

## **Аспекты криософии: криоразнообразие в природе.**

Мельников В.П.<sup>1,2,3</sup>, Геннадиник В.Б.<sup>1</sup>, Брушков А.В.<sup>1,3</sup>

1 - Институт криосферы Земли СО РАН

2 - Тюменский государственный нефтегазовый университет

3 - МГУ им. Ломоносова

В настоящее время даже на фоне общего лавинообразного роста научной информации выделяется поток сведений об объектах и явлениях связанных с холодом и фазовыми переходами воды. Такие явления разнообразны и часто нетипичны, проходят на стыке живой и косной материи, но при этом часто легко наблюдаемы, актуальны (важны для практической деятельности человека) и выявляют неиспользуемые человечеством ресурсы и факторы устойчивости его существования.

Это наблюдаемое и ширящееся разнообразие – криоразнообразие, требует описания, анализа и последующего объединения в систему. В настоящий момент особенно важен философский взгляд на объект, предмет и методы криологии, с учетом ее взаимодействия и кооперации с другими науками, что уже составляют предмет нового философского направления в онтологии – криософии. [13].

### **Причины возникновения криософии.**

Философия, как и искусство, является врожденной потребностью человека, познающего окружающий мир. Почему появилась необходимость определения понятия «криософия» в научном мировоззрении? Причин, по которым возникает необходимость формулировки такого научного направления в философии и естествознании, несколько.

*Первая* заключается в постепенном освоении человеком новых просторов при расширении среды его обитания (Рис.1). Мировоззренческие представления о холоде, по существу основа криософии, так или иначе, складывались с древних времен, и востребованность в них росла по мере продвижения человека в северные широты и необходимости

обеспечения жизнедеятельности в суровом климате. Эти процессы сопровождались переосмыслением взглядов на окружающий мир, на свое место в нем, постепенно превращались в убеждения, принципы, новые знания побеждали страхи и суеверия, а новые адаптивные качества человека придавали силы в борьбе за лучшие условия жизни и покорении новых территорий.

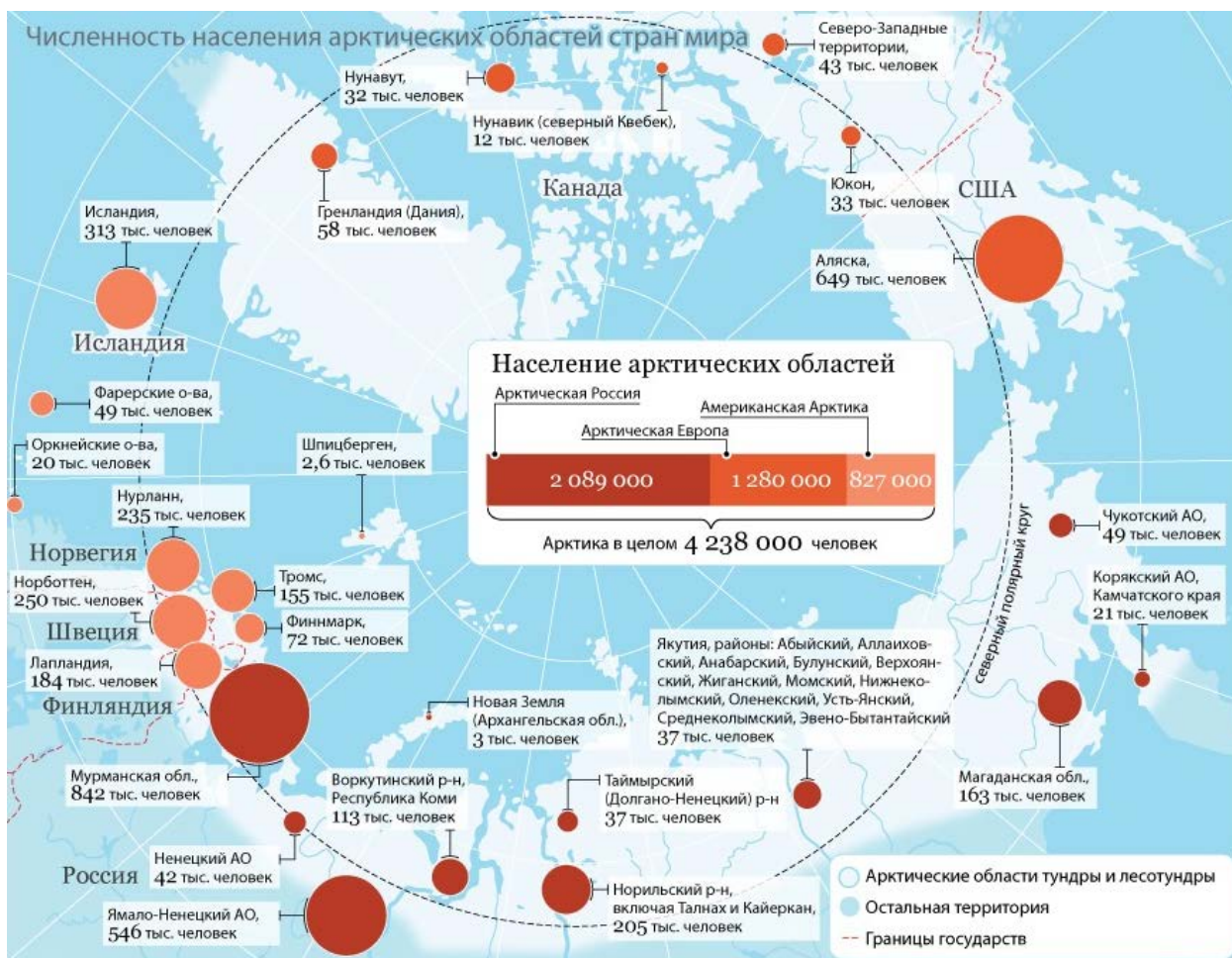


Рис 1. Жизнь за полярным кругом (инфографика РИА Новости).

Вторая причина связана с расширением горизонтов познания и обусловлена глубоким проникновением процессов при низких температурах и процессов, связанных с фазовыми переходами воды и других веществ, в современные научные представления о криосфере. Примером может служить, в частности, геокриология, изучающая криогенные и иногда весьма неожиданные преобразования литосферы при охлаждении горных пород ниже температуры замерзания.

Становится очевидным, что многие принципиальные процессы в микромире, в почвоведении и биологии, метеорологии и геофизике, в космологии связаны с охлаждением и фазовыми переходами воды в лед. Так, например, не исключено важное влияние кристаллизации воды, которая способна к полимеризации – соединению большого числа молекул, при образовании сложных органических молекул и структур на стадии зарождения жизни. По гипотезе Аррениуса-Гольданского, жизнь зарождалась в холодных облаках при криогенных температурах в результате ударной полимеризации и других процессов [6]. Оказалось, многие рибосомы работают лучше всего при низких температурах, что может быть свидетельством того, что жизнь зарождалась в холодных условиях [5]. Или, при ее занесении на Землю из других обитаемых миров, очевидна консервирующая роль холода. Исследования внеземной жизни направлены на ее поиски в холодных областях спутников Юпитера, Марса и других планет, а сегодня одной из наиболее захватывающих проблем в этой области является обнаружение жизни в подледниковых озерах Антарктиды.

Структура воды может представляться как смесь гидратных – льдоподобных структур. Это, например, имеет большое значение для понимания жизнедеятельности организмов. Доказано, структурированная форма воды в межсинаптических образованиях мозга обеспечивает, с одной стороны, передачу импульсов с нейрона на нейрон, а, с другой стороны при попадании в эти участки наркотического вещества такая передача нарушается, то есть наблюдается явление наркоза. Льдоподобная плёнка вокруг ДНК увеличивает эффективный диаметр цилиндрической макромолекулы ДНК в водном растворе на 40%, по сравнению с безводным состоянием макромолекулы ДНК, что принципиально при считывании с неё информации. Уже небольшое нагревание (до 50-60°C) приводит к денатурации белков и прекращает функционирование живых систем. Между тем охлаждение до полного замерзания и даже до абсолютного нуля не приводит к денатурации и не нарушает конфигурацию системы биомолекул, так что жизненная

функция после оттаивания сохраняется. Аналогичное поведение характерно для ферментов, регулирующих обмен веществ в организмах [4].

*Третья* причина обусловлена возрастающим экономическим значением криосферы. Ресурсная база энергетики и промышленности передвигается на Север и даже дальше – на шельф Северного ледовитого океана (Рис.2). Распространение лессов – обширного, протягивающегося через все Северное полушарие, пояса горных пород с крайне неблагоприятными свойствами, современные аварии зданий, дорог, мостов из-за недостаточной морозостойкости обусловлены циклами промерзания-оттаивания. Едва ли не половина зданий за Полярным кругом испытывает угрожающие деформации. А состояние дорог в России? Не все знают, что некоторые канадские дороги не в лучшем состоянии, и причина заключается не только в качестве строительства, но и повсеместном развитии пучения при промерзании грунтов. Безопасность энергетических артерий страны – нефте- и газопроводов, сегодня в значительной степени определяется криогенными процессами.

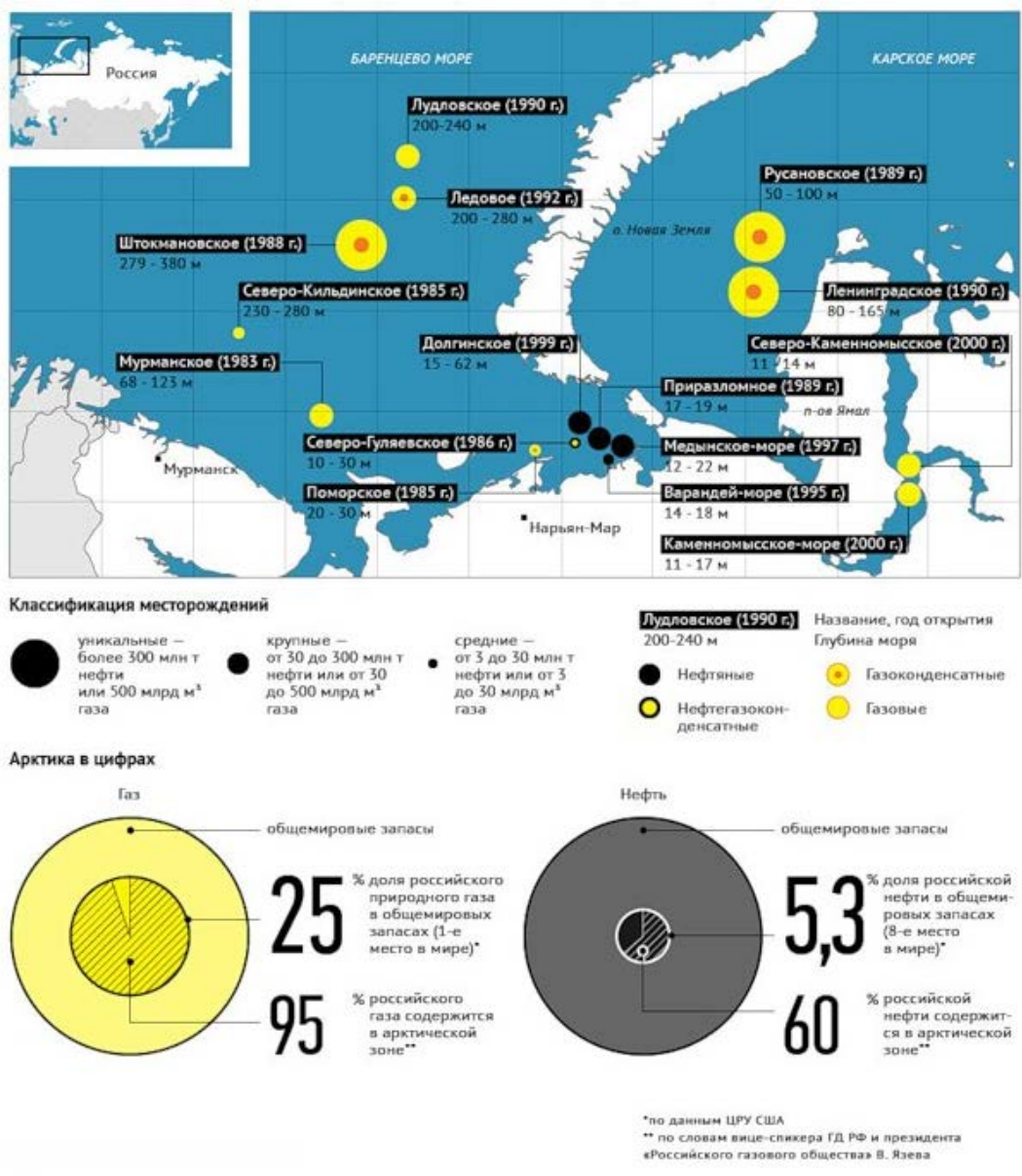


Рис 2. Российские нефтегазовые месторождения в Арктике (инфографика РИА Новости).

Холод становится основой технологий, и в этом четвертая причина. Стремительное развитие холодильной, криогенной и климатехники, обусловленное все более возрастающей потребностью в практическом использовании низких температур, пришлось на XX в. Развитие атомной энергетики, авиации, электроники, а также пищевой и химической промышленности, медицины, добычи и транспортировки промышленных газов было бы невозможно без применения холода. Получение, хранение, транспортировка и практическое использование многих промышленных газов

реализуются в широком диапазоне низких температур (0,3 – 165 К). В XX столетии их производство постоянно увеличивалось в соответствии с нуждами химической и металлургической промышленности, авиации, космонавтики, оборонной промышленности, энергетики, биологии, медицины, электроники, строительства и других областей хозяйственной деятельности.

Развитие космической техники, а в последние годы нанотехнологий, стимулировало создание криовакуумных систем и аппаратов. Еще в Советском Союзе под руководством проф. В.П. Белякова была построена самая крупная в Европе криовакуумная камера объемом 10000 м<sup>3</sup>, в которой был испытан космический аппарат «Буран». Остройшей проблемой является сохранение гелия для будущих поколений. Она обусловлена тем, что доля гелия, получаемого в виде продукта, не превышает 10 % его общего содержания в добытом природном газе. Основная же часть гелия, содержащаяся в добываемом природном газе, выбрасывается в атмосферу и в конечном итоге диффундирует в космическое пространство. Первые в мировой практике пассажирские самолеты (ТУ-155) на жидком водороде и СПГ были сделаны в СССР и летали в 1990–1991 гг. в Ниццу, Ганновер и Берлин.

В строительстве холод начали применять для замораживания грунта при прокладке первых московских линий метрополитена в середине 30-х годов прошлого века. Для очистки воздуха от диоксида углерода при использовании станций метро в качестве бомбоубежищ в 50-х годах была разработана и создана уникальная криогенная установка, а позднее были разработаны системы регенерации воздуха для подводных и космических аппаратов, создана криовзрывная технология переработки старых автопокрышек.

Развиваются криохирургическое и криотерапевтическое (криосауна) направление в медицине. Криогенное хранение спермы, эмбрионов, костного мозга, крови, освоенное в 60-х годах XX в., сейчас широко используется. Большое значение для сохранения запасов генофонда мировых и национальных растительных ресурсов имеют криогенные

хранилища семян, которые создаются в ведущих странах. Уникальные диагностические возможности в медицине достигнуты благодаря использованию сверхпроводимости и ядерного магнитного резонанса (ЯМР). В итоге можно утверждать, что в течение последних 20 лет холод активно внедрялся в медицинскую практику и биологию, и этот процесс, несомненно, будет усиливаться в XXI столетии.

Наконец, пятая, и основная причина заключается в том, что физические явления в криосфере не просто все в большей степени становятся частью техники, естествознания и объясняют многие явления в окружающем мире, но касаются наиболее важных для человека и его мировоззрения вопросов. В частности, вопрос состояния Вселенной до «Большого взрыва», и непосредственно после него, холодная темная материя, далекое будущее Вселенной, происхождение жизни и ее присутствие на других планетах, появление разума и даже возможность продления жизни – эти проблемы, так или иначе, глубоко и почти загадочно связаны с холодом.

### **Понятие холода.**

Для того, чтобы определить понятие «холода» и его значение в философии и естественных науках, обратимся прежде к основным философским категориям. Материей (от лат. *materia* — строительный лес), как известно, называют философскую категорию для обозначения вещества, субстанции, обладающую статусом первоначала (объективной реальностью) в материалистической философской традиции, в противоположность сознанию (духу). «Холод» может рассматриваться как философская категория, конкретизирующая категорию «состояния» материи, своеобразную ее ипостась.

Категория «состояние» получила свое развитие в естественных науках, хотя ее философский статус рассматривался недостаточно. Еще Фалес считал, что «сущность чего сохраняется, а состояния изменяются» [1]. Демокрит рассматривал преходящие состояния как выражение вечности движения [1], а Лукреций указывал, что: «Из одного состояния все переходит в другое» [17]. Состояние было важным понятием в философской системе

Платона, считавшего, что переход космоса из состояния «древней упорядоченности» в состояние «наилучшего устройства» направляется богом, а из состояния «древней упорядоченности» образуются формы вещей [16]. Как полноценное понятие «состояние» в философию вводит Аристотель в книге «Категории», определяя его как «...такие виды качества, которые легко поддаются колебаниям и быстро изменяются, каковы, например, тепло и холод...» [10]. Состояние, по Аристотелю, частный случай качества: «всякое тело, испытывающее эти состояния, пребывает как нечто сущее и как некоторая сущность» [2]. Таким образом, «холод» как сущность выступает со времен Аристотеля, хотя, с другой стороны, и является формой связи между качествами материи.

Позднее понятие «состояние» используется в работах Г.Лейбница [9] в виде представлений о смежности и взаимосвязи состояний. Понимание И. Канта в известной степени близко Аристотелю: «изменение есть способ существования, следующий за другим способом существования того же самого предмета» [8]. И, конечно, понятия «состояние» в полной мере раскрывается у Г. Гегеля, у которого качественные отличия предметов определяют их устойчивость. У Гегеля качественные изменения выражаются понятием скачка, аналогичного, по сути, фазовому переходу из одного качественного состояния в другое, например, превращению воды в лед.

Интересно, что по Аристотелю категория энергии выступает первичной по отношению даже к материи, причем формой энергии является и душа человека. Средневековая же перестройка научного мышления закончилась выхолащиванием понятия энергии, низведя ее до понятия "лошадиной силы"». В этой связи следует упомянуть концепцию энергетизма Вильгельма Оствальда, который считал энергию единственной мировой субстанцией, что в известной степени совпадает с представлениями современной физики.

В новейшей истории наука о холоде зародилась в рамках учения о теплоте в XVIII в. В ее основе лежат публикации И. Ньютона «О шкале степеней тепла и холода» (1701 г.), М.В.



Ломоносова «Размышления о причине тепла и холода» (1744 г.) и Л. Эйлера «О природе тепла» (1752 г.).

### **Пространственно – временные и энергетические проявления криогенных процессов, образований и условий.**

Несколько упрощая ситуацию, можно сказать, что ключевым объектом криологии является лед, и, в частности, его фазовые переходы. Неслучайно температура фазового перехода лед-вода при атмосферном давлении принята за точку отсчета в шкалах Цельсия и Реомюра.

Бытуют трактовки, в которых лед – просто побочный продукт превращений воды. Говорят о трех агрегатных состояниях воды, но никто не скажет о трех агрегатных состояниях льда. Налицо наше субъективно-видовое восприятие мира, инстинктивно (и биологически) нам ближе вода, нежели лед.

Вариативность состояний воды и льда несопоставимы. У льда 17 кристаллических модификаций, огромное многообразие льда в земной коре и атмосфере, на поверхности и в массе воды, подземный первичный и вторичный лед и т.д.

Определение планетарного льда может быть таким: лед – химическое соединение основных элементов литосферы и нижних слоев атмосферы планет – твердое тело, превращающееся в жидкое или газообразное состояние при изменении условий, имеющее, как правило, кристаллическое строение с микро или макро включениями жидкостей, газов и твердых частиц. Таким образом, наиболее распространенные виды льда включают водный, уголекислотный, метановый лед и лед газовых гидратов.

Лед объединяет в себе противоположные свойства: кристалл – аморфное тело, упругость – пластичность, полупроводник – диэлектрик, легче воды – имеет твердость стального ножа [11]. Сложность внутренней структуры льда и особенности его фазовых переходов вдали от равновесных состояний сами по себе достаточны для формирования упорядоченного синергетического поведения и образования устойчивых макроскопических объектов. На

энергетической шкале между водой и паром расположен один из таких объектов – «капельные кластеры» – устойчивые диссипативные структуры в виде упорядоченных миниатюрных шариков конденсата одинакового диаметра, образующиеся в градиентной области над локально нагреваемой жидкой фазой [19]. Подобные явления могут оказаться тем самым недостающим звеном между косной и живой материей.

Наличие криосферы изменяет сущность, характерные времена и скорости геологических и биологических процессов, позволяет регистрировать информацию о состоянии геосфер Земли, тесно связано с синергетическими процессами, возникновением и развитием жизни.

