различиями их потребностей в том или ином элементе, в биосфере изменяются атомные соотношения Ca/Mg, K/Na и др.

Согласно Вернадскому, живое вещество осуществляет дифференциацию не только химических элементов, но и отдельных изотопов, что подтверждено экспериментально для легколетучих - кислорода, азота, водорода, серы. При этом организмы, как правило, избирательно поглощают преимущественно легкие изотопы элементов. Исследуя химический состав живого вещества, он выделил четыре группы организмов по их способности концентрировать те или иные элементы. Совместное нахождение химических элементов в организме и в земной коре он называл *органогенным парагенезисом*, так как оно вызвано не химическими свойствами элементов, а свойствами организмов. Эти парагенетические ассоциации элементов, созданные живым веществом, наследуются в разной форме биогенной составляющей земной коры.

Большое внимание уделял Вернадский вопросу о том, что послужило источником появления жизни на Земле. Теория возникновения живых существ из вещества неорганической природы (абиогенез) противоположна биогенезу – теории «вечности жизни», основой которой служит принцип *omne vivum ex vivo* – все живое происходит от живого. Этот принцип был установлен эмпирически в 1668 г. итальянским ученым Ф. Реди, который показал, что личинки мух в гниющем мясе появляются только из



отложенных мухами яиц. Его подтвердил в XVIII веке итальянский ученый Л. Спалланцани, который установил, что в прокипяченных бульонах микроорганизмы не развиваются. Окончательное доказательство было получено в 1861 г. французским ученым Л. Пастером, опыты которого, как и сам принцип Реди, не отрицают, вообще говоря, возможности абиогенеза в прежние геологические эпохи, как особую форму материи, приобретаемую на определенных этапах ее развития, а лишь указывают пределы, в которых абиогенез отсутствует. Не противоречат они и космогенной гипотезе появления жизни (панспермии), предложенной в конце XIX века С. Аррениусом.

Высоко оценивая принцип Реди, Вернадский глубоко изучал, вместе с тем, проблемы абиогенеза. Он считал противоречащими точному знанию представления о начале жизни на Земле, не связанные с ее геологическим строением и ее историей. Это относится как к возможности заноса живой материи на нашу планету извне, из космического пространства, так и к возможности образования жизни из косной материи в геологически древний период земной истории путем «самопроизвольного зарождения» - той или иной формы абиогенеза, когда природные условия сильно отличались от современных. В первом случае можно было бы предположить, что «жизнь есть такая же вечная черта строения космоса, какой является атом и его совокупности» (и потому такой процесс мог бы продолжаться и сейчас) и что условия ее возникновения в космической среде связаны с процессами, в земной природе отсутствующими, но живые организмы, попавшие на Землю, нашли здесь благоприятную почву и могли на ней удержаться. Во втором случае предполагается, что на поверхности ранней Земли существовали физико-химические явления, условия и состояния, благоприятные и необходимые для абиогенеза. Вероятно, возникшие первичные примитивные организмы потребляли основные органические вещества в виде мономеров из небиологических источников, подобно тому, как это происходит сейчас в глубинной биосфере Земли.

По его представлениям уже в раннем археозое на основе первичных разнообразных высокомолекулярных белковых и нуклеотидных соединений могли возникнуть миллионы открытых систем, способных в течение определенного времени сохранять состояние динамического равновесия. Высокая степень внутренней организации некоторых из этих систем обеспечила возникновение и поддержание процессов метаболизма и простейшей репликации, что послужило основой зарождающейся биосферы. В свою очередь, образование биосферы положило начало процессу эволюции, созданию «морфологически различных наследственных рядов», причем «эволюционный процесс, какую бы форму его мы ни взяли, всегда идет уже внутри биосферы, т.е. в живой природе и не может быть изменений форм организмов вне живой природы». В теснейшей связи с эволюцией живых форм меняется физико-химическое состояние биосферы, как и ее лик: в докембрии - это появление известковых водорослей, в кембрии - скелетных организмов, в антропогене - человека. Эволюция видов переходит в эволюцию биосферы, при этом геохимическую энергию организмов следует рассматривать как эффект воздействия данного вида на окружающую среду.

Изучая особенности пространства, занятого жизнью, Вернадский уделял много внимания проблеме диссимметрии, характеризуемой, в отличие от классической симметрии, преобладанием левого или правого антипода. Это явление, открытое Л.

Пастером, и обоснованное П. Кюри, свойственно исключительно живым организмам и отсутствует в неживой природе. Было обнаружено наличие правого вращения плоскости поляризации света соединениями, сосредоточенными в яйце или в семени, и в образовании правосторонней ориентации при их кристаллизации, а также в усваивании (поедании) организмами правых антиподов и избегании левых. Вернадский рассматривал диссимметрию как мощный фактор избирательности и устойчивости жизни и считал, что ее зарождение из косной материи - абиогенез могло произойти только в такой своеобразной среде на самой Земле, без участия космического фактора. Он утверждал, что с помощью изучения этого явления мы проникаем в свойства окружающего нас мира более глубоко и по-новому, чем это делает физика. Сейчас это фундаментальное свойство жизни, заключающееся в однонаправленной ориентировке биологических молекул (L-аминокислот и D-сахаров) известно как хиральность.

В своих суждениях о рождении жизни и начальных этапах биосферы Вернадский стремился, прежде всего, объяснить резко неоднородную структуру пространства биосферы, глубокое физическое отличие участков биосферы, занятых живыми организмами, от ее частей, занятых косной материей. Исходя из этой концепции, он не допускал возможности возникновения жизни в изолированных условиях, в частности, локальных процессов абиогенеза или заноса морфологически единообразных организмов (например, бактерий или водорослей), из которых в дальнейшем эволюционным путем зародились миллионы видов растений и животных. По его мнению, «должен был одновременно появиться сложный комплекс живых форм, развернувшийся затем в современную живую природу». В своих ранних работах он выражал сомнение в том, что «все разнообразие организмов, сложное живое вещество могло путем эволюции вырасти из немногих одноклеточных организмов, поселившихся на земной поверхности из космического пространства». В дальнейшем он не исключал, однако, возможности космогенного источника живой материи, ее простейших форм, занесенных на Землю в самый ранний период ее эволюции. Мы находим у него по этому поводу следующее высказывание: «Возможность полного осуществления всех геохимических функций организмов в биосфере одноклеточными организмами делает вероятным, что таково было первое появление жизни. Ибо мы можем сейчас уже проследить создание эволюционным путем более сложных организмов из более простых предков». Подчеркнем еще раз, что в этом проявляется организованность биосферы через ее биогеохимические функции. Наряду с этим Вернадский говорил о *направленности*, как характерной черте эволюционного процесса жизни в биосфере, которая «теснейшим образом связана с основным отличием, отделяющим живое вещество от косной материи, и отвечает совершенно особым проявлениям в биосфере энергетического эффекта хода жизни во времени». В этом мы можем усмотреть прямую связь с необратимой термодинамикой в рамках пригожинской «стрелы времени».

