

ФИЛОСОФСКИЕ ВОПРОСЫ КРИОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ

УДК 167; 550.36

КРИОСОФИЯ – СИСТЕМА ПРЕДСТАВЛЕНИЙ  
О ХОЛОДНОМ МИРЕ

В.П. Мельников, В.Б. Геннадик

*Институт криосферы Земли СО РАН,  
625000, Тюмень, а/я 1230, Россия, melnikov@ikz.ru*

Восприятие научным сообществом криосферы меняется на наших глазах. Криосфера осознается как активный элемент мироздания, как ресурс, источник благ и возможностей для человечества, а не как источник угроз. Все это предопределяет, с одной стороны, рост интереса к холодному миру у специалистов различных областей знаний, с другой – расширение предмета криологии. В этих условиях представляется своевременной разработка нового философского направления в онтологии – криософии. Суть криософии в осмыслении роли холодной материи в постоянно меняющемся универсуме, изучение фундаментальных свойств и проявлений криосферы. Необходимость построения новых онтологических подходов иллюстрируется набором актуальных, но ранее мало обсуждаемых криологическим сообществом проявлений криосферы – от первых этапов развития Вселенной до зарождения и эволюции живого на Земле.

Рубеж тысячелетий ознаменовался в криологии – науке о криосфере, ломкой представлений об объекте исследования, сменой исследовательской парадигмы. Со времени создания мерзлотоведения в первой трети прошлого века проявление криосферы – мерзлота – воспринималась как “явление глубоко отрицательное с практической точки зрения” (П.И. Колосков в предисловии к книге одного из основателей мерзлотоведения М.И. Сумгина [1927]). Этот подход (то более, то менее явно) оставался ведущим; перманентная борьба с криогенными опасностями сужала предмет исследований, стимулировала поиск технологических решений в ущерб поиску научному. И только в последние десятилетия возникло и стало крепнуть отношение к криосфере как к универсальному феномену, вещественно-энергетическому наполнителю Вселенной, источнику благ и возможностей человеческой цивилизации и жизни на планете. Эта смена ценностных установок повлекла изменения в методологии исследований, а главное – изменение контуров предмета и векторов поиска.

Предмет криологии – науки о криосфере, меняется на наших глазах, в круг ее интересов попадают такие разнородные области, как происхождение жизни и повышение эффективности сельского хозяйства, освоение ближнего космоса и регистрация исторических событий. Для того чтобы адекватно понимать друг друга при обсуждении междисциплинарных проблем, необходимо совер-

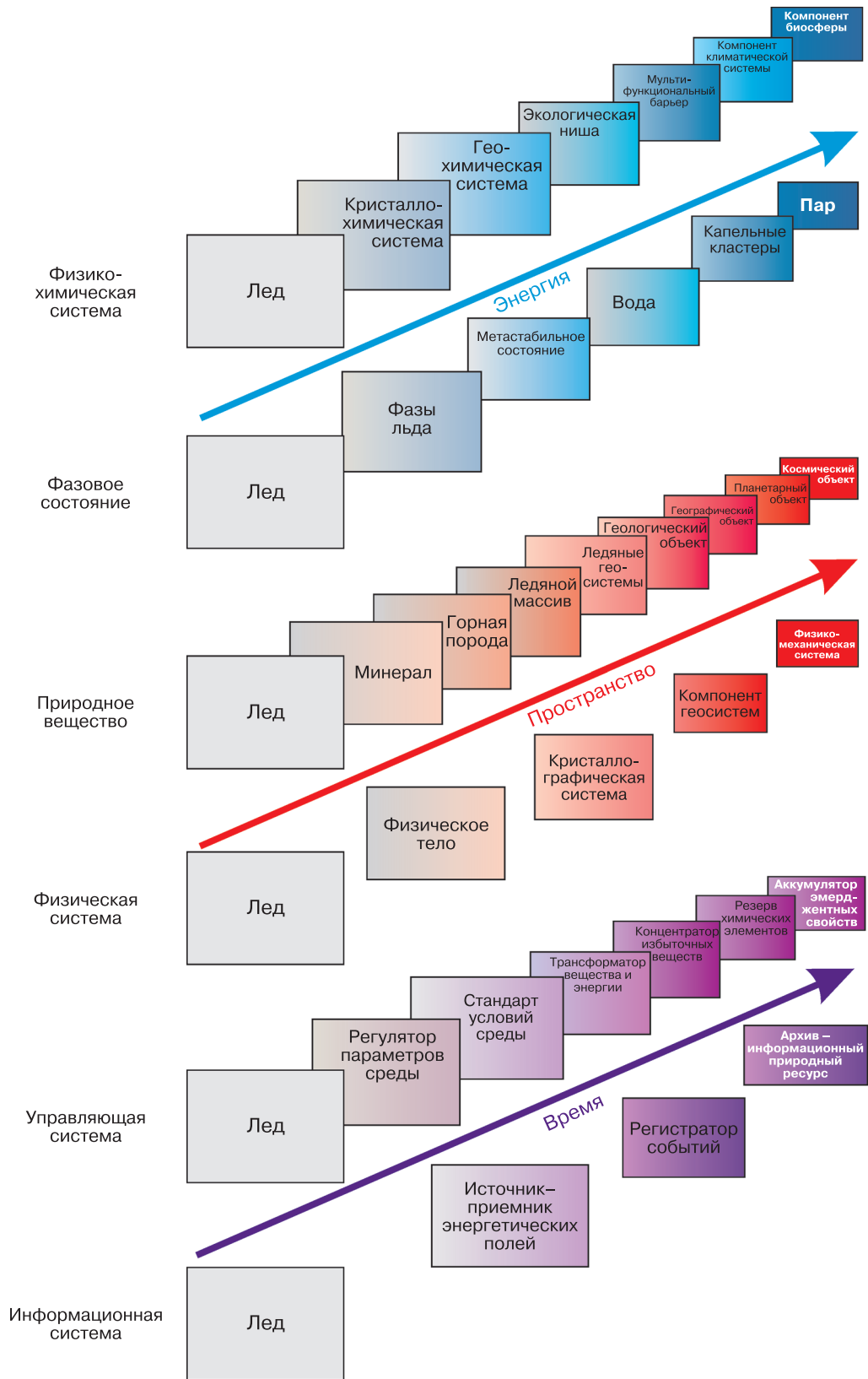
шенствовать понятийный аппарат, увеличивая емкость понятий, даже, казалось бы, прошедших испытание временем.

В этот момент особенно важно отойти от искусственных границ между дисциплинами, широко и панорамно взглянуть на суть, глубину объекта и методов его исследований с учетом новейших достижений других наук и сформировать платформу нового философского направления в онтологии – криософии [Владимир Мельников, 2010].

Суть криософии в осознании места и роли холодной материи в происхождении и эволюции вещественно-энергетических взаимодействий в мироздании, в зарождении и поддержании жизни. Она должна изучать наиболее общие существенные характеристики криосферы во всех ее проявлениях и ее фундаментальные взаимоотношения с другими компонентами Вселенной, использовать как классические (при исследовании простых физических и химических систем) и синергетические (при исследовании сложного и живого) подходы, продуцирующие знания, так и методы информационной логистики, продуцирующие знания о знаниях [Мельников и др., 2005].

Ключевой объект криологии – лед и его фазовые переходы все чаще фигурируют в работах самых разных научных направлений и дисциплин. На рисунке представлены разнообразные ипостаси льда.

Два луча пространственной оси представляют иерархию объектов и сред, в формировании



**Лед как многофункциональная система.**

свойств которых лед играет определяющую роль. Эти подходы – наиболее традиционные для криологии: лед – то, что мы наблюдаем в повседневной жизни, криосфера – самая инструментально изученная из геосфер Земли. Однако назрела необходимость изменения наших представлений о льде как о космическом объекте.

Эволюция Вселенной, от первых мгновений образования материи из элементарных частиц (протонов, нейтронов и электронов, появившихся при большом взрыве) и далее, неразрывно связана с водородом. Первыми при остывании материи образовались именно водород и гелий. 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 во Вселенной даже после расширения и разогрева Солнца и трансформации нашей планеты в нечто похожее на одно из безжизненных горячих небесных тел.

Разнообразие условий планет и других крупных объектов Солнечной системы, их удаленность от Солнца, характер траекторий, продолжительность года и суток, химический состав, наличие и состав атмосферы позволяют иначе взглянуть на криосферу Земли. Она воспринимается при этом подходе не как уникальный объект, а как типичное явление, наделенное в силу различных обстоятельств исключительными биопротективными свойствами.

Последние успехи в космонавтике демонстрируют нам впечатляющие криогенные процессы и явления на планетах Солнечной системы и их спутниках. Мы уже готовы воспринять и еще более яркие картины. На их фоне традиционный объект криологии – криосфера Земли – не выглядит завораживающе, но остается чрезвычайно важным для человечества и всего живого на нашей планете.

Вернемся к нашей схеме. Лучи энергетической оси отражают фазовые состояния льда и ряд его функциональных проявлений.

Вариативность фазовых состояний воды и льда несопоставимы, у льда 17 фазовых состояний (из них 11 выраженных), у воды – одно. Это разнообразие проявляется в физико-химических и биологических процессах и даже в таком рядовом явлении, как атмосферные осадки: на нас падает дождь одного типа, снег восьми модификаций и еще два смешанных водоледажных типа осадков.

Существуют трактовки, в которых лед – всего лишь побочный продукт превращений воды. Говорят о трех агрегатных состояниях воды, но никто не скажет о трех агрегатных состояниях льда. На лицо наше субъективно-видовое восприятие мира, инстинктивно (и биологически) нам ближе вода, нежели лед. И эта ситуация стандартна, но не нор-

мальна. Что не случайно: “стандартные условия” – давление 750 мм рт. ст. и температура 25 °С, а “нормальные условия” – давление 760 мм рт. ст. и температура 0 °С.

Лед объединяет в себе противоположные свойства: кристалл–аморфное тело, упругость–пластичность, полупроводник–диэлектрик, легче воды–тверже стального ножа. Лед имеет вектор достижения идеальной структуры: при постоянной низкой температуре мера упорядоченности со временем возрастает, т. е. при постоянной температуре энтропия уменьшается со временем [Маэно, 1988].

Только кристаллы льда построены на одних 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 им своим возникновением, так как все биохимические процессы в живом организме – это процессы, когда рвутся и возникают вновь водородные связи.

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) [Федорец, 2004]. Подобные явления могут оказаться необходимым недостающим звеном между косной и живой материей.

Рассмотрим последнюю – временную ось на рисунке. На ней отложены информационные, ресурсные и кибернетические проявления криогенных систем. Наличие криосферы меняет характерные времена и скорости процессов, позволяет регистрировать информацию о состоянии геосфер Земли, что тесно связано с синергетическими процессами, возникновением и развитием жизни.

Актуальная задача криологии – внести свой вклад в геологическую историю углубленным изучением роли оледенений в развитии абиогенной и биогенной составляющих земной коры. До настоящего времени геокриологи занимались в основном четвертичным периодом, но, похоже, самое интересное происходило раньше на 2–2,5 млрд лет. Примерно с этого времени прослеживаются циклические оледенения разной продолжительности и интенсивности. Исследования корреляция “начала” и “конца” оледенений с особенностями состава атмосферы, изменениями

количества  $\text{CO}_2$  и серы [Добрецов, 2004]. Однако и более ранняя история Земли требует новых подходов и гипотез, так как научное сообщество разделилось на сторонников и противников как горячей, так и холодной Земли на этапах ее рождения и формирования. Модель “Земля–снежок”, предполагающая, что Земля была полностью покрыта льдом [Kirschvink et al., 1997], могла реализовываться в истории неоднократно, и задача криологии – искать следы этих эпох.

Необходимо определить функциональные роли, физико-химические и другие проявления льда на ранних этапах развития Земли. Это откроет нам глаза на те следы, которые, в принципе, могли быть оставлены в холодные периоды истории планеты. Очевидна потребность в создании и развитии специального направления “криотрасологии” (от фр. trace – след), занимающегося исследованием взаимодействий льда с абиогенными и биогенными компонентами среды.

Криосфера тесно связана с циклами, причем эта цикличность явно 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 живой природы. Заметнее проявляется годовая цикличность криосферы, снег и лед длительное время находятся в устойчивом состоянии, создавая криогенные условия. Следует отметить, что в полярных регионах циркадные циклы естественным образом исчезают (полярные день и ночь длятся по полгода) и живые объекты тоже приспособляются к этому (например, северные олени не имеют биологических часов). На криосферу влияют и другие крупнопериодические циклы: 11-летние и 270-летние циклы солнечной активности.

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 – вязкопластичного 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 ис-

следования взаимодействия разнопериодических циклов в таких системах.

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

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 влияют на формирование и эволюцию среды жизнеобеспечения. Как известно, озон в атмосфере образовался около 400 млн лет назад. И только после этого жизнь из океана шагнула на сушу [Добрецов, 2004]. Озон, образованный в атмосфере, стремится к распределению по высоте аналогично распределению воздуха. Отсюда вытекает важнейший вывод: 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 [Федонкин, 2000]. Водород – первичный источник электронов и протонов, главный субстрат микробной жизни, основа энергетики метаболизма [Wackett et al., 1994]. Он определяет прочность и пластичность макромолекул. Молекулярный водород  $\text{H}_2$  осуществляет универсальный процесс трофической (энергетической) связи между микроорганизмами, живущими на разных субстратах, 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.

Предмет нашей науки в большей степени – это трансформации и взаимодействия первоэлементов из начальной и второй волны – водорода и кислорода. Криософия, исследуя криосферу, может занять свою нишу в концепциях происхождения и эволюции жизни и живого вещества, если истоки эволюции вынести за рамки изучения конкретной планеты. Основной компонент криосферы – лед (предшественник воды) – ведет свое происхождение от первых мгновений возникновения

Вселенной, когда появляется водород и, чуть позже, кислород. Их агрегирование и появление водородной связи лежит в основе живой и неживой природы.

По мнению Э.М. Галимова [2001], возникновению жизни на Земле предшествовала фаза предбиологической химической эволюции. Предположение об автомодельности последовательности кризисов в истории цивилизации и биосферы (ускорение исторического времени) [Дьяконов, 1994], четко прослеживаемой на протяжении 4 млрд лет истории Земли, определяет в качестве “точки старта” предбиологической эволюции момент формирования галактического диска около 10 млрд лет назад. Именно в это время, практически в момент возникновения Галактики, лед начинает появляться как фаза, предлагая образцы молекулярных взаимодействий для всего живого.

Тот факт, что средняя годовая температура на Земле длительное время не отклонялась значительно от точки фазового перехода лед–вода, представляется довольно естественным. Лед, как и вода, имеет уникальные термоинерционные свойства, которые в сочетании с его распространенностью на поверхности земли позволяют криосфере выполнять функцию стабилизатора температуры (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 (2,06 кДж/(кг·К)) 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 кДж/кг), и, например, в 28 раз больше, чем у ртути (12 кДж/кг).

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

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

Сегодня работы по криобиологии можно читать как фантастику: здесь и гусеницы с бабочками (т. е. высокоорганизованные существа), ожившие после длительного замораживания до  $-269^{\circ}\text{C}$ , и 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.

Как показали керны со станции Восток в Антарктиде, природа гораