

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КРИОЛОГИИ ЗЕМЛИ

УДК 167; 550.36

К СОЗДАНИЮ ЦЕЛЬНОГО ОБРАЗА КРИОСФЕРЫ

В.П. Мельников

*Институт криосферы Земли СО РАН, 625000, Тюмень, ул. Малыгина, 86, Россия; melnikov@ikz.ru  
Тюменский государственный нефтегазовый университет, 625000, Тюмень, ул. Володарского, 38, Россия*

Изложены представления об актуальности расширения предмета науки о криосфере, определены некоторые направления совершенствования существующего ее образа. Показана необходимость междисциплинарного подхода в исследовании криосферы и углубления теоретико-методологических основ криологии, а также повышения ее роли в решении фундаментальных проблем наук о жизни и о Земле. Обосновано применение системного подхода к вопросам происхождения и эволюции космических тел и зарождения жизни.

*Междисциплинарность, криология, криосфера, лед, криотрасология, эволюция биосферы, газогидраты, метастабильное состояние, капельные кластеры, водородные связи*

ON THE CREATION OF THE INTEGRAL IMAGE OF CRYOSPHERE

V.P. Melnikov

*Earth Cryosphere Institute, SB RAS, 625000, Tyumen, Malygina str., 86, Russia; melnikov@ikz.ru  
Tyumen State Oil and Gas University, 625000, Tyumen, Volodarskogo str., 38, Russia*

The concepts of the demand to widen cryosphere science are described and some directions of the improvement of its existing image are determined. We discuss the necessity of interdisciplinary approach in the study of cryosphere and deepening of theoretical-methodological bases of cryology and as well as the increase of its role in the solution of fundamental sciences dealing with life and Earth. Application of systematic approach to the problems of the origin and evolution of cosmic bodies and origin of life is substantiated.

*Interdisciplinary approach, cryology, cryosphere, ice, cryotrasology, evolution of biosphere, gas hydrates, metastable state, drop clusters, hydrogen bonds*

Представление о перспективах развития криологии как науки о криосфере сформировалось у меня под влиянием происходящих перемен в науке и образовании с точки зрения ученого-исследователя. Принимая на себя ответственность за судьбу криологического сообщества, мы просто обязаны заглянуть в будущее и, создав образ этой области науки, определить приоритеты ее развития.

Создать образ криологии будущего в эпоху чрезвычайно высоких темпов прироста знаний и взаимопроникновения наук можно лишь штрихами или, вернее, в стиле “кубизма Пикассо” – образ “нестрогий” с возможностью замены элементов или их оттенков в процессе познания без ущерба для общего восприятия произведения. Именно этот современный образ, создаваемый на основе знаний о составляющих криосферы, окажет влияние на предмет, структуру и содержание нашей науки, а следовательно, и на профессиональный состав сообщества ученых, всесторонне исследующих данный объект – криосферу.

Проблему освоения и использования нарастающего объема знаний подметил еще Аристотель, который изрек: “Даже известное известно немногим”. В настоящее время бурно совершенствуется инструмент познания – информационные технологии, базы данных, программы поиска, анализа и синтеза информации. Однако формулирование целей и интерпретация компьютерных решений по-прежнему остаются привилегиями человеческого разума.

Владимир Иванович Вернадский писал: “Лед и снег, скапливаясь в биосфере, являются одним из самых могущественных факторов ее структуры; своим движением и влиянием на жизнь и гидрографию суши они коренным образом меняют ее вещество” [Вернадский, 2004, с. 100]. При этом имеются в виду не только новейшие периоды геологической истории, но и время зарождения жизни, додарвинский и дарвинский периоды эволюции.

Ретроспективный взгляд на XX век позволяет осознать, что все столетие мы, криологи, танцева-

ли один танец. Шаги меняли свое направление, были длиннее или короче, но в целом оставались такими, какими их задумали создатели танца. Движения были разноазимутальными – от одной территории к другой, от Васькиных Дач к Кузькиным Дачам, и все же это напоминало прокариотический этап развития, когда не требовался партнер для продолжения жизни. Но ведь наш эукариотический мир победил, и эволюция от точки бифуркации пошла по партнерскому типу продолжения жизни. Прокариоты сохранились практически без изменения, дожив до наших дней, но это скорее уступка природному разнообразию и тем условиям, которые эукариоты не сумели покорить. Они как бы ожидают реванша в случае появления новых точек бифуркации.

В криологии также есть точка бифуркации, и есть первопроходцы, которые трудятся над созданием нового танца. Его исполнение началось с укрепления междисциплинарных исследований и появления обобщенной информации о криосфере планет и их спутников. Криосфера, безусловно, относится к разряду больших систем, и поэтому ее корректное исследование (по Г.А. Заварзину) должно идти “сверху вниз, от общего к частному... Нарушение этой логики ведет к бесчисленным построениям от элементарных событий к предполагаемой общей системе – построениям всегда некорректным” [2004, с. 22].

В настоящей работе затрагиваются два направления наук о жизни и о Земле: история Земли и происхождение и эволюция жизни. Но только затрагиваются, поскольку это глобальные проблемы мировой науки, а значит, криологии как ее составляющей потребуются привлечь весь свой потенциал для их решения.

Вместе с тем при ознакомлении с некоторыми публикациями – учебным пособием И.В. Гордиенко “История развития Земли” [2008] и коллективным трудом под редакцией Э.М. Галимова “Проблемы зарождения и эволюции биосферы” [2008] – создается впечатление, что тезис Вернадского о роли льда и снега не раскрыт, что явно упущены данные криологов о взаимодействии криосферы и других геосфер, а также исследования криобиологов и криогеохимиков, которые, видимо в силу определенной изолированности в век дифференциации наук, не влились ни в одну титульную науку и которым просто не хватило энергии увлечь своими прекрасными работами научное сообщество. При этом проведенные ими за последние 30–40 лет исследования постепенно входят в фундаментальные основы наук о жизни и о Земле.

Если обратиться к великолепной монографии немецкого профессора М. Неймара “История Земли”, изданной в Германии в 1896 г. и переведенной на русский язык [Неймар, 1994], можно сделать

вывод, что большого прогресса в понимании причин оледенений и их роли в развитии биосферы не произошло. В заключении главы о ледниковых эпохах М. Неймар писал:

“Сводя вмѣстѣ все сказанное, мы приходимъ къ выводу, что пониженіе температуры во время ледниковой эпохи коснулось, вѣроятно, всего земного шара; причины и продолжительность этого явления намъ совершенно неизвѣстны, и въ настоящее время мы не имѣемъ даже удовлетворительнаго его объясненія. Долгое время всѣ попытки объяснить ледниковую эпоху оставались безплодными, такъ какъ самые факты были еще очень мало изучены. Вопросъ о причинахъ бывшаго оледенѣнія найдетъ себѣ быстрое разрѣшеніе только послѣ того, какъ будутъ подвергнуты изученію климатическія условія предыдущихъ періодовъ; теперь же онъ находится только въ зародышѣ. Для разрѣшенія его мы полагаемъ слишкомъ ничтожнымъ фактическимъ матеріаломъ, и потому накопленіе фактовъ долго еще будетъ единственною цѣлью нашихъ изслѣдованій”.

Эту задачу – накопление фактов – мы решаем до сих пор и не слишком успешно. Некоторый прорыв в понимании причин изменения климата осуществил М. Миланкович [1939], но этого явно недостаточно. Процесс накопления фактов всегда актуален. Даже оставаясь необъясненными, но многочисленными, они создают основу для вероятностной теории, а ведь огромный сектор наших знаний строится именно на этом.

В 2010 г. исполнилось 130 лет со дня рождения немецкого ученого-геофизика А. Вегенера – автора теории дрейфа материков и первой гипотезы мобилизма [Вегенер, 1984]. Забытое и оживленное десятилетия спустя, сегодня это общепризнанное учение о тектонике плит. Представляется, что идея о мобилизме у выдающегося полярного исследователя возникла еще в его первой гренландской экспедиции при наблюдениях за динамикой ледникового щита. И в память о нем свой вклад в геологическую историю мы можем внести углубленным изучением роли оледенений в развитии абиогенной и биогенной составляющих земной коры. Занимаясь в основном четвертичным периодом, мы, возможно, упускаем самое интересное, происходившее значительно раньше – на 2–2,5 млрд лет. Примерно с этого времени прослеживаются циклические оледенения разной продолжительности и интенсивности. Детально исследована корреляция “начала” и “конца” оледенений с особенностями в составе атмосферы (изменение количества CO<sub>2</sub> и серы). Но

более ранняя история также требует использования новых подходов и гипотез, с учетом того, что научное сообщество разделено на сторонников и противников как горячей, так и холодной Земли на этапах ее рождения и формирования.

Гиперсистемность криосферы вытекает уже из того, что лед во Вселенной существовал до возникновения Солнечной системы и ее планет, до появления воды и жизни на Земле и останется в ней даже после расширения и разогрева нашего светила и трансформации голубой планеты в нечто похожее на одну из безжизненных горячих планет. До столь печального исхода не более нескольких миллиардов лет, а это в истории Вселенной лишь краткий эпизод.

Исследователи эволюции биологических систем придерживаются утверждения Ф. Добжанского [Dobzhansky, 1973] о том, что в биологии ни одна задача не имеет смысла, если она не связана с теорией эволюции. Можем добавить, что все изменения в криосфере Земли, так или иначе, влияют на формирование и эволюцию среды жизнеобеспечения.

Безусловно, в создании образа будущего криологии Земли исследования криогенных и криогенетических систем в геологической, планетарной истории и в эволюции биосферы займут достойное место.

Когда мы определяем криосферу как гиперсистему, криосфера Земли занимает место подсистемы, или системы второго уровня со своими подсистемами, такими как атмосферные отрицательно-температурные разноуровневые слои со своими особенностями, покровные компоненты, литосферная мерзлота. Наибольшая (известная на сегодня) глубина проникновения криогенных условий процессов и образований – это глубина газовых гидратов на континентах и в океанах, которые создают пояс положительно-температурной криолитозоны.

Наличие этой зоны с фазовыми переходами глубинных растворов обязывает нас вводить в понятийный аппарат криологии также условия, далекие от поверхности, учитывать состояние переохлажденной воды и льда (льдоподобного вещества) на больших глубинах. Иначе мы неправомерно ограничиваем пространство, относящееся по сути к криосфере Земли, выводя из области исследования среды, возникшие благодаря криогенным процессам при различных термобарических условиях.

Прежде чем углубиться в поставленные проблемы, следует уточнить модель криосферы Земли. На рис. 1 представлена модель с усредненными параметрами структурных элементов с резко различающимися в меридиональном и широтном направлениях свойствами.

От поверхности Земли вверх – тропосфера, в которой заключено около 80 % всей массы атмо-

сферного воздуха и до 90 % всего водяного пара, мощностью до 8–10 км в полярных областях, до 10–12 км в умеренных и до 16–18 км в тропических широтах. Высотная отметка тропосферы постоянно меняется. У земной поверхности температура воздуха около +26 °С на экваторе и до –23 °С на Северном полюсе. На верхней границе тропосферы над экватором средняя температура около –70 °С, над Северным полюсом зимой около –65 °С, а летом около –45 °С. Температура убывает с высотой со средним вертикальным градиентом 0,65 °С/100 м.

Излучение Земли в основном находится в инфракрасном спектре и интенсивно поглощается воздухом, при этом понижается температура. Понижение обусловлено тем, что нагретый воздух становится более легким и поднимается вверх, попадая в область с более низким давлением, далее он расширяется и, соответственно, охлаждается. Этот феномен был замечен Д.И. Менделеевым и описан в его заметках и трудах, посвященных метеорологии [Менделеев, 1950].

Таким образом, по температуре тропосфера, как правило, двухслойна. По массе воздуха отрицательно-температурная и теплая части тропосферы примерно одинаковы. На границе со стратосферой, особенно в тропиках, увеличивается

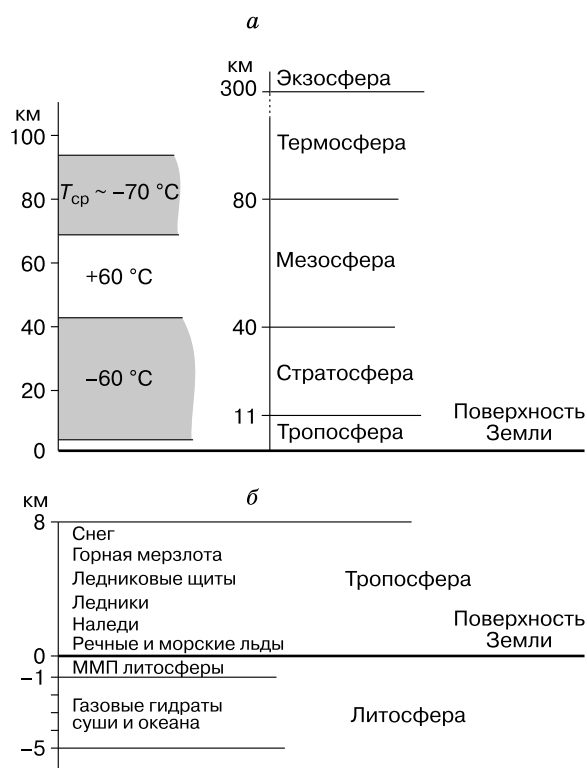


Рис. 1. Криосфера Земли в вертикальном разрезе:

а – над поверхностью Земли; б – на поверхности Земли и под ней.

статическая устойчивость атмосферы. Это переходный слой толщиной от нескольких сотен метров до 1–2 км. Из-за турбулентности и конвекции в тропосфере высота тропопаузы колеблется как во время прохождения циклонов и антициклонов, так и в зависимости от сезона года.

Верхняя часть первого отрицательно-температурного слоя находится в стратосфере с почти изотермичным режимом, но начиная с высоты 20 км температура быстро растет и в районе 40 км достигает 0 °С, а на высоте около 50 км повышается до десятков градусов. Этот слой с положительной температурой обязан своим появлением озону, поглощающему ультрафиолетовое излучение Солнца. Как известно, озон в атмосфере образовался около 400 млн лет назад. И только после этого жизнь из океана шагнула на сушу. Если бы не было озонового слоя, падение температуры, характерное для тропосферы, сохранилось бы вплоть до высоты 80 км, т. е. два отрицательно-температурных слоя – это сравнительно молодое (с геологических позиций) явление.

Разогрев атмосферы выше 90 км происходит за счет коротковолнового (130–170 нм) излучения Солнца, ионизирующего молекулярный кислород. Ниже этой отметки коротковолновое излучение не проникает. Отрицательные температуры в верхнем холодном слое – следствие низкого содержания озона. Распределение стабильных молекул в атмосфере до высот порядка 100 км определяется барометрическим законом, т. е. экспоненциальным уменьшением количества молекул с высотой. Образованный в атмосфере озон стремится к распределению по высоте аналогично распределению воздуха.

Незначительное количество молекулярного кислорода в атмосфере Марса определяет отсутствие у планеты озонового слоя (хотя сам озон вместе с С, О, Н<sub>2</sub>О составляет 3 %) и гораздо более низкую, чем на Земле, температуру одного отрицательно-температурного слоя с минимумом до –150...–160 °С на высоте около 120 км (по данным “Викингов”).

За последние десятилетия значительно увеличилось число исследовательских структур в научных организациях, так или иначе занимающихся криосферой, которые Международная ассоциация мерзлотоведов (International Permafrost Association, IPA) пока не приняла в свои ряды. Стало трудно уследить за новой информацией и дать ей оценку. Чтобы понимать друг друга, необходимо совершенствовать терминологию, увеличивая емкость понятий, уже прошедших, казалось бы, испытание временем.

Следует согласиться с Андреем Викторовичем Ивановым [1998] и его критикой ограниченных, а порой поверхностных, определений основного, общего для всей (не только земной) криосферы элемента – льда. Главное ограничение в справочной и специальной литературе – это привязка к воде, к фазовым переходам вода–лед. Распространены трактовки, в которых лед всего лишь побочный продукт превращений воды. Называют три агрегатных состояния воды, но никто не говорит о трех агрегатных состояниях льда. Стоит отметить, что Н<sub>2</sub>О – единственное вещество, для которого во многих языках есть названия всех агрегатных состояний. По-видимому, это связано с особой важностью его для жизни человека.

Определение планетарного льда может быть таким. Лед – химическое соединение основных элементов нижних слоев атмосферы планет – твердое тело, переходящее в жидкое или газообразное состояние при изменении термобарических условий и имеющее, как правило, кристаллическое строение с микро- или макровключениями жидкостей, газов и твердых частиц.

Такое емкое определение планетарного льда (а для определения космического льда надо лишь заменить “нижние слои атмосферы планет” на более общее понятие “среда”) “отрывает” лед от чисто земного явления и позволяет рассматривать его в широком спектре состава, строения, состояний и функциональных ролей.