В вопросе о том, в какой момент на сформировавшейся Земле зародилась жизнь, нет единого мнения. Вернадский исходил из представлений о том, что первичные очаги жизни и биосфера возникли в самую раннюю геологическую эпоху, что предбиологическая эволюция происходила очень быстро и «поле жизни» оставалось со времени архейской эры в целом неизменным, на что указывает характер и парагенезис минералов, образующих биосферу. Очевидно, ее самый ранний этап включал в себя абиогенный

синтез органических соединений и матричный синтез органических макромолекул, за которым последовало формирование свойств метаболизма, аппарата репликации и развитие прокариотов. Вернадский считал вполне закономерным абиогенное появление многообразных живых форм из неорганических веществ, представленных совокупностью многих видов, морфологически принадлежащих к разным резко разделенным классам организмов. Это означает, что должны были сразу появиться биоценозы, хотя последующий эволюционный процесс был длительным.

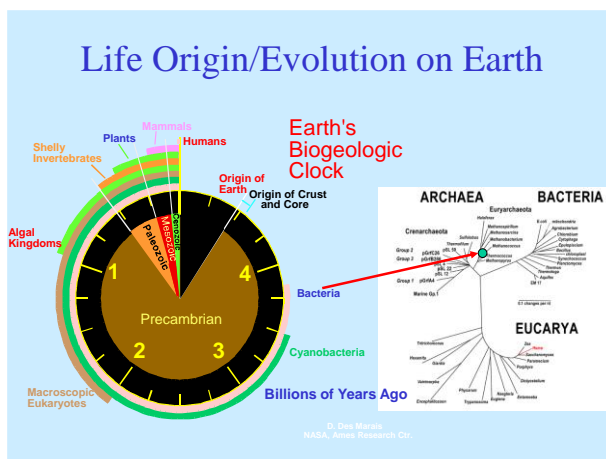


Fig 3. Эволюция жизни на Земле («Биологические часы Земли»). Credit: D. Des Martis. NASA Ames Reserch Ctr.

Вслед за Вернадским, ряд исследователей предполагает, что простейшие организмы - эобионты появились на Земле 4,25 млрд. лет тому назад, а возникновение механизма фотосинтеза у прокариотных протобионтов относят к периоду 4-3,5 млрд. лет тому назад. Это означает, что биосфера, населенная эобионтами, могла образоваться ~ 4 млрд. лет тому назад и в процессе эволюции на протяжении последующих миллиардов лет происходили процессы формирования лика Земли, в которых возникшей жизни и биогенной миграции атомов принадлежала ключевая роль (рис. 3).

Как видим, геохимический подход к изучению явлений жизни позволяет лучше понять особенности ее появления и воздействия организмов на окружающую среду, а также сформулировать условия, которые должны существовать при появлении жизни. Это, в свою очередь, накладывает ограничения на модельные представления о формах проявления как абиогенеза, так и космического заноса жизни. В любом случае, должны были измениться структура и свойства пространства, занятого жизнью (биосферы, отличной от других геосфер), и появиться особые разнородные биогеохимические функции, обусловленные живыми организмами, единого и неразрывного комплекса организмов, представленного многочисленными морфологически различными формами, вызывающими сложность жизни.

### Связь с астробиологией

Прошедшие десятилетия сохранили в полной мере основополагающие идеи В.И. Вернадского о биосфере и ее неразрывной связи с происхождением и эволюцией жизни. В подходах к решению сложнейшей проблемы происхождения жизни, были достигнуты впечатляющие результаты. Одновременно пришло осознание того, что саму проблему

феномена жизни нельзя рассматривать изолированно, вне связи с многочисленными факторами, существующими в космосе, что подкрепило концепцию Вернадского об эволюции Земли, как совокупности космических, геологических и биогенных процессов. Так появилась астробиология, в рамках которой ищутся такие взаимосвязи и предпринимаются попытки понять феномен жизни, как она возникла на нашей планете, и вместе с тем обнаружить признаки жизни в солнечной системе и за ее пределами.

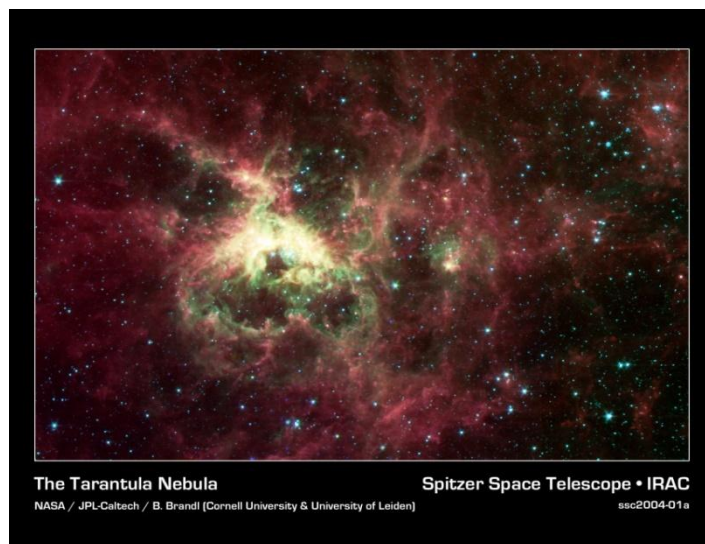


Fig. 4. Пример молекулярного облака (Tarantula Nebula), в котором происходят процессы звездообразования. Изображение, полученное космическим телескопом Spitzer, NASA courtesy

Важным аспектом проблемы происхождения жизни является химическая эволюция вещества в космосе, изучаемая упомянутой нами выше астрохимией. В межзвёздной среде активно происходит органический синтез, и этот процесс занимает всего не более тысячи лет. Особенно эффективно протекает синтез в межзвёздных газопылевых молекулярных облаках (рис. 4), где этому способствуют турбулентность и испарение частиц в облаке. В молекулярных облаках найдено свыше 200 достаточно сложных органических молекул, в том числе большое количество углеводородов (составных частей полициклических ароматических углеводородов ПАУ), из которых простейшим является бензол. Около 70 аминокислот было обнаружено в метеоритах Марчисон и Мюррей, что благоприятствует модели внеземного происхождения предшественников биомолекул.

Обсуждая вопросы возникновения и поиска жизни, мы, естественно, опираемся, в первую очередь, на биологический механизм земной жизни. Конечно, первостепенное значение имеют природные условия на планете, необходимые для предбиологической эволюции и зарождения жизни, на что Вернадский специально обращал внимание. Известная нам жизнь способна существовать лишь в весьма ограниченном диапазоне природных условий. Иными словами, изначально накладываются достаточно жесткие ограничения на механические и термодинамические параметры небесного тела, на котором может возникнуть жизнь. Планета, пригодная для обитания, должна отвечать вполне определенным критериям, к которым относятся: размер и масса, поскольку большая планета аккрецирует материал, превращаясь в газовый гигант, а малая теряет атмосферу; температура и давление, обеспечивающие наличие жидкой воды, которая

отсутствует на очень холодной или очень горячей планете; наличие атмосферы и ее благоприятный химический состав, исключающий агрессивные примеси; радиальное

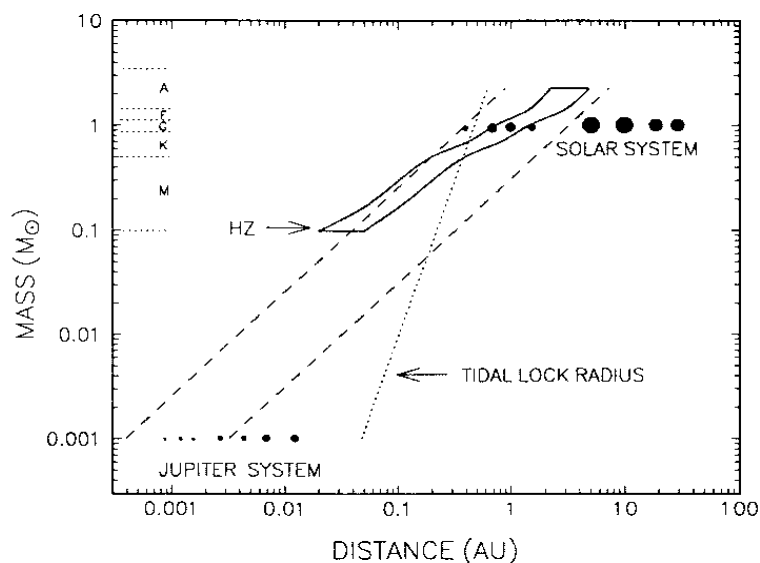


Fig 5. Зона обитания на планетах в окрестности родительской звезды (выделенная область HZ). По вертикальной оси – спектральный класс и масса звезды относительно массы Солнца, по горизонтальной оси - расстояние (в а.е.). Пунктирные кривые – предельные ограничения для планет в зависимости от класса звезды и радиального расстояния, точечная кривая – зона захвата в приливный резонанс. Теоретически в пределах HZ находятся три планеты Солнечной системы – Земля, Венера, Марс.

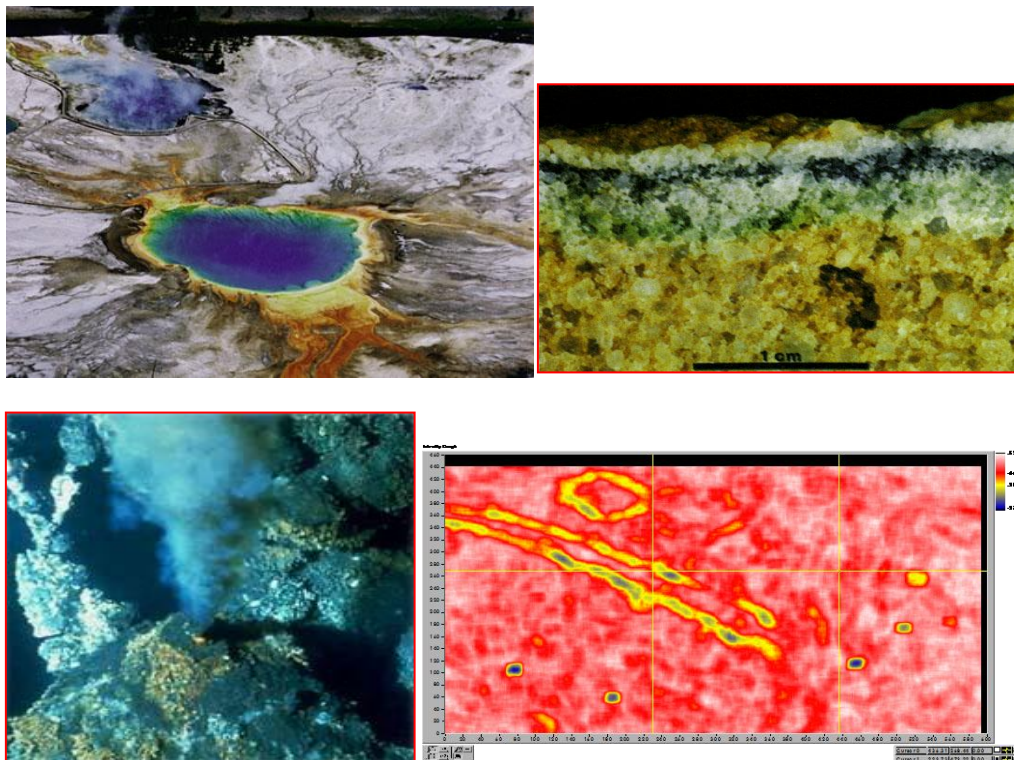


Fig 6. Life is hardy. Microbial life (extremophiles) can make a living near undersea volcanic vents, in deep underground aquifers(upper left), within rocks (upper right) or in hot (~120 C) acid lakes (bottom left) . Cyanobacteria Fossils –Visible, 650 Million Years Old (Bottom right)

Existence of these bacteria suggests that life needs only water, a source of energy, and cosmically abundant elements. Credit: NOAA and ISU.

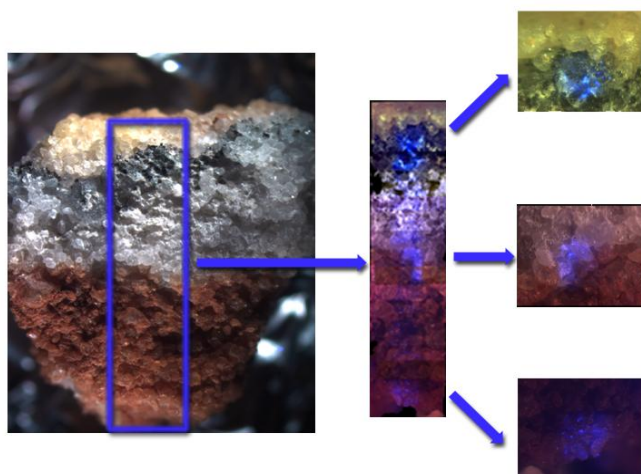


Fig 7. Antarctic Dry Valleys cryptoendolithic community (Visible and Deep UV (224 nm) Images). Credit: Center for Life Detection, JPL/CIT

расстояние, в пределах которого возможны благоприятные климатические условия; ограниченная зона расположения относительно родительской звезды, поскольку близкая планета захватывается в приливный резонанс (рис. 5). Между тем, опираясь на наш земной опыт, следует иметь в виду и ряд благоприятных обстоятельств для возникновения, поддержания и обнаружения жизни. Действительно, метаболически (дыхание, питание) жизнь обладает большим разнообразием и приспособляемостью, живые организмы способны выдерживать крайне суровые условия окружающей среды (значительный диапазон температур, низкие pH), а необходимые для жизни ингредиенты широко распространены (см. рис 6,7). Не случайно Вернадский, на существовавшем в его время уровне знаний, предполагал, что жизнь существует на Венере, Марсе и даже на Юпитере и Сатурне.

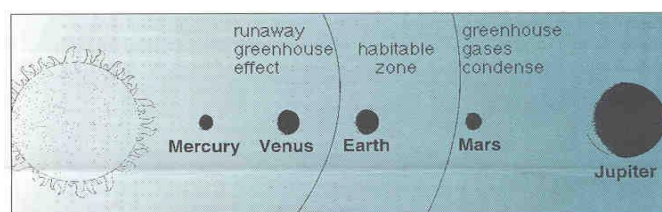


Fig 8. Реальная зона обитания в окрестности Земли.

Сейчас мы знаем, что в пределах солнечной системы зона обитания, внутри которой планета теоретически может поддерживать климат, благоприятный для зарождения и существования жизни, находится вблизи орбиты Земли, далеко не доходя до орбиты Венеры и лишь приближаясь к орбите Марса (рис. 8). К сожалению, мы не можем пока ответить на вопрос о том, что выделило Землю среди других планет солнечной системы и сделало возможным появление биосферы. На Венере (рис 9) такую возможность исключает необратимый парниковый эффект, повысивший ее температуру у поверхности до 475С и давление до 90 атм. В то же время есть основания считать, что на Марсе в

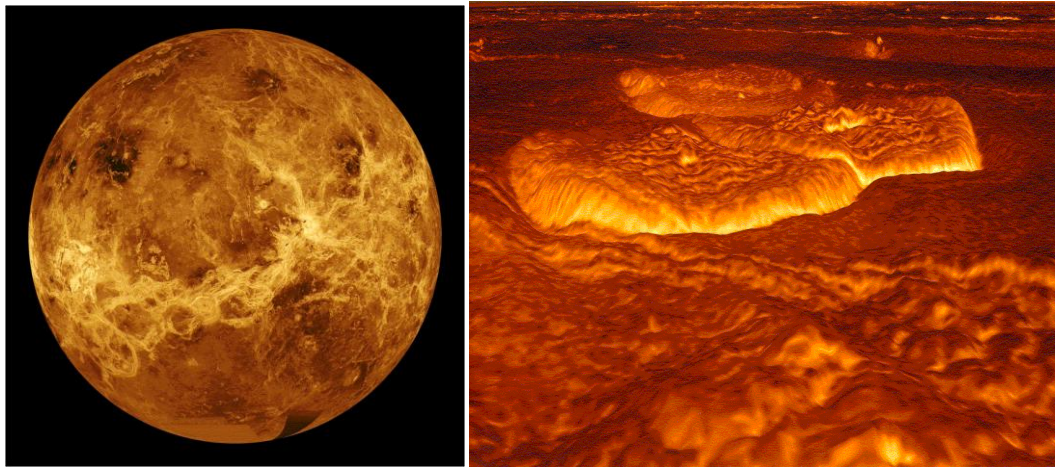


Fig. 9. Images of Venus. The surface of Venus can be seen only in the radio wavelength for which the thick atmosphere and clouds are transparent. Radio mapping has revealed many relief features and peculiarities of the Venusian surface. Left: Mosaic of images of the Venus surface returned by the Magellan spacecraft; more or less ordered structures can be distinguished in the chaotic pattern of the relief. Right: Evidence of volcanic activity. An image of the surface outpouring of volcanic lava ("pancakes") in perspective projection from the radar mapping of Venus from the Magellan spacecraft. Courtesy of NASA.

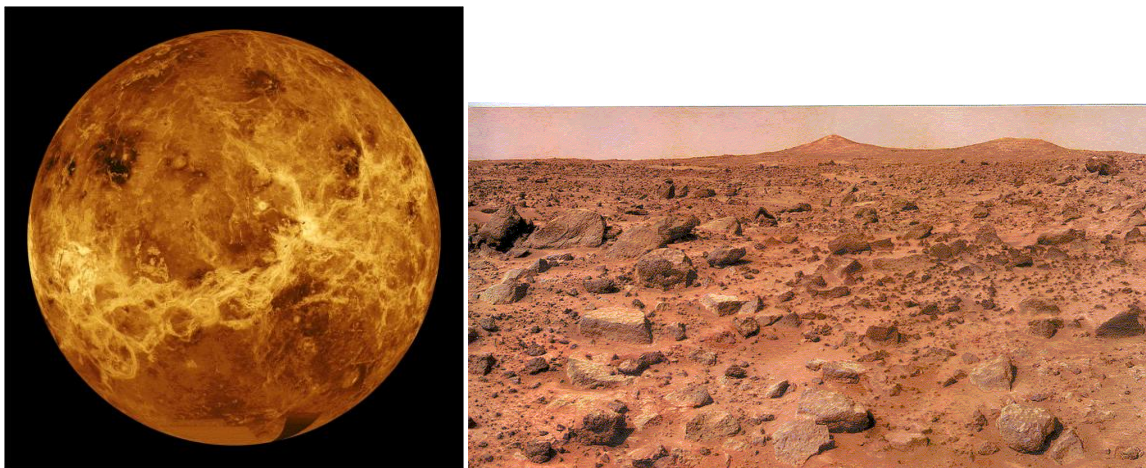


Fig. 10. Images of Mars from spacecraft. Left: Image of the Martian surface. Clouds above the huge shield volcanoes in the Tharsis region, relief of the Northern polar region, and Valles Marineris rift zone extending for more than 3000 km nearly along the equator having width of more than 100 km, and depth up to 8 km, are distinguished in this image. Right: Panorama of the Martian surface at the Pathfinder spacecraft landing site. Courtesy of NASA.

раннюю ноахийскую (Noachian) эпоху существовали благоприятные климатические условия с водными океанами, при которых могла возникнуть жизнь. Климат катастрофически изменился примерно 3,6 млрд. лет тому назад, оставив безводную пустынную поверхность и разреженную атмосферу (рис 10), но следы примитивной марсианской жизни могли сохраниться. Не исключается возможность существования жизни в предполагаемых водных океанах под ледяной поверхностью галилеевых спутников Юпитера Европы и Ганимеда (рис 11). Большой интерес вызывает проблема эволюции органического вещества на Титане (рис. 12). В последнее время все большее внимание исследователей привлекают экзопланеты, прежде всего, уже обнаруженные

планеты земного типа у других звезд, и перспектива найти на них жизнь, тем более, что воздействие жизни на природную среду весьма заметно и поддается, вообще говоря, обнаружению извне.

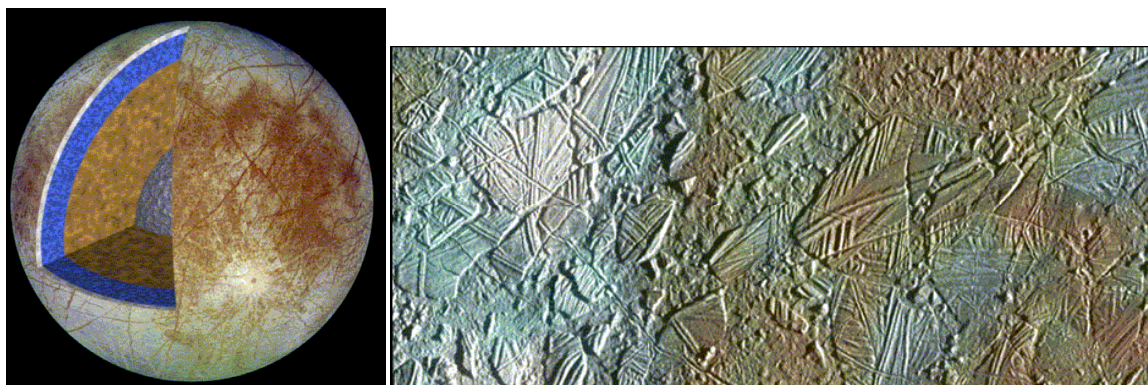


Fig. 11. Left: Jupiter's Galilean satellite Europa. The surface is crisscrossed by ridges, troughs, and faults whose relief does not exceed several hundred meters in height. The absence of craters is indicative of a young surface. The present-day model of Europa's internal structure assumes there is a water ocean ~50 -100 km in depth under a relatively thin ice crust ~10 -15 km in thickness and a silicate mantle and a core composed of rocks lie below it. An image of the surface from the Galileo spacecraft. Right: A 70 km x 30 km area of Europa's surface (the Conamara region). The colors are enhanced to emphasize the relief features; the Sun is on the right. The white and blue regions correspond to a fresh surface partially covered with dust, while the brown ones probably owe their origin to mineral deposits. The areas ~ 10 km in size bear the traces of displacements of the upper ice crust layer, which can be associated with the presence of water or soft ice at a comparatively small depth. An image from the Galileo spacecraft. Courtesy of NASA.

Среди астрономических аспектов происхождения жизни внимания заслуживает связь биохимической эволюции вещества с космическими факторами. Как обсуждалось выше, в своих работах Вернадский неоднократно обращался к проблеме выбора между альтернативными моделями зарождения жизни и биосферы: непосредственно на Земле или с участием внешнего космогенного источника. Опираясь на современные представления о важной роли транспорта вещества и миграционно-столкновительных процессов в солнечной системе, ключевую роль в которых играют кометы и астероиды углисто-хондритового состава, эти малые тела следует рассматривать как вероятные переносчики предбиотического или даже биотического вещества из Главного пояса астероидов, транснептунового пояса Койпера и облака Оорта (рис 13). Углистые хондриты дают ключ к отысканию источников внеземного органического вещества: в них содержится химически связанная вода и, вероятно, их родительские тела (гидросиликаты) образовывались в водной среде. Соотношение углерода в кометах и углистых хондритах 10:1 (углистые хондриты недополучили углерод), но летучая органика метеоритов могла быть потеряна на более поздних стадиях при соударениях астероидов. Учитывая ключевую роль воды в зарождении жизни, важно отметить, что за счет кометно-астероидной бомбардировки Земля могла получить значительный приток летучих, в том числе количество воды, сопоставимое с объемом земных океанов.



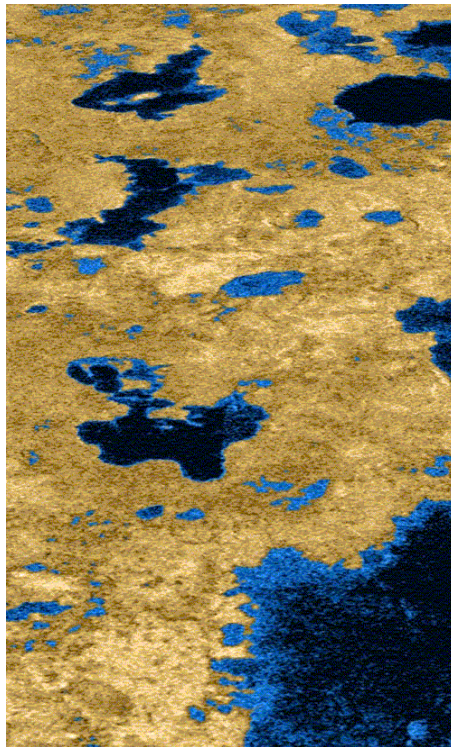


Fig. 12. The surface of Saturn's satellite Titan. The dark spots on the lighter surface composed of water and hydrocarbon ices are associated with methane lakes, which corroborates the hypothesis about the existence of a methane cycle between the surface and the atmosphere. Two bands on the right are original images. The colors in the left image are distorted to emphasize the contrast of features. The images were obtained by the Huygens lander (ESA courtesy).

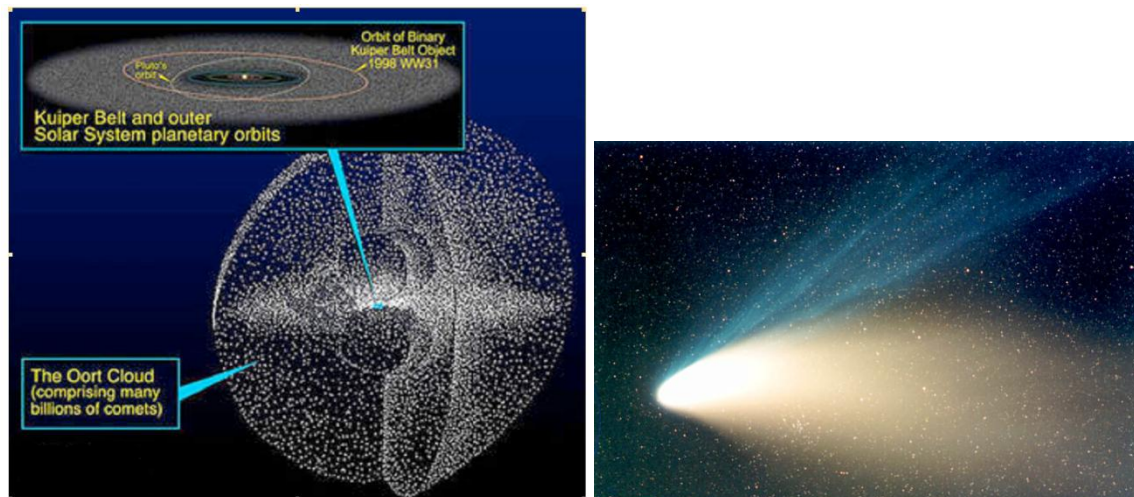


Fig. 13. Left: The Oort cloud and the Kuiper Belt. The Kuiper Belt located at the outskirts of our planetary system (40 – 100 AU) lies deep inside the Oort cloud whose outer boundary is at a distance of  $10^4 - 10^5$  AU. Right: Image of Hale-Bopp comet during its encounter with the Sun. A small nucleus (~10 km) is hidden deep inside a bright region – coma (cometary atmosphere) tens of thousands of kilometers across produced by the sublimation of gas and dust from the icy surface of the nucleus. Extended type I and II tails are clearly seen. NASA Courtesy

Конечно, первостепенный интерес представляет вопрос о том, как же возникла жизнь. Говоря о происхождении жизни, мы имеем дело не только с проблемой

образования цепочек нуклеотидов и аминокислот (нуклеиновых кислот и пептидов), служащих, соответственно, информационной (ДНК и РНК) и функциональной (протеины) основами жизни, но и с проблемой образования начальной экосистемы. Среди разнообразных концептуальных подходов к проблеме происхождения жизни наибольшего внимания заслуживают, на наш взгляд, как наиболее обоснованные, гипотезы древнего мира РНК и последовательного упорядочения, развиваемые коллегами автора А.С. Спириным и Э.М. Галимовым, соответственно. В каждой из них ключевое значение имеют процессы биохимической эволюции. Что касается дарвинизма, то ему принадлежит важная роль на этапах биологической эволюции, но не на ранних этапах становления жизни и развития молекулярных механизмов организации биологических систем. С этих позиций молекулярная генетика, биохимия и дарвинизм являются взаимодополняющими, лежащими в основе современной теории эволюции.

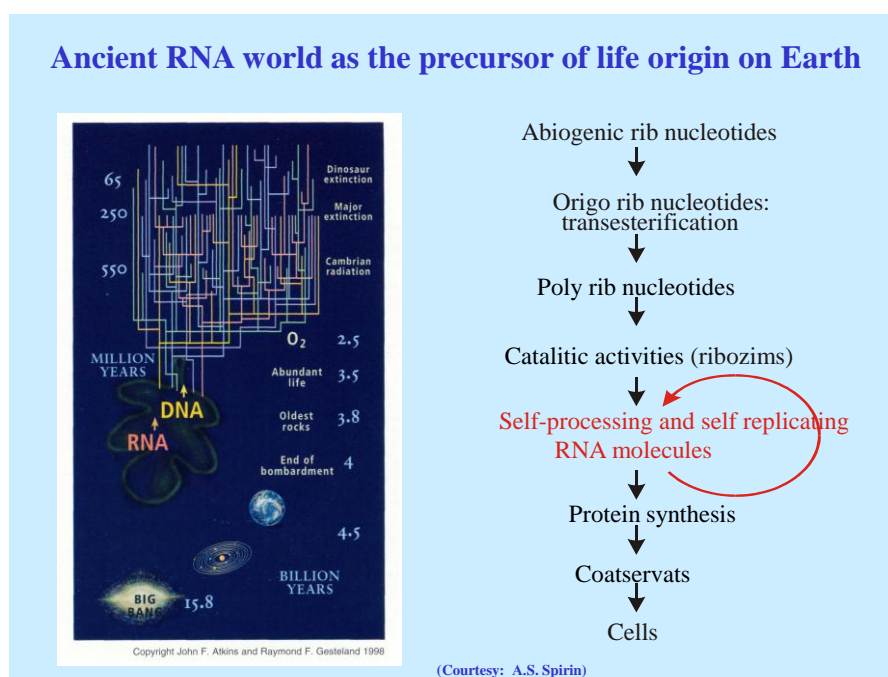


Fig. 14. Слева- хронология событий в процессе эволюции биосферы. Справа - схема эволюции жизни в рамках концепции древнего мира РНК. Credit: J.F. Atkins and R.F. Gesteland; A.S. Spirin.

Аргументами в пользу концепции древнего мира РНК, как основы эволюции первичной биосферы, служат уникальные свойства этой молекулы (трехмерного гетерополимера), определяемые последовательностью оснований РНК вдоль нити и характером скручивания. Действительно, ансамбли молекул РНК выполняют функции ассимиляции, метаболизма, репликации. Важно подчеркнуть, что РНК могут содержать генетическую информацию или служить временной копией генетической информации. Для этого используется короткоживущая промежуточная молекула (m-РНК), несущая первичную информацию о производстве специфического белка и обеспечивающая копирование клеточного генома ДНК (рис 14).

Как видим, РНК способны выполнять многие базовые функции ДНК, участвуя в процессе синтеза белка (рибосомы). Это: кодирование - программирование синтеза биополимеров линейной последовательностью полинуклеотидов; репликация - строгое

копирование генетического материала; самосвёртывание линейных полинуклеотидов в уникальные компактные конфигурации (3D структуры); распознавание - специфическое взаимодействие с другими макромолекулами; каталитические функции. К этому перечню следует добавить, что молекула РНК обладает транспортными свойствами (t-РНК), то есть обеспечивает перенос других молекул, необходимых для протекания ряда биологических реакций и синтеза белков. Каждая из 20 существующих молекул t-РНК способна присоединиться лишь к одной из 20 аминокислот, которую она приносит к определенной рибосоме и вместе с нею встраивается в цепочку синтезируемого белка, в соответствие со спецификацией, содержащейся в промежуточной молекуле m-РНК.

В свою очередь, каталитические РНК (рибозимы) участвуют, наряду со стандартными белковыми катализаторами (энзимами), в синтезе белка, что обеспечивает выбор определенных межмолекулярных реакций и уменьшает энергии, необходимые для их протекания. Помимо этого, рибозимы обеспечивают правильную расстановку связей между нуклеотидами в цепочке в процессе сращивания молекул m-РНК - только после этого они будут аккуратно считаны рибосомой в процессе синтеза белка. Таким образом, рибосомные молекулы РНК (r-РНК) играют важнейшую роль в синтезе белка, поскольку они образуют структурное ядро рибосомы, состоящее более чем из 50 различных белков и нескольких r-РНК. Рибосома как бы «полагается» на каталитические функции r-РНК при синтезе белков, а считывая информацию, закодированную в m-РНК, она «знает», какой белок нужно создать. Тем не менее, чрезвычайно сложный механизм декодирования генетической информации нуклеиновых кислот в структурные параметры белков и как он сформировался в процессе эволюции остается до конца непонятым.

Из сказанного следует, что РНК, будучи рабочим инструментом клеточного производства, могли быть прототипами живых систем. Однако возникновение мира РНК и его эволюция до первых высокоорганизованных организмов – бактерий за крайне малое время (примерно первые полмиллиарда лет в истории Земли) маловероятно, что признают и сторонники данной концепции. Снять это противоречие позволяет привлечение гипотезы о зарождении и начальной эволюции ансамблей молекул РНК в космической среде, в первую очередь на таких малых телах, как кометы, интенсивно бомбардировавших Землю на рубеже около 4 млрд. лет тому назад. Поэтому с древним миром РНК связывают возможность внеземного происхождения жизни. Заметим, что с астероидно-кометной бомбардировкой связана возможность не только заноса на Землю из космической среды примитивных живых форм, но и катастрофические события, обуславливаемые соударениями крупных небесных тел с нашей планетой. Существуют свидетельства того, что не раз в истории Земли они оказывали громадное влияние на состояние биосферы, вызывая исчезновение многих видов (рис. 15).

Альтернативой концепции древнего мира РНК служит концепция последовательного упорядочения и ранней эволюции живой материи, включая процессы случайного возникновения и предбиологического синтеза первичных макромолекул, способных к саморепликации, как ключевой химической основы жизни. Такой подход созвучен идеям Вернадского о процессах абиогенеза в открытых системах, обладающих высокой степенью внутренней организации и способных сохранять в течение определенного времени состояние динамического равновесия, и организованности биосферы,

обусловленной биогенными циклами атомов химических элементов, исключая хаотичность. В рамках данной концепции, в которой молекулы РНК с их основными функциями также играют важную роль, о которой говорилось выше, зарождение жизни представляется как непрерывный процесс упорядочения в открытой стационарной системе, являющейся, в отличие от консервативной (гамильтоновой) системы, в которой сохраняется энергия, диссипативной системой, обменивающейся энергией с окружающей средой. Такая система состоит из предбиотических органических соединений, возникших в процессе химической эволюции, возможно имевших в своей основе космическое происхождение. В системе идут сопряженные химические реакции и производится, наряду с положительной, отрицательная энтропия, что является неперенным условием возникновения структурной организации (упорядочения) в хаотической среде. Тем самым поддерживается энергия выше некоторого минимального уровня, при выполнении пригожинского условия минимума производства энтропии.

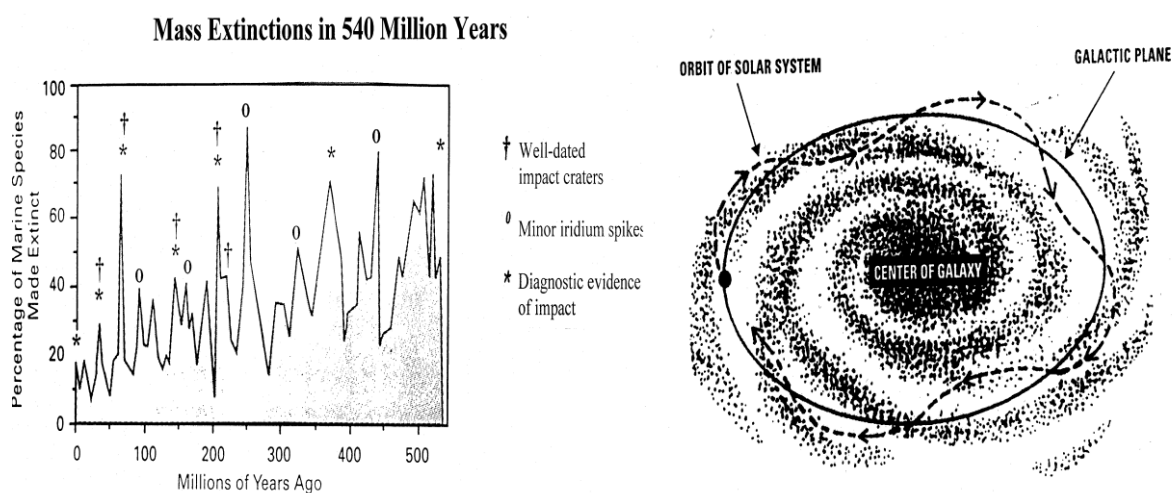


Fig 15. Слева - массовое исчезновение живых организмов на Земле за последние 540 млн. лет. События коррелируют с импактными кратерами, обогащенными иридием и содержащими другие признаки выпадения космического тела. Справа - схема движения солнечной системы в нашей Галактике.

Химическое упорядочение (ограничение числа партнеров в реакции, числа механизмов и путей взаимодействия) эффективно осуществляется путем селективного катализа с участием биохимических катализаторов – ферментов, представляющих собою свернутые в трехмерные структуры пептидные цепочки (белки), обладающие очень высокой активностью и эффективно осуществляющие упорядочение посредством селективного катализа. Ключевую роль в этих процессах могла бы играть молекула аденозинтрифосфата (АТФ), состоящая из аденина, рибозы и фосфатной группы. Она поглощает солнечную энергию и передает её в сопряженную химическую систему, а универсальным посредником, обеспечивающим сопряжение, является вода (реакция гидролиза). Привлекательным обстоятельством является тот факт, что АТФ синтезируется на основе простых молекул - цианистого водорода HCN и формальдегида HCHO, широко распространенных в космосе.

Накопление изменений происходит в сильно нелинейной системе, что приводит к развитию неустойчивостей, возникновению бифуркаций (скачков) и последовательным

переводам системы в качественно новое состояние. На математическом языке такому процессу отвечает ветвление (качественное изменение) решений при определенных (критических) значениях параметров. Каждому новому состоянию (самоорганизации) системы отвечают иная совокупность и взаимодействие молекулярных комплексов. Другими словами, нарастающая упорядоченность исходной (хаотической) системы состоит в последовательности бифуркаций, от появления примитивных полимерных структур и развития универсальной каталитической функции пептидов до возникновения нуклеотидных последовательностей, участвующих в синтезе белка, и генетического кода. С развиваемых нами позиций стохастической динамики такие события есть не что иное, как порождение и следствие локальной неустойчивости в нелинейной хаотической диссипативной системе с большим числом степеней свободы, а последовательность изменения состояний (эволюция) системы приводит к возникновению самоорганизации. Реализация модели последовательного упорядочения требует, кроме того, наличия обратной связи для перехода к новому уровню организации, что является ее важным свойством. Необходима также восстановительная среда в условиях раздельного существования атмосферы и гидросферы и обеспечения доступности и подвижности фосфатов, что в целом не противоречит существующим представлениям о природных условиях на Земле в период, с которым связывают возникновение первых примитивных форм жизни.

Исходя из данной концепции, способность к упорядочению через селективный катализ и способность к самовоспроизведению - два важнейших свойства биорганических соединений, необходимых для возникновения и эволюции жизни. Первичное упорядочение создают цепочки нуклеотидов и цепочки аминокислот (пептиды). Цепочки аминокислот формируют универсально построенные биологические структуры, способные к бесконечному разнообразию, а цепочки нуклеотидов обеспечивают самовоспроизведение (репликацию), как основное свойство живой материи. Другими словами, природа разделила между двумя классами органических соединений стремление к упорядочению через селективный катализ и способность к самовоспроизведению.

Особого внимания заслуживает тот факт, что в мире органических соединений упорядочение обусловлено уникальными свойствами соединений углерода. Только на основе углерода могут создаваться сложные биополимерные структуры, обеспечиваться упорядочение через селективный (ферментативный) катализ и функция репликации (самовоспроизведение). Это утверждение следует считать основной парадигмой происхождения жизни. Поэтому встречающиеся иногда рассуждения о возможности существования жизни, основой которой служит, например, кремний, следует считать необоснованными. Если существует жизнь во Вселенной, то молекулярно она, вероятно, построена примерно аналогичным образом, как на Земле, то есть на основе углерода и его соединений и на принципах, обеспечивающих белково-нуклеотидную форму функционирования.

Кратко коснемся теперь проблемы биологической эволюции. Формирование биополимеров, способных к катализу и репликации, включает появление посредника между структурой пептидов и нуклеотидов типа упомянутой выше транспортной РНК (t-

РНК) и формирование генетического кода. Возникновение генетического кода завершает этап предбиологической эволюции, и начинается собственно биологическая эволюция (эволюция жизни), одним из фундаментальных свойств которой является рассматривавшаяся Вернадским диссимметрия – хиральность.

Биологическая эволюция понимается как кумулятивные изменения во времени. Путем непрерывно нарастающего упорядочения (включая предшественников РНК) на Земле ~ 3,8 млрд. лет тому назад появились первые живые организмы - бактерии со сложными молекулярными аппаратами наследственности, белкового синтеза, энергообеспечения и обмена веществ. Возникновение первичных живых систем (прокариотов, эукариотов) сопровождалось эволюцией на уровне клеток, организмов, экосистем и формированием биосферы по Вернадскому. При этом процессы упорядочения неизбежно сопровождались процессами разупорядочения и хаотизации. В конкурентных процессах упорядочения - разупорядочения (деградации) решающую роль играл дарвиновский естественный отбор. Таким образом, мы подчеркиваем важнейшую роль дарвинизма на этапах биологической эволюции, но не на ранних этапах становления жизни и развития молекулярных механизмов самоорганизации биологических систем. Подчеркнем еще раз, что с этих позиций молекулярная биология, биохимическая генетика и дарвинизм не противоречивым, а взаимодополняющим образом лежат в основе современной теории эволюции. Развитием дарвинизма может служить концепция «конвариантной редупликации», предложенная Н.В. Тимофеевым-Ресовским, в основе которой лежит идея о матричном воспроизведении и тиражировании разных вариантов наследственных текстов, в том числе подверженных мутации, и эти варианты «предлагаются» природе на выбор. Эта концепция находится в тесной связи с обсуждавшимися выше идеями Вернадского о матричном синтезе органических макромолекул в процессе эволюции биосферы. Соответственно, матричный механизм изменчивости и наследственности связывается с естественным отбором и теорией эволюции.

### **Связь с философией**

В многообразном научном наследии Вернадского затрагиваются актуальные философские проблемы. Мы кратко коснемся здесь лишь некоторых соображений, непосредственно связанных с его учением о биосфере и происхождении жизни, которые распространяются, однако на волнующие глобальные проблемы человечества.

Отличительной чертой всего его творчества было умение видеть за частным общее, а анализируя фактические данные, приходиться к выводам и обобщениям философского характера, хотя сам он считал себя философским скептиком. Основанием для такого суждения было его убеждение, что «ни одна философская система... не может достигнуть той общеобязательности, которую достигает (только в некоторых определенных частях) наука». Он критически относился ко все философским системам, неизменно следуя главному постулату: «В основе всей научной работы лежит единое аксиоматическое положение о реальности предмета изучения науки – о реальности мира и его закономерности, то есть возможности охвата научным мышлением». Только научное мировоззрение он рассматривал как «выражение человеческого духа», соглашаясь, вместе с тем, что наука в определенной степени питается идеями и понятиями, возникающими в

области религии и философии. В статье «О научном мировоззрении» он писал, что «граница между философией и наукой - по объектам их исследования – исчезает, когда дело идет об общих вопросах естествознания». Формулировка общих законов развития научного мировоззрения возможна лишь в контексте исторического процесса, с учетом этапов совершенствования научного знания и во взаимосвязи с другими науками и социальными условиями соответствующих эпох.

Понимая жизнь как функцию закономерного геохимического механизма в биосфере, Вернадский считал, что глубокое проникновение в основы мироздания должна, наряду с физикой и астрономией, обеспечить биология. Будучи приверженным эмпирическому подходу в изучении явлений природы и отдавая, вместе с тем, должное теоретическим исследованиям, он одновременно возражал П.-С. Лапласу, утверждавшему, что путем одной формулы можно описать «все совершающееся в мировом порядке» и считал, что «нет никаких оснований думать, что при дальнейшем развитии науки все явления, доступные научному объяснению, подведутся под математические формулы или под так или иначе выраженные числовые правильные соотношения» В своих работах он предпочитал, вместо «жизни» использовать термин «живое вещество», считая его частью Земли и космоса, поскольку полагал, что понятие «жизнь» несравненно шире, распространяясь на области философии, фольклора, религии, художественного творчества. При этом свое учение он решительно противопоставлял распространенным философским взглядам или религиозным верованиям. Он сетовал на то, что «философская мысль оказалась бессильной возместить связующее человечество духовное единство» и что философия отстала «от требований наук о природе». Вместе с тем, ему была близка гуманистическая идея о единстве человека и мироздания, поэтому, наряду с целым рядом ученых, писателей и философов, мы можем причислить его к выдающимся представителям русского космизма.

Широко известен тезис Вернадского о том, что «человечество, взятое в целом, становится мощной геологической силой. И перед ним, перед его мыслью и трудом, становится вопрос о перестройке биосферы в интересах свободно мыслящего человечества как единого целого». В основе этого суждения лежат два важнейших обстоятельства. Во-первых, понимание того, что, как уже отмечалось выше, жизнь есть планетное явление и что «живое вещество охватывает и регулирует в области биосферы все или почти все химические элементы». И, во-вторых, что человечество едино перед лицом природы, и поэтому не существует биосферных проблем узконационального характера. «Нельзя, - писал Вернадский, - безнаказанно идти против принципа единства всех людей как закона природы». В этом утверждении мы видим позицию ученого-гуманиста, глубоко ответственного за судьбу нашей планеты и обеспокоенного бесконтрольным отношением к глобальным экологическим проблемам, что стало сейчас особенно актуальным.

Наблюдая превращение хозяйственной деятельности человечества в мощный фактор эволюции биосферы, Вернадский был далек от мысли остановить научно-технический прогресс, затормозить или тем более остановить поступательный ход развития цивилизации, а лишь призывал к рациональному природопользованию. «Впервые, - говорил он, - человек охватил своей жизнью, своей культурой всю верхнюю оболочку

планеты – в общем всю биосферу, всю связанную с жизнью область планеты...Мы присутствуем и жизненно участвуем в создании в биосфере нового *геологического фактора* небывалого в ней по мощности и общности...Человек впервые реально понял, что он житель *планеты* и может – должен – мыслить и действовать в новом аспекте, не только в аспекте отдельной личности, семьи или рода, государств или их союзов, но в *планетарном аспекте*».

Эти соображения привели Вернадского к понятию ноосферы (от греческого «ноос» - разум), как новой фазы эволюции биосферы. Данный термин, предложенный в 1927 г. французскими учеными Ле Руа и Тельяром де Шарденом, он наполнил, однако, гораздо более глубоким смыслом, лишив его, в частности, мистического оттенка, который, будучи ревностным католиком, придавал ему де Шарден. Тем самым Вернадский развил свое учение о биосфере и неизбежности ее преобразования в ноосферу. В этой новой концепции он придавал первостепенное значение научной мысли, как планетному явлению. Поскольку масштабы человеческой деятельности, налагающиеся на природные процессы и им чуждые, непрерывно возрастают и становятся сравнимыми с масштабами природных геологических явлений, необходимо, чтобы эволюционное появление человечества и развитие научной мысли стало таким же природным процессом, как и все другие в окружающем мире. Потому научная мысль человечества должна развиваться в соответствии с законами природы, а не противопоставлять себя им, стремиться к преобразованию природных условий в направлении максимального удовлетворения материальных, энергетических и эстетических потребностей человечества. Понимая, что «лик планеты – биосфера – химически резко меняется человеком сознательно и главным образом бессознательно», Вернадский призывал к тому, чтобы эти изменения сознательно направлялись человеческой мыслью, и только тогда биосфера превратится в необходимую для процветания человека ноосферу. Под этим он понимал ответственность каждого отдельного человека и одновременно объединение усилий всех людей в решении глобальных проблем на основе укрепления политических и иных связей между государствами, расширение границ биосферы и выход в космос, открытие новых источников энергии. Особое значение он придавал созданию условий, благоприятных для развития свободной научной мысли, разумному преобразованию природы, предотвращению войн, ликвидации нищеты и голода при возрастающей численности населения Земли. Важную роль здесь он отводил науке, которой все в большей степени охватывается государственная жизнь, «ибо наука по сути дела глубоко демократична, в ней несть ни эллина, ни иудея» и ее значение в ноосфере будет непрерывно возрастать.

«Мы, - говорил Вернадский, - переживаем не кризис, волнуемый слабые души, а величайший перелом научной мысли человечества, совершающийся лишь раз в тысячелетие, переживаем научные достижения, равных которым не видели долгие поколения наших предков. Стоя на этом переломе, охватывая взором открывающееся будущее, мы должны быть счастливы, что нам суждено это пережить, в создании такого будущего участвовать».

Такова была жизненная позиция выдающегося ученого, мыслителя и гуманиста, каким был Владимир Иванович Вернадский, 150-летие со дня рождения которого широко отмечается сегодня в мире.



## **Литература**

В статье использованы оригинальные работы В.И. Вернадского, ссылки на которые даны в тексте; монография «Научная Мысль как Планетное Явление», Наука, М., 1991; а также избранные труды, опубликованные в сборнике «Владимир Вернадский. Открытия и Судьбы», Современник, М., 1993; «Научное и Социальное Значение Деятельности В.И. Вернадского», Наука, Л., 1989; «В.И. Вернадский и Современность», Наука, М., 1986.