Криосфера тесно связана с циклами, причем эта цикличность заметно разнообразнее, чем принято думать. В «холодное время года» (в северном полушарии осень – зима – весна) для криогенных систем важны циркадные (суточные циклы). На протяжении суток происходят фазовые переходы вода-лед, стабилизирующие температурный режим для живого. Изменение метеорологических условий с суточной периодичностью дня также увеличивает число криогенных циклов. Ряд процессов вызывается именно этими циркадными циклами – морозобойное растрескивание, физическое (криогенное) выветривание и другие. Заметнее проявляется годовая цикличность криосферы, снег и лед длительное время находятся в устойчивом состоянии, создавая криогенные условия. Надо отметить, что в полярных регионах циркадные циклы естественным образом исчезают (полярные день и ночь длятся по полгода) и живое тоже приспосабливается к этому (например, северные олени имеют особенности биологических часов). На криосферу влияют и другие крупнопериодические циклы: одиннадцатилетние и 270-летние циклы солнечной активности, а также астрономические циклы других периодов.

Более сложная цикличность наблюдается в таких криогенных образованиях, как ледники. Испарившиеся молекулы льда кристаллизуются на температурном атмосферном фильтре в облаках и выпадают в виде снега. Если за теплый период года снег не успевает растаять,

происходит аккумуляция ледника – вязко-пластичного массива льда и фирна. Под действием силы тяжести ледник постепенно стекает в область абляции, где механически разрушается, тает и испаряется. Таким образом, каждый ледник определяет собственный характерный период времени, зависящий от климата (температуры и влажности) и географии местности (рельефа и строения горных пород). Периодичность таких циклов может быть самой разнообразной, от нескольких лет в горах и приполярных областях, до десятков тысяч и более лет (в Гренландии и Антарктиде). Интересны задачи взаимодействия разнопериодических циклов в таких системах.

Необходимо отметить, что и для циклических процессов криосферы прослеживается связь между холодом и жизнью: и в том и в другом случае можно говорить об энтропийных циклах в условиях интенсивных тепло-массо обменов. И рождение (развитие) живого, и образование льда из воды и пара понижают энтропию системы, формируя самоупорядоченные сложные системы.

Наиболее актуальной научной проблемой в области окружающей среды является глобальное потепление. При этом оказывается, что структурные элементы криосферы находятся в числе объектов, на которые влияние потепления проявится в первую очередь, но в разной степени.

Неоспоримо, что именно наличие атмосферы с ее температурным экраном, агрегирующим молекулы воды в частицы льда, не позволяет воде покидать Землю. Именно этот фактор является ключевым для возникновения жизни на нашей планете. Все изменения в криосфере Земли, так или иначе, воздействуют на формирование и эволюцию среды жизнеобеспечения. Как известно, озон в атмосфере образовался около 400 млн. лет назад, после постепенного и достаточного накопления в ней кислорода за счет фотосинтеза. И только после этого жизнь из океана шагнула на сушу [7]. Рождаясь в атмосфере, озон стремится к распределению по высоте аналогичному распределению воздуха. Важнейший вывод, который напрашивается из этого это то, что выход живых организмов из воды и

отрыв от Земли, т.е. свободное существование в атмосфере (тропосфере) – это результат слабости и непрочности водородных связей.

Биологическая роль водорода в энергетике древнейших биосистем первостепенна. Водород – первичный источник электронов и протонов, главный субстрат микробной жизни, основа энергетики метаболизма [25]. Он определяет прочность и пластичность 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 факторам, 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.

Предмет криологии в большей степени – это трансформации и взаимодействия первоэлементов из начальной и второй волны - H и O. Криософия призванная акцентировать знания о криосфере, о биокосных системах, может занять свою нишу в концепциях происхождения и эволюции жизни и живого вещества, если истоки эволюции вынести за рамки конкретной планеты. Основной компонент криосферы – лед (предшественник воды) ведет свое происхождение из первых мгновений возникновения Вселенной, когда появляется водород и, чуть позже, кислород. Их агрегирование и появление водородной связи лежит в основе и неживого, и живого вещества.

То, что средняя годовая температура на Земле длительное время не отклонялась значительно от точки фазового перехода лед-вода, представляется счастливым для жизни, но довольно естественным явлением (Рис. 3).

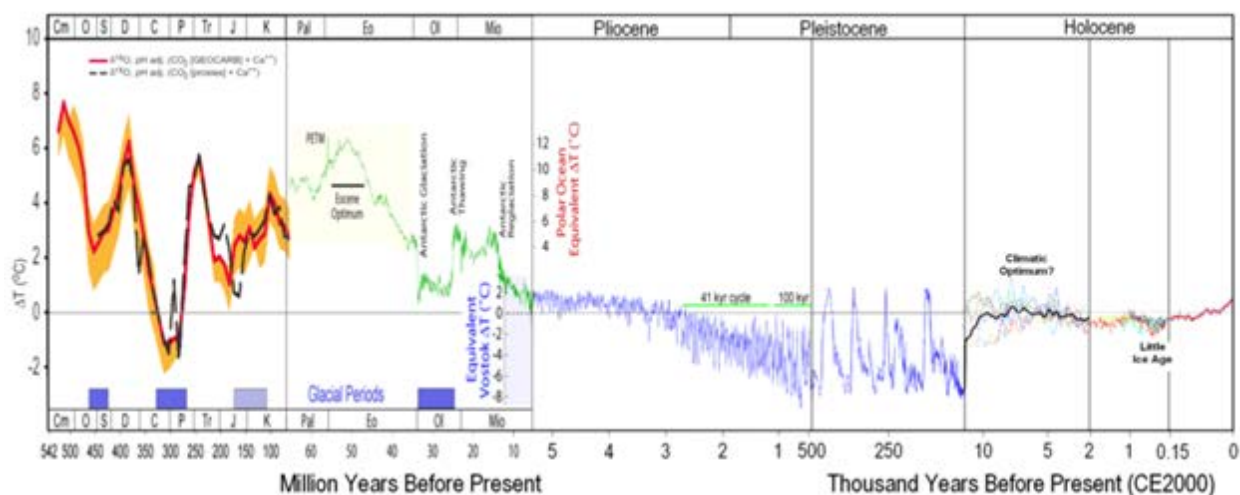


Рис. 3. Тепловая история Земли [24].

Лед, как и вода, имеет уникальные термоинерционные свойства, которые в сочетании с их распространенностью на поверхности Земли, позволяют криосфере выполнять функцию стабилизатора температуры. Для сравнения теплоемкость воды (4,183 кДж/(кг•К)) в 5 раз выше средней теплоемкости почвы, а ее объемная теплоемкость в 3,3 тыс. раз выше теплоемкости воздуха. Высокие теплоемкости воды и льда (2,060) делают их главными аккумуляторами солнечной энергии на планете. Сама точка фазового перехода обладает дополнительной, и тоже аномальной, термоустойчивостью. Удельная теплота плавления льда (332 кДж/кг) в 5 раз больше, чем у золота (66,2) и, например, в 28 раз больше, чем у ртути (12).

Температурная устойчивость определяет благоприятные для возникновения и развития живого условия. Лед выступает в роли биопротектора, стабилизируя параметры внешней среды.

До сих пор неизвестна причина появления около 900 - 1000 млн. лет назад многоклеточных организмов [18]. Очевидная увеличенная потребность в кислороде у многоклеточных организмов традиционно объясняется постепенным его накоплением в атмосфере за счет фотосинтеза, но инициация их развития вполне могла быть связана с повышением его концентрации в холодной воде. И появление скелетных организмов,

приуроченное к границе протерозоя и фанерозоя, связано, по мнению ряда авторов, со свойством выделения организмами карбоната кальция в условиях, богатых кислородом. Обогащение кислородом мирового океана на пороге венд-кембрий, скорее всего, связано с мощным оледенением Земли, понижением температуры воды и увеличением растворимости газов, а также ледовым покровом и особенностями циркуляции воды в это время (Рис. 4 и 5).

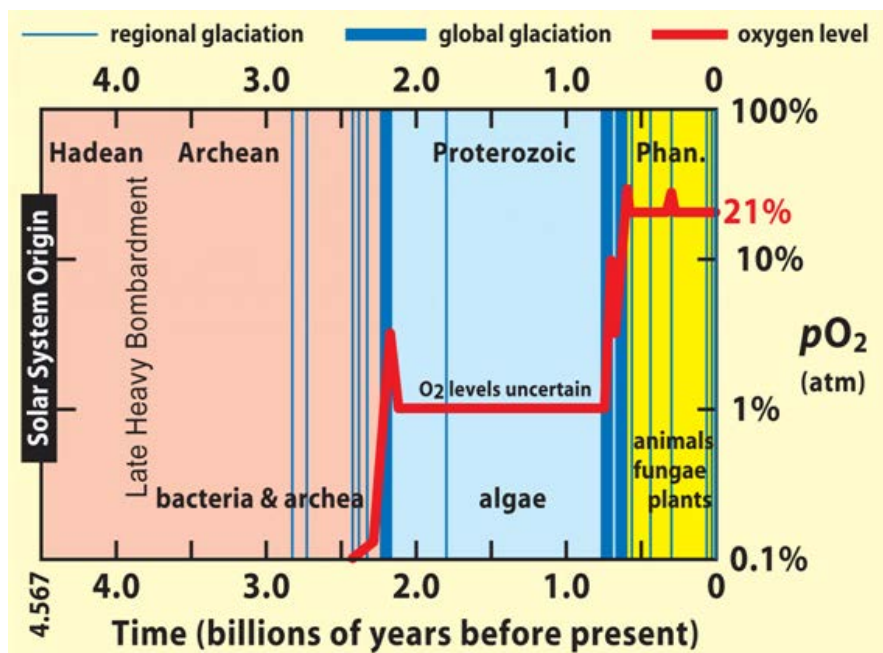


Рис. 4. Протерозойские оледенения и связанные с ними события: обогащение атмосферы кислородом и появление новых организмов [22].

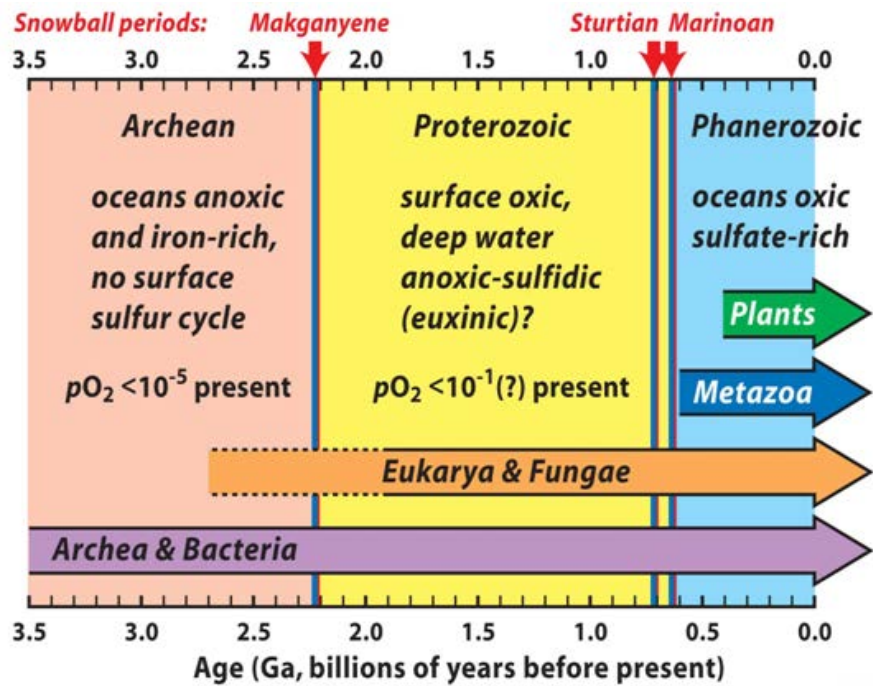


Рис. 5. Холодные эпохи протерозоя, изменения химического состава океанов и эволюция живых организмов [22].

Интересно, что именно в это холодное время венда появляются первые гигантские организмы – гигантизм, как известно, характерен для полярных областей, и связан, в том числе с особенностями теплообмена.

Эпохи похолодания и эволюция живых организмов оказываются связанными на протяжении всего фанерозоя. С похолоданием в юрском периоде, а затем и в конце мелового периода могут быть связаны крупнейшие эпохи вымирания, которые произошли в это время. Появление Homo sapiens произошло во время крупнейшей ледниковой эпохи, а в роли похолодания в происхождении и развития человека много неясного и она нуждается в исследовании (Рис. 6). Почему, например, появление искусства произошло едва ли не в самое холодное время плейстоцена?

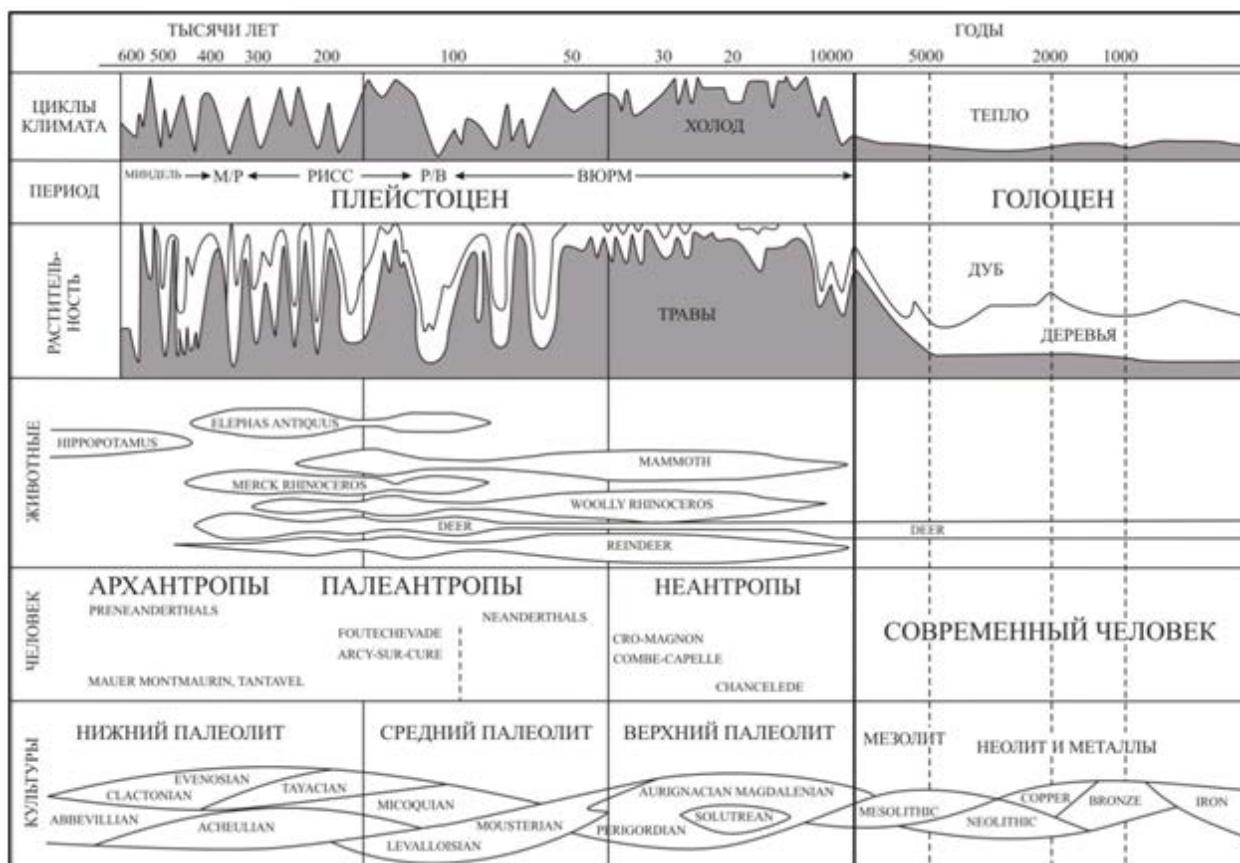
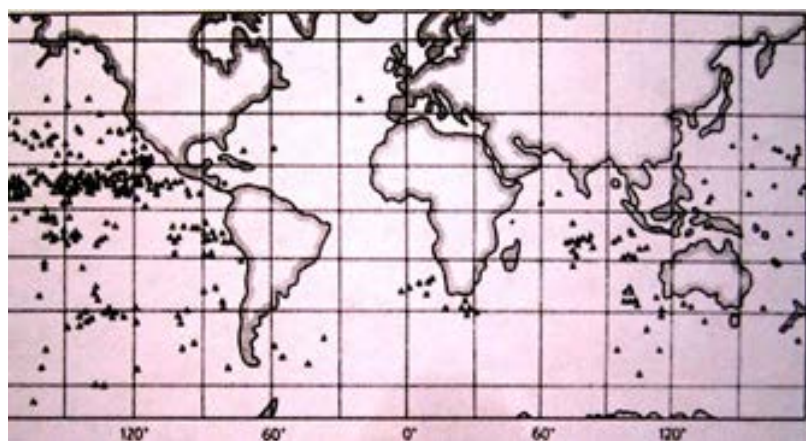


Рис. 6. Изменение природной среды и эволюция человека [20].

Геологические процессы, обусловленные криогенезом, не менее разнообразны. Среди них образование тиллитов и морен, гляциоэвстазия, а также менее известные явления, например, образование поясов железо-марганцевых конкреций (ЖМК) в мировом океане за счет нарушения циркуляции течений при морском оледенении и распределения газов в воде. Ресурсы ЖМК в Мировом океане распределены с загадочной неравномерностью: 85% марганца и более 95% редких металлов залегают в экваториальной части Тихого океана. Разведанные запасы богатых и очень богатых руд составляют здесь 10 млрд. т. В Индийском океане ресурсов заметно меньше, в Атлантике, морях Арктики и Антарктики их почти нет. Их концентрация в экваториальной области Земли (Рис. 7) свидетельствует о возможном формировании восстановительной среды подо льдом вблизи полярных областей и выносе материала к экватору, где в свободных ото льда районах оставалась окислительная обстановка и могло происходить образование конкреций.





*Рис. 7. Ресурсы ЖМК в Мировом океане [3].*

Не исключено, что и накопление железистых кварцитов КМА и других районов Земли обусловлено вовсе не деятельностью железобактерий, а колебаниями кислорода в воде, в том числе циклическими, связанными с похолоданиями и потеплениями.

Резкое понижение энтропии при формировании сложных органических молекул и биополимеров в процессе самого возникновения жизни также могло быть связано с понижением температуры и влиянием льдообразования, но об этапах раннего развития Земли известно меньше. Существование крупных оледенений в архее пока не установлено, но, вероятно, следы их будут найдены в будущем.

Причина оледенений остается дискуссионной, но их цикличность не оспаривается. Не исключено, что их повторяемость связана с глобальной геологической цикличностью. Как известно, химическое выветривание горных пород связано с сокращением содержания углекислого газа в атмосфере для поддержания постоянства карбонатного равновесия в воде. Широкое развитие процессов выветривания приводит, таким образом, к уменьшению парникового эффекта, похолоданию и возникновению оледенения (Рис. 8).

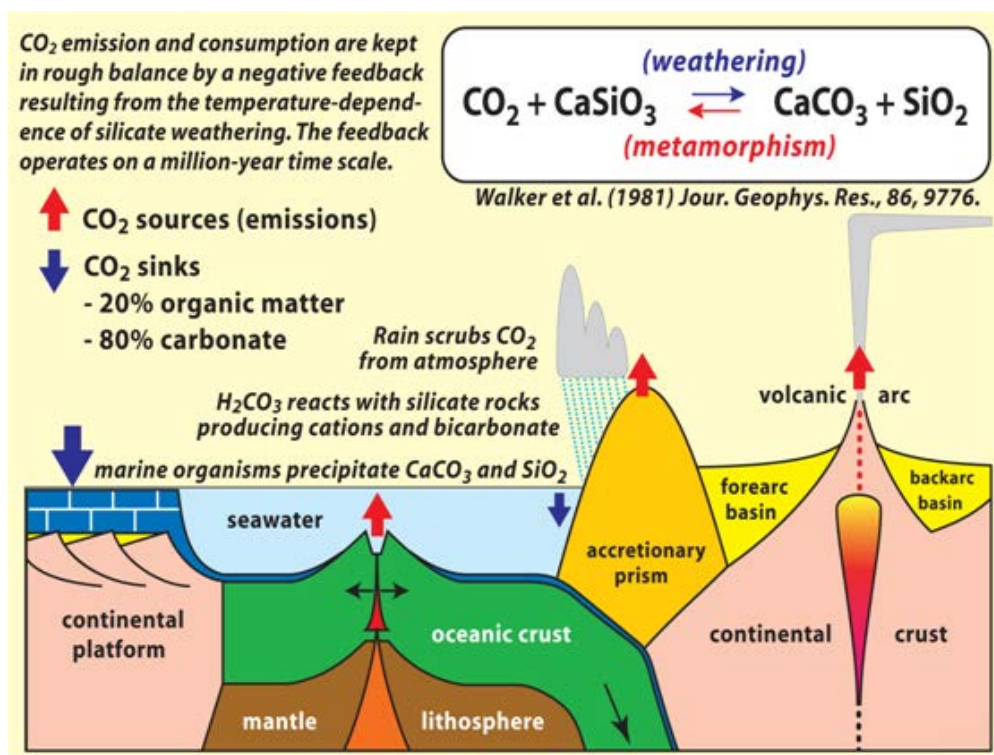


Рис. 8. Углекислота и ее динамика в геологических процессах [22].

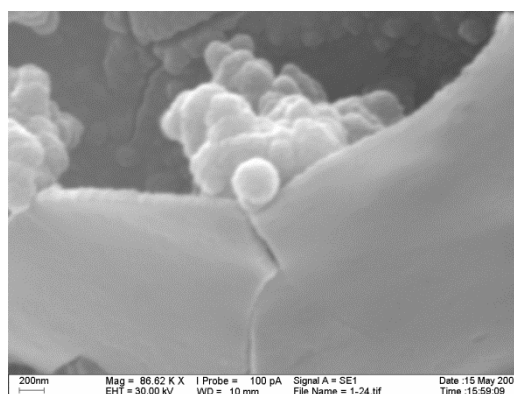
Оледенение сокращает области выветривания и, вероятно, приводит к постепенному нарастанию содержания углекислоты в атмосфере, например, за счет сокращения фотосинтеза и, наоборот, усиления дыхания разлагающих погибающую органику бактерий. Таким образом, процессы оказываются цикличны, и осцилляции криосферы – фазы глобальных геологических циклов Земли.

Союз криологии с биологией напрашивался уже с первых лет существования мерзлотоведения. Находки мамонтов, оживающие насекомые, добытые из мерзлоты, будоражили умы уже в первой половине прошлого века.

Сегодня работы по криобиологии можно читать как фантастику: ожившие гусеницы, бабочки, т.е. высокоорганизованные существа после длительного замораживания до -269<sup>0</sup>С, беспозвоночные – коловратки, нематоды переносили в высушенном состоянии глубокое охлаждение до -271<sup>0</sup>С. Так что жизнь в мерзлых породах в естественных условиях – это просто курортное существование для микроорганизмов.

Как показали керны со станции Восток, природа куда надежней человека сохраняла температурный режим, сотни тысяч лет обеспечивая плавность и охлаждения и прогрева то, что и нужно для адаптации. То, что уже сегодня наши ученые получили из палеобиоты это только лишь удачное начало и основные открытия еще впереди.

Наши исследования (Рогов и др.) показали, что микроорганизмы могут существовать в древних толщах как единичные клетки, то есть жизнь способна не только к росту при низких температурах, но и к длительной консервации. При этом микроорганизмы могут находиться внутри ледяных кристаллов, лишённые возможности обычного обмена веществом с окружающей средой.



*Рис. 9. Единичная клетка в мерзлых породах [14].*

Мерзлая толща – система с замедленным временем и меньшим числом степеней свободы для существующей в ней жизни. Лед надежно защищает бактерии от механических нагрузок, процессов переноса и сторонних химических реакций, электромагнитных полей. Потепление и похолодание – два основных типа изменений параметров среды породили два типа ответов живого – на понижение и повышение температуры. На основе таких организмов заманчиво изучать вопросы создания термоадаптивных в том числе и для человека.

Одна из практических задач ученых – получить из мерзлоты препараты для обеспечения качества жизни, то, что пока она обеспечивает микроорганизмам-экстремофилам. Лед среда обитания или точнее – коэволюционирующая система с устойчивым

неравновесием, при этом микроорганизмы следует рассматривать как неотъемлемую составляющую льда или другой холодной среды.

Вместе с биологией криология должна еще проложить общую дорогу к пониманию функции льда в зарождении и поддержании жизни, в концепции периодически нарушаемого равновесия Эдриджа и Гоулда. Уж слишком много плюсов у льда по сравнению с другими средами. Физические свойства таковы, что лед – это убежище от смертельных излучений, это термостат с минимальными температурными градиентами, это защита от химических и биологических мутагенов, это постоянно обновляющаяся среда.

Вот свежий пример сродства живого и холодного. В 2008 году группа учёных под руководством Б. Крайстнера обнаружила, что за образование почти всех осадков могут отвечать бактерии, в частности, *Pseudomonas syringae* [21]. Было доказано, что бактерии могут путешествовать с облаками на дальние расстояния и быть причиной осадков по всему миру при достаточно высоких температурах. Ничего удивительного в этом нет – кристаллизация происходит на неоднородностях. Бактерии, имея относительно малый удельный вес, являются главными претендентами на роль зародышей новой фазы на больших высотах, где и образуются осадки – другие геометрически крупные объекты туда не поднимаются. Но важно именно то, что это не является удивительным.

Для любых изучаемых объектов и процессов можно определить характерные пространственные и временные масштабы. Классическая исследовательская парадигма предполагает, как правило, рост временного масштаба с ростом масштаба пространственного. Это соответствует существованию интервала скоростей развития традиционно исследуемых объектов. Однако наблюдается все больше явлений, выпадающих из этого ряда и часто они связаны с криосферой выступающей в роли замедлителя или ускорителя времени. Это те же палеобактерии, законсервированные на

аномально-долгие сроки ледяными экранами. Криогенная система замедляет время в толще и ускоряет его на границах, создавая сильные градиенты развития.

Примером одного из широко распространенных явлений может служить переохлаждение воды. Несмотря на общеизвестность, многое в природе метастабильных состояний остается неизученным. Например, достоверно неизвестно, в течение какого времени вода может оставаться переохлажденной, - месяцы, годы, или неограниченно долго. При этом метастабильные состояния встречаются в природе гораздо чаще, чем принято считать. К их числу относится, например, не только стеклообразование, но и сравнительно недавно обнаруженные метастабильные газовые гидраты [23]. Их исследования еще только начинаются.

Гидролиз, как известно, одна из важнейших химических реакций, как для живого, так и неживого вещества. В частности, выветривание горных пород обусловлено в значительной степени именно гидролизом. При этом химические реакции возможны и в твердой фазе, а существование незамерзших пленок на поверхности льда определяет возможность существования реакций криолиза, пока почти не изученных.

Этот далеко неполный перечень новых или ранее мало обсуждаемых проявлений криоразнообразия, не затрагивающий уже наблюдаемые впечатляющие криогенные процессы и явления на других планетах Солнечной системы, дает представление об актуальности исследований криосферы. В условиях осознания криосферы в качестве ресурса, источника благ и возможностей для человечества, а не источника угроз, необходимо создание новой методологии её исследования. Не смотря на вводный характер статьи и стоящий в ее заголовке термин «криоразнообразии», коснемся кратко особенностей такой методологии.

### **Особенности криогенеза как основа криоразнообразия.**

Итак, в чем причины криоразнообразия, что определяет единство разнородных криогенных явлений? При всем их многообразии целесообразно выделить четыре

основные особенности льда: аномальные термодинамические и электромагнитные свойства, промежуточную интенсивность водородной связи, метастабильные состояния (переохлажденная вода, аморфный лед, газогидраты) и широкую распространенность криогенных систем и условий.

*Аномальные термодинамические и электромагнитные свойства льда.*

В первую очередь необходимо отметить аномально высокие теплоемкость, удельную теплоту плавления и диэлектрическую проницаемость льда. Они формируют глобальный климат, определяют существование ледяных экранов различных масштабов – от самоконсервации газовых гидратов в мерзлоте до экранирования континентов, обеспечивают стабильные условия возникновения и существования Живого.

Уникальные термоинерционные свойства льда (впрочем, как и воды), в сочетании с их распространенностью на поверхности Земли, позволяют криосфере выполнять функцию стабилизатора температуры. Следствием является уменьшение характерных скоростей процессов и, как результат, появление нетипичных объектов с нехарактерными собственными временами и размерами.

*Промежуточная интенсивность водородной связи.*

Только кристаллы льда построены на одних водородных связях, т.е. можно считать лед – стандартом водородных связей. Устойчивость водородной связи обеспечивает достаточную стабильность криогенных систем, с другой стороны, ее относительная малость (водородные связи примерно на порядок слабее ковалентных) объясняет их высокую подвижность. Те же водородные связи играют важнейшую роль в белках, нуклеиновых кислотах, в биополимерах. Сама жизнь обязана своим возникновением водородным связям, т.к. все биохимические процессы в живом организме – это процессы, когда рвутся и возникают вновь водородные связи. Таким образом, криогенные системы определяют скорости соразмерных живому процессов на всем протяжении их существования.

### *Широкая распространенность криогенных систем.*

Благодаря функционирующим в Земле геохимическим особенностям и имеющимся в течение геологической истории термодинамическим условиям, одно из наиболее распространенных веществ –  $H_2O$  находится на поверхности планеты в трех агрегатных состояниях [15]. Криосфера, неизменно присутствующая на этой глобальной арене взаимодействия Живого с Природой, определяет особенности как косной, так и живой природы. Следствием этого с одной стороны является сродство холодного и живого (криофильность), приспособившегося к криогенным условиям, с другой стороны наилучшая изученность криосферы по сравнению с другими геосферами, что позволяет рассматривать криологические исследования в качестве эталонных.

### **Криософия – трансдисциплинарный императив развития познания.**

Суть криософии в научном осознании места и роли холодной материи в происхождении и эволюции вещественно-энергетических взаимодействий, в зарождении и поддержании жизни. Она призвана изучать наиболее общие существенные характеристики и фундаментальные принципы криосферы во всех ее проявлениях, использовать как классические (при исследовании простых физических и химических систем) и синергетические (при исследовании сложного и живого) подходы, так и методы информационной логистики, продуцирующие знания о знаниях.

Инструментом менеджмента знаний является разработка информационной онтологии криосферы – детальной формализации области знаний с помощью системы связанных понятий [12]. По мысли Гегеля, система понятий, построенная по принципу субординации и их соподчинения, и есть форма истины. Простой механический набор понятий не передает всей сложности реальных отношений, их взаимообусловленности и взаимопереходов. Задача исследователя — обнаружить эту реально существующую систему отношений, лежащую в основе, как бытия, так и тождественного с ним сознания.

Криология все чаще оперирует несвойственными классической прикладной науке терминами: разнообразие, устойчивость, сложность, эмергентность, системы объединяются в метасистемы, на смену моделям приходят их иерархии. Все это придает ей черты постнеклассической науки основными особенностями которой являются трансдисциплинарность и актуальность. В условиях лавинообразного расширения объекта и предмета исследования, оставаясь в границах старой узкой методологии, геокриология, уже не сможет удовлетворять велению времени.

### Литература

1. Антология мировой философии в 4-х томах. М., «Мысль», 1969 - 1973.
2. Аристотель. Метафизика.: Институт философии, теологии и истории св. Фомы, 2006.
3. Батурин Г.Н. Рудный потенциал океана // Природа 2002 №5. с.20–30
4. Вилли К., Дегье В. Биология. Мир, 1975, 822 с., ил.
5. Власов А.В., Джонстон Б., Лэндвебер Л., Казаков С.А. РНК-катализ в замороженных растворах // Доклады Академии наук. - 2005. - Т. 402, N 3. - с. 402-404
6. Гольданский В.И., Трахтенберг Л.И., Флеров В.Н. Туннельные явления в химической физике, М., 1986
7. Добрецов Н.Л. Что мы знаем и чего не знаем об эволюции // Наука из первых рук №0, январь 2004.
8. Кант И. Сочинения в шести томах М., «Мысль», 1964-1966.
9. Лейбниц Г. В. Новые опыты о человеческом разуме. М.–Л., 1936.
10. Материалисты Древней Греции. М.: Госполитиздат, 1955 г. 239 с.
11. Маэно Н. Наука о льде. Мир, 1988, 231 с., ил.
12. Мельников В.П., Геннадиник В.Б. Криософия – онтология холодной материи. // Вестник ТюмГУ. – 2012, №10 с.6-14.



13. Мельников В.П., Геннадик В.Б. Криософия – система представлений о холодном мире. // Криосфера Земли. – 2011. Т. XV, № 4. с.3-8.
14. Мельников В.П., Рогов В.В., Курчатова А.Н., Брушков А.В., Грива Г.И. Распределение микроорганизмов в мерзлых грунтах Криосфера 2011, Том XV, № 4, с.86-90
15. Мельников В.П., Спесивцев В.И. Инженерно-геологические и геокриологические условия шельфа Баренцева и Карского морей. Новосибирск, Наука, 1995, - 197 с.
16. Платон. Собрание сочинений в четырех томах. М.: Мысль, 1993.
17. Тит Лукреций Кар, О природе вещей. М.: Художественная литература, 1983
18. Федонкин М. А. Холодная заря животной жизни // Природа. 2000. № 9. С. 3-11
19. Федорец А.А. Капельный кластер // Письма в ЖЭТФ. Т. 79. Вып. 8. 2004. С. 457-459.
20. Хименков А.Н., Брушков А.В. Введение в структурную криологию. Академиздатцентр "Наука", Москва, 2006, 279 с.
21. Christner B.C., Morris C.E., Foreman C.M., Cai R., Sands D.C. Ubiquity of Biological Ice Nucleators in Snowfall // Science 29 February 2008: Vol. 319 no. 5867 p.
22. Le Hir, G., Ramstein, G., Donnadieu, Y. & Godd ris, Y., 2008. Scenario for the evolution of atmospheric pCO<sub>2</sub> during a snowball Earth. Geology 36, 47-50.
23. Melnikov V.P., Nesterov A.N., Reshetnikov A.M., Istomin V.A. Metastable states during dissociation of carbon dioxide hydrates below 273 K // Chem. Eng. Sci., - 2011. - V. 66. - P. 73-77.
24. Sigman, D.M.; E.A. Boyle (October 2000). "Glacial/interglacial variations in atmospheric carbon dioxide" Nature 407 (6806): 859–869
25. Wackett, L.P., M.J. Sadowsky, L.M. Newman, H-G. Hur and S. Li (1994) Metabolism of polyhalogenated compounds by a genetically engineered bacterium.