В таблице автор попытался собрать воедино самые разные сведения и представления многих

**Функциональные характеристики многоликого льда**

| 1. Физико-химическая система  | 2. Физическая система   | 3. Природное вещество   | 4. Информационная система   | 5. “Управляющая” система  |
|---|---|---|---|---|
| 1.1. Кристаллохимическая система<br>1.2. Геохимическая система<br>1.3. Экологическая ниша<br>1.4. Экосистема<br>1.5. Компонент климатической системы<br>1.6. Компонент биосферы | 2.1. Физическое тело<br>2.2. Кристаллографическая система<br>2.3. Компонент геосистем<br>2.4. Физико-механическая система<br>2.5. Мультифункциональный барьер | 3.1. Минерал<br>3.2. Горная порода<br>3.3. Ледяной массив<br>3.4. Ледяные геосистемы<br>3.5. Геологический объект<br>3.6. Географический объект<br>3.7. Планетарный объект<br>3.8. Космический объект | 4.1. Источник–приемник энергетически слабых полей<br>4.2. Регистратор событий<br>4.3. Архив – информационный природный ресурс | 5.1. Регулятор параметров среды<br>5.2. Трансформатор вещества и энергии<br>5.3. Концентратор избыточных веществ<br>5.4. Резерв химических элементов<br>5.5. Аккумулятор эмергентных (качественно новых) свойств<br>5.6. Стандарт условий среды |

исследователей, выраженные явно и неявно, и в пяти рубриках показать многочисленные связи этого многоликого льда. Упомянем при этом первый экологический закон-афоризм Коммонера “everything is connected to everything else” – все связано со всем.

Не перечисляя имен авторов различных определений, таблиц и баз данных, относящихся к льду, отдадим должное мудрости пронизательного наблюдателя, очень образно выразившего важную мысль: списанное из одной научной книги – это плагиат; списанное из двух научных книг – это очерк; списанное из трех научных книг – это диссертация; списанное из четырех научных книг – это пятая научная книга. Этой формулой Р.Дж. Флигль и Дж.А. Бузингер предварили свою монографию “Введение в физику атмосферы” (1965).

Таким образом, используя построенную на известных компонентах новую таблицу, нам будет легче внедриться в историю Земли и эволюцию биосферы.

Возвращаясь к тектонике плит, следует прежде всего установить достоверность информации, извлекаемой из земной коры, учитывая при этом историческую динамику прото- и суперконтинентов нашей планеты. Одно из возможных направлений исследований, которое вытекает из строения атмосферы и тектоники плит, – взаимодействие перемещающихся платформ и формирующейся атмосферы. Первичная атмосфера, как известно, коренным образом отличалась от современной и по строению, и по составу. Поскольку на планетах и их спутниках существуют водный, углекислый, аммиачный и метановый льды, можно предположить, что и на Земле могли существовать все или часть видов льдов, изменивших со временем свой состав.

Стремительно растет объем новых данных о строении Вселенной, увеличиваются возможности вычислительной техники, химии и физики, и существующие гипотезы формирования планет и зарождения жизни вряд ли сохранят в прежнем виде популярность более 15–20 лет. Однако и новые химизированные и математизированные модели не исключают использования криосферного подхода при рассмотрении ранней истории Земли.

Новейшие данные по наиболее древним сохранившимся до наших дней австралийским цирконам свидетельствуют о наличии водных бассейнов в эпохи 4,4; 4,3; 4,2 и 4,1 млрд лет назад. А это означает присутствие атмосферы с давлением 6–7 мбар. Анализ следов  $^{129}\text{Xe}$  (продукта распада  $^{129}\text{J}$ ) показывает наличие динамики этого продукта при его поглощении газогидратами [Адушкин, Спивак, 2000]. Следовательно, газовые гидраты (компонент криосферы) могли существовать мил-

лиарды лет назад. Термоциклы ранней планеты с диапазонами от +200 до  $-100\text{ }^\circ\text{C}$  предполагают различные фазовые переходы [Варфоломеев и др., 2008], т. е. определенный этап эволюции криосферы Земли. Гипотеза “Земля–снежок” также правомочна при реконструкции истории ранней планеты, так как мощнейшая дегазация и, соответственно, охлаждение атмосферы могли способствовать формированию среды, благоприятной для льдонакопления.

Происходившие в остывающей мантии многочисленные циклические процессы меняли облик атмосферы и уплотняющейся поверхности земной коры. И, очевидно, последствия циклических явлений были более быстрыми и ярко выраженными, чем сейчас, поскольку барьеры в виде земной коры и маломощной атмосферы были еще слишком слабыми.

“Земля–снежок” могла появляться в истории неоднократно, и наша задача искать следы этих эпох. Мерзлотоведами, в частности Е.А. Слагодой [2005], обнаружены признаки криогенеза в карбоне. Геологами, так или иначе, установлены признаки многочисленных оледенений, но это в основном свидетельства, не привязанные к тектонике плит.

С точки зрения мобилизма следует признать, что большая часть сведений бесследно ушла в расплав верхней мантии, но кое-что сохранилось из периода от 4 млрд лет назад, в том числе на территории России и СНГ. В книге “Наука о льде” Н. Маэно пишет: “До недавнего времени наши представления о льде были во многом ошибочны” [Маэно, 1988]. Известно, что исследования физических свойств льда проводились учеными, получившими Нобелевские премии в 40-х, 50-х и 70-х гг. прошлого века. Среди них был и выдающийся ученый Лайнус Полинг (1954 г.).

Лед объединяет в себе противоположные свойства: кристалл–аморфное тело, упругость–пластичность, полупроводник–диэлектрик, плотнее воды и легче воды. Лед при абсолютном нуле не имеет нулевой энтропии. Структура льда приближается к идеальной: при постоянной низкой температуре со временем мера упорядоченности возрастает, т. е. при неизменных условиях ( $T = \text{const}$ ) энтропия уменьшается со временем.

Снег не поглощает свет, поэтому он белого цвета. Лед прозрачен, так как в нем нет свободных электронов. Снег, состоящий из прозрачных кристаллов льда, белый по той же причине, что и истолченное прозрачное стекло – белый порошок. Чаще всего поверхность льда – квазижидкость, при отрицательной (близкой к нулю) температуре характеризующаяся хаотичным расположением молекул воды в квазижидком слое, но одновременно с упорядоченной (по сравнению с кристаллом) ориентацией диполей. Только кристаллы льда построены исключительно на водородных

связях, т. е. лед можно считать “стандартом” водородных связей, мерой для сравнения. Эти же водородные связи играют важнейшую роль в белках, нуклеиновых кислотах, биополимерах. Сама жизнь обязана водородным связям, и все биохимические процессы в живом организме – это процессы, когда рвутся и возникают вновь водородные связи.

В кристаллах льда молекулы воды располагаются таким образом, что электростатические и дисперсионные силы (деформация электронных облаков при сближении двух молекул, при котором возникают силы притяжения) строго уравновешиваются обменными силами отталкивания (вызванными квантово-механическими причинами). Межмолекулярное расстояние, т. е. “длина” водородной связи (2,76 Å), определяется именно этим условием [Маэно, 1988].

Когда лед тает, превращаясь в воду, водородные связи разрушаются. Пар – состояние, когда все водородные связи разорваны. Вода–лед–пар – это система с сильными ковалентными связями (вода), чисто водородными (лед) и разорванными водородными связями (пар). Символом условий существования жизни является тройная точка на диаграмме состояний  $H_2O$  (рис. 2). Отсюда следует важный вывод, что выход живых организмов из воды и отрыв от земли, т. е. свободное существование в атмосфере (тропосфере), – это, скорее всего, результат слабости и непрочности водородных связей.

Биологическая роль водорода в энергетике древнейших биосистем первостепенна [Федонкин, 2008]. Водород – первичный источник электронов и протонов, главный субстрат микробной жизни, основа энергетики метаболизма [Wackett et al., 1994]. Он определяет прочность и пластичность

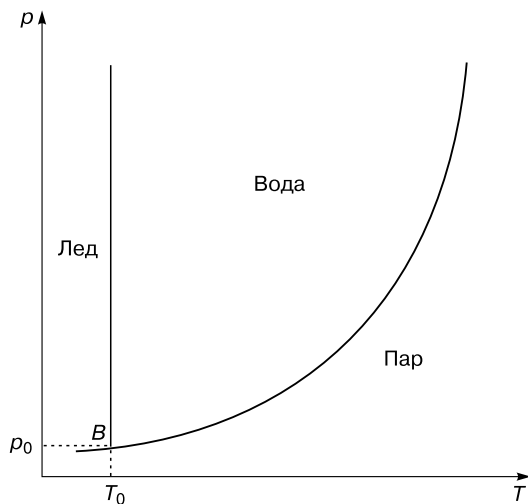


Рис. 2. Тройная точка воды (B) при температуре  $T_0 = 0,0075^\circ C$  и давлении  $p_0 = 6,1$  ГПа.

макромолекул. Молекулярный водород  $H_2$  осуществляет универсальный процесс трофической (энергетической) связи между микроорганизмами, живущими на разных субстратах, т. е. по существу он первичный конструктор прообраза экосистем. Водород как энергетический продукт – фактор конкурентной борьбы многих групп прокариот. Добавим, что способности молекулярного водорода служить восстановительным фактором, формировать протонные градиенты как средство временного сохранения энергии – все это и многое другое говорит о водороде как об одном из важнейших элементов среды, сыгравшем ключевую роль в происхождении жизни.

Когда речь шла об увлечении четвертичным периодом, имелось в виду то, что мерзлотоведы и гляциологи, конечно, не могут не интересоваться этим периодом ярчайшего похолодания на Земле, включающего четыре крупных оледенения и содержащего разнообразные свидетельства истории событий. Но это легкий путь исследований. Обратная сторона такого увлечения – то, что оно приводит к недостатку внимания к ранней истории криосферы. А ведь понятно, что немногочисленные свидетельства эпох убывают в крутой зависимости от прошедшего времени. Именно поэтому автор призывает научное сообщество создать и поддержать специальное направление – **криотрасологию** (от англ. trace – след) – по исследованию взаимодействий льда с абиогенными и биогенными компонентами среды. Все оставляет свой след, главное уметь его отыскать. Инструментарий XXI в. уже позволяет определять самые разнообразные отпечатки событий, и требуются идеи о взаимодействиях, системный подход и расширенный поиск. У Козьмы Пруткова по этому поводу написано: “Щелкни кобылу по носу, она махнет хвостом”. Очень образное представление реакции на воздействие. Посмотрим, как это яркое выражение принципа опосредованного влияния среды на самоорганизацию систем проявляется в природе.

Пятиконечные звезды и пятигранники, широко распространенные в морской фауне и флоре на протяжении сотен миллионов лет, и сам человек с его пятью выступами – это следы какого явления, может быть, солнечных протуберанцев? А гексагональная сингония и шестиконечные снежинки, – может быть, это след, оставленный ближайшими или далекими соседями по Вселенной? В то же время известно, что шестигранники – наиболее эффективные рассеиватели энергии. Энергетическая выгодность шестигранных тел не вызывает сомнений [Кадомцев, 1981]. Описаны и зарисованы почти правильные шестигранники из облаков со сторонами в несколько километров. При фотографировании поверхности Солнца оказалось, что она состоит из гранул, аналогичных ячейкам Бенара (шестигранникам) [Печуркин, 1988].

Пока не уделялось должного внимания тем очевидным возможностям, которые дают нам время и источник воздействия. Имеются в виду эволюция Солнца и реакция планет и их спутников на изменения интенсивности и характера излучений. В нашем распоряжении все новейшие достижения в изучении Вселенной и Солнечной системы, благодаря которым реально осуществить переход от гипотетического к физическому. Прежде всего можно использовать тот факт, что Солнце первые полмиллиарда лет разогревалось и было источником все возрастающей радиации. Приемниками этой радиации стали планеты и их спутники, находящиеся на разных расстояниях от Солнца. Итак, имеем два параметра для модели: возрастающая радиация и очевидная реакция объектов (приемников), зависящая от расстояния. Следует учесть также различные периоды обращений небесных тел вокруг Солнца – от 87 дней для Меркурия до ~165 лет для Нептуна. Кроме того, в нашем распоряжении разные типы небесных тел во внутреннему теплу, с различными состоянием и строением поверхностей, масштабам, составом атмосфер, с огромным разбросом термодинамических условий и т. д.

Настало время перейти от моделей климата на Земле к моделям криосферы всей Солнечной системы и ее планетных разновидностей. Модели климата также станут ближе к реальности, если в них учесть динамику многослойной криосферы разных небесных тел. Изучая иные планеты, мы надеемся больше узнать о ранней истории Земли и ее будущем. Но найдя новые средства изучения молодой Земли, мы тем самым значительно повысим точность интерпретации данных, получаемых космическими аппаратами.

Перед криологами стоит первостепенная задача активнее участвовать в решении основных фундаментальных проблем науки. Из четырех главных: устройство материи, зарождение жизни, возникновение сознания, проблема пространства и времени, нам ближе вторая, и здесь мы можем внести свой вклад в виде новой аргументации непротиворечивых гипотез.

Эволюция Вселенной с первых мгновений появления материи из элементарных частиц – протонов, нейтронов и электронов, возникших в результате взрыва, и далее неразрывно связана с водородом, который вместе с гелием образовался при остывании. Последующие этапы эволюции: концентрация этих элементов в будущие галактики, преобразование вещества в “сгустки” – звезды из водорода и гелия, термоядерные реакции, снова взрывы, синтез новых элементов (O, N, C и др.), образование новых звезд, далее всех элементов по таблице Менделеева вместе с элементами, еще не синтезированными на Земле.

Криология в большей степени изучает трансформации и взаимодействия элементов из начальной и второй волны – водород и кислород. Соответственно, и главный объект наших исследований – лед, основанный на водородных связях, многие миллиарды лет имел отношение ко всему и прежде всего к зарождению жизни. Почему на Земле в сравнении с Солнцем имеется дефицит самых распространенных в космосе элементов – H, C, He, N, и не являются ли лед, вода, пар и все живое системами-концентраторами водорода на Земле?

Гипотезы о привнесенной жизни носят скорее успокоительный характер, они сродни божественному началу. Во-первых, они ничего не объясняют, так как остается тот же вопрос о механизме зарождения жизни там, откуда она привнесена. Во-вторых, придется отвергнуть многое, что было признано нашей наукой истинным, прежде всего роль среды. Согласно земным гипотезам, среда готовилась к этому моменту сотни миллионов лет после возникновения Солнечной системы, а в кометных гипотезах предполагается сразу невообразимое: надо выйти из чужой среды, совершить путешествие в смертельно жестком ультрафиолете, перенести катастрофические условия встречи с Землей, выжить в безжизненной и еще довольно горячей среде коры и при всем этом сохранить в себе жидкие субстанции. Даже если речь идет об экстремофилах, они должны обладать еще одним редким свойством – выживать и множиться в средах без адаптации и длительной подготовки.

Трудно согласиться с категоричным постулатом В.Н. Пармона, что “живой объект всегда четко отделен от окружающей среды” [2004, с. 34]. Такая категоричность сразу вызывает вопрос: может ли эта фаза – живой объект оставаться живым, будучи “четко” обособленным от окружающей среды? Ответ очевиден: “Нет”. Скорее всего, академик В.Н. Пармон имел в виду нечто иное.

Существует мнение, что на определенном этапе развития жизни (химической эволюции) произошло физико-химическое концентрирование абиогенного органического вещества в пробиотах. Отбор, возникающий уже на предбиологическом этапе, действовал не на отдельные молекулы, а на целостные фазово-обособленные структуры [Печуркин, 1988].

Синтез живого шел из того, что давала среда: вещество и условия. Создав живое, среда непрерывно продолжала обеспечивать живое тем же – веществом и условиями, непрерывно изменяясь вместе с живым по эволюционным законам. Ближе к истине не фазовая обособленность, а устойчивое неравновесие, или коэволюция [Mousses, 1997].

Многие исследования о происхождении жизни продолжают работы Опарина–Холдейна [Она-

рин, 1968] по химической эволюции, хомогенезу, возникновению сложных белковых форм из более простых соединений.

Академик Н.П. Юшкин предполагает, что “минералы могли послужить катализаторами для возникновения все более сложных углеводов, передать первым биомолекулам часть своей структуры (имеется в виду информационное, генетическое наследование. – В.М.)” [2004, с. 54]. Основная мысль, высказанная Н.П. Юшкиным: “многие биогенные и биологические процессы определяются базовыми для всей природы процессами кристаллизации, образования упорядоченной структуры. Образование биологических структур явилось переходом вещества на качественно новый уровень порядка” [2004, с. 52].

Не вдаваясь в детали концепции углеводородной кристаллизации жизни, посмотрим, что по этой проблеме уже сделано. По А.И. Опарину, молекулярные “стуски” в последующем скапливались в каплях, что и привело к возникновению предбиологических систем. И здесь следует напомнить о недавнем открытии капельных кластеров А.А. Федорцом [2004], которое, по нашему мнению, должно помочь в поисках предбиологических систем.

Как правило, новейшие достижения математиков, физиков и химиков через много лет становятся достоянием других наук и, как правило, в виде готовых рецептов, решений, рекомендаций.

Открытие капельных кластеров поражает в основном двумя моментами. Во-первых, это явление, по существу неотъемлемая часть повседневной жизни каждого человека, так долго не было известно. Даже спустя шесть лет после получения автором патента о нем знают лишь немногие. Во-вторых, это доступность изучения. Очевидно однако, что придется уточнить сам механизм фазовых переходов в связи с появлением промежуточной структуры. Это явление еще раз доказывает загадочность воды и льда и их неисчерпаемость.

Оказалось, что и другие вещества в жидком состоянии при соответствующей температуре создают подобные структуры, а не только вода. Следовательно, в ранней истории горячей Земли, когда, возможно, и воды еще не было, такие структуры существовали.

Капли в кластерах – это продукт конденсации пара, т. е. перехода молекул в структуру с более сильными связями. В то же время связи в структуре кластера – между каплями – продолжают оставаться слабыми. Основные связи в кластере – водородные, те же, что и между спиралью ДНК, в РНК и белках. Капли погружаются в жидкость, перенося с собой то, что в них успело соединиться, резкого скачка условий при этом не происходит. Если наука сейчас находится на пороге вы-

явления механизмов структурированного развития и эволюции Вселенной, то, может быть, эти загадочные организованные капли как раз и есть пример такого механизма? Приведу простую ситуацию, которую я наблюдал, находясь под впечатлением этого открытия. При разогревании мороженых ягод ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) в посуде, стоящей на раскаленной плите, над еще замороженными ягодами появляется тот же парок, в котором (но при  $+60^{\circ}\text{C}$ ) и возникают капельные кластеры. Замороженные ягоды на огне – это минимодель тропосферы и стратосферы: снизу – тепло, посередине – холод, выше – опять тепло. Это та многослойная модель, где в широком диапазоне отрицательных и положительных температур могут образовываться капельные кластеры. Если в концепции Н.П. Юшкина [2004] минералы катализируют возникновение сложных углеводов, то капельные кластеры – “мягкий минерал” – находятся ближе других к возможности концентрировать из первичного раствора многое, включая компоненты, необходимые для образования РНК и ДНК.

Кроме того, временной фактор также на стороне капельных кластеров как матрицы для предбиологических структур. Водород и кислород – ровесники первичной материи, участники всех процессов во Вселенной, т. е. их “генетическая” база значительно древнее многокомпонентных монтмориллонитов и других минеральных образований, рассматриваемых в выдвигаемых гипотезах.

Заслуживают внимания и идеально круглая форма капель и их устойчивое неравновесие – основа коэволюции со средой. Поверхность капли – прообраз первых биологических мембран. А если вспомнить, что все живое на 85–90 % состоит из воды, то предбиологическая эволюция – ровесница Вселенной, так же как и “ветеран” мироздания – лед.

Необходимость союза криологии с биологией стала очевидна уже с первых лет официального существования мерзлотоведения в СССР. Находки мамонтов, оживающие насекомые, добытые из мерзлоты, будоражили умы ученых с первой половины прошлого века. И хотя цивилизованная Европа долго не признавала вечной мерзлоты (“лес на мерзлоте произрастать не может”), после работ великого А. Гумбольдта [1936] произошел прорыв в сознании, и мерзлота получила “право на существование” в европейской науке.

Сегодня работы по криобиологии можно читать как фантастику: гусеницы и бабочки (т. е. высокоорганизованные существа), ожившие после длительного замораживания до  $-269^{\circ}\text{C}$ ; беспозвоночные (коловратки, нематоды), перенесшие в высушенном состоянии глубокое охлаждение до  $-271^{\circ}\text{C}$ . Жизнь в мерзлых породах в естественных условиях – это просто “курортное” существование



для микроорганизмов. Анализ кернов со станции Восток [Цыганова, Саламатин, 2006; Котляков, 2012] показал, природа надежно сохраняла температурный режим, сотни тысяч лет обеспечивая плавность и охлаждения, и прогревания, т. е. именно то, что нужно для адаптации. Однако все, что сегодня наши ученые получили из палеобиоты, – только лишь удачное начало, и основные открытия еще впереди.

Одна из перспективных задач – получить из многолетнемерзлых пород препараты для продления жизни и улучшения ее качества. При этом микроорганизмы рассматриваются как неотъемлемая составляющая льда или другой мерзлой породы. Лед – среда обитания или, точнее, коэволюционирующая система с устойчивым неравновесием. И получение лечебного эффекта от препаратов из льда, где существовала или существует палеобиота, – вопрос ближайшего будущего. Уже сегодня наши коллеги готовят косметические препараты, добывая действующий компонент из физраствора, в котором находилась стволовая клетка [Штамм..., 2010]. Аналогично можно получать целебные вещества из льда, где жили бактерии.

Вместе с биологами мы должны продолжить исследование функции и роли льда в зарождении и поддержании жизни, в концепции периодически нарушаемого равновесия Эдриджа и Гоулда, с учетом множества редких качеств льда по сравнению с другими средами. Физические свойства льда таковы, что это и убежище от смертельных излучений, и термостат с минимальными температурными градиентами, и защита от химических и биологических мутагенов, и постоянно обновляющаяся среда. Одной только силы трения микрообъема внутри льда достаточно для появления пленочной воды; о водородных связях молекул льда, на которых основаны связи в белках, РНК и ДНК, было сказано выше. В любом случае, у нас появляются совершенно новые задачи в исследованиях криогенных и криогенетических образований, процессов и условий с теми же системными вопросами: кто? что? где? когда? сколько? и как?

На рис. 3 представлены последние результаты электронной микроскопии, полученные В.В. Роговым [Мельников и др., 2011]. Фотография вызывает множество вопросов: почему клетки (бактерии) располагаются в середине микрожилы льда, движутся они или находятся в покое, размножаются или нет, каковы механизмы и скорости их движения и т. д.

Как пишет в журнале “Биосфера” Л.М. Кондратьева: “В период замерзания воды на реках в криосфере происходят сложные продукционно-деструкционные процессы, которые по масштабам не уступают круговороту веществ в толще воды и донных отложениях” [2010, с. 399]. Криосфера

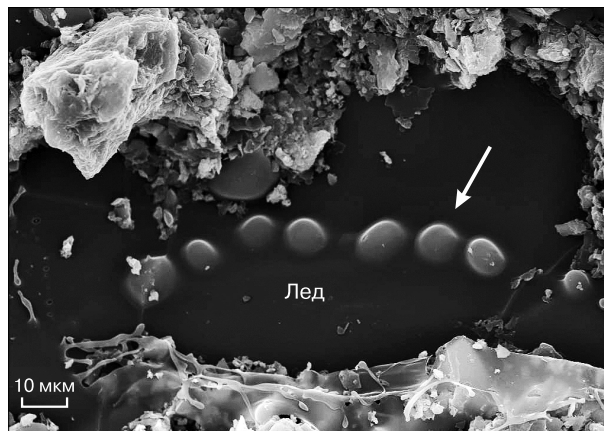


Рис. 3. Клетки в прожилке льда на Мамонтовой горе (показано стрелкой). Фото 03.02.2010 г.

Земли – ярчайший результат непрерывного воздействия энергии Солнца и внутриземных процессов на географическую оболочку Земли. Криосфера, хотя бы в некоторых ее элементах, вероятнее всего, появилась при рождении нашей планеты. Ее мозаичность, контрастность и вариативность были и будут основным объектом наших исследований.

Работа выполнена при поддержке РФН (№ 14-17-000131).

### Литература

- Адушкин В.В., Спивак А.А. Характеристика выхода радиоактивных продуктов подземного ядерного взрыва в атмосферу // Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях. СПб., Гидрометеиздат, 2000, с. 139–140.
- Варфоломеев С.Д., Демина О.В., Ходонов А.А., Лаптев А.В., Николаев Е.Н., Кононихин А.С. Молекулы и жизнь // Проблемы зарождения и эволюции биосферы. М., Либроком, 2008, с. 57–78.
- Вегенер А.Л. Происхождение континентов и океанов / А.Л. Вегенер. Л., Наука, 1984, 285 с.
- Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера / В.И. Вернадский. М., Айрис-пресс, 2004, 576 с.
- Гордиенко И.В. История развития Земли / И.В. Гордиенко. Новосибирск, Акад. изд-во “Гео”, 2008, 293 с.
- Гумбольдт А. География растений / Под общ. ред. Н.И. Вавилова. М.; Л., Сельхозгиз, 1936, 228 с.
- Заварзин Г.А. Микробы держат небо // Наука из первых рук, 2004, № 1(0), с. 20–27.
- Иванов А.В. Криогенная метаморфизация химического состава природных льдов, замерзающих и талых вод / А.В. Иванов. Хабаровск, Дальнаука, 1998, 163 с.
- Кадомцев Б.Б. Волны вокруг нас / Б.Б. Кадомцев, В.И. Рыдник. М., Знание, 1981, 152 с.
- Кондратьева Л.М. Лед как компонент биосферы и концентратор токсичных веществ // Биосфера, 2010, т. 1, № 1, с. 397–401.
- Котляков В.М. История климата Земли по данным глубокого бурения в Антарктиде // Природа, 2012, № 5 (1161), с. 3–10.

- Маэно Н.** Наука о льде / Н. Маэно: пер. с япон. М., Мир, 1988, 229 с.
- Мельников В.П., Рогов В.В., Курчатова А.Н., Брушков А.В., Грива Г.И.** Распределение микроорганизмов в мерзлых грунтах // Криосфера Земли, 2011, т. XV, № 4, с. 86–90.
- Менделеев Д.И.** Сочинения в 25 т. / Д.И. Менделеев (1934–1954). Л.; М., АН СССР. Т. 22. Метрологические работы. 1950, 868 с.
- Миланкович М.** Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата / М. Миланкович. М.; Л., Гостехтеоретиздат, 1939, 207 с.
- Моисеев Н.Н.** Коэволюция природы и общества. Пути ноосферогенеза // Экология и жизнь, 1997, № 2–3, с. 4–8.
- Неймар Н.** История Земли / Н. Неймар: пер. с нем. М., Просвещение, 1994, 761 с.
- Опарин А.И.** Жизнь, ее природа, происхождение и развитие / А.И. Опарин. М., Наука, 1968, 173 с.
- Пармон В.Н.** Естественный отбор среди молекул // Наука из первых рук, 2004, № 0(1), с. 32–41.
- Печуркин Н.С.** Энергия и жизнь. (Серия “от молекулы до организма”) / Н.С. Печуркин. Новосибирск, Наука, 1988, 190 с.
- Проблемы** зарождения и эволюции биосферы / Под ред. Э.М. Галимова. М., Либроком, 2008, 552 с.
- Слагода Е.А.** Реконструкция криолитозоны с применением микроморфологических признаков криогенеза в отложении позднего кайнозоя: Дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Тюмень, 2005, 199 с.
- Федонкин М.А.** Роль водорода и металлов в становлении и эволюции метаболических систем // Проблемы зарождения и эволюции биосферы. М., Либроком, 2008, с. 417–437.
- Федорец А.А.** Капельный кластер // Письма в ЖЭТФ, 2004, № 8, с. 457–459.
- Цыганова Е.А., Саламатин А.Н.** Палеоклиматическая интерпретация изотопного состава и возраст ледяного керна со станции Восток, Центральная Антарктида // Материалы гляциол. исслед., 2006, № 100, с. 5–23.
- Штамм** бактерий *Bacillus* sp., обладающий иммуномодулирующей и геропротекторной активностью: пат. 2413760 РФ / Брушков А.В., Грива Г.И., Карнаухов Н.Н., Мельников В.П., Репин В.Е., Суховой Ю.Г., Милованов В.И., Филин В.А.; заявка № 2009116228/10; заявл. 29.04.09; опубл. 10.11.10, Бюл. № 24.
- Юшкин Н.П.** Рожденные из кристаллов? // Наука из первых рук, 2004, № 0(1), с. 42–54.
- Dobzhansky Th.** Nothing in biology makes sense except in the light of evolution // Amer. Biol. Teacher., 1973, vol. 35, No. 3, p. 125–129.
- Wackett L.P., Sadowsky M.J., Newman L.M., Hur H.G., Li S.** Metabolism of polyhalogenated compounds by a genetically engineered bacterium // Nature, 1994, vol. 368, p. 627–629.

*Поступила в редакцию  
10 августа 2014 г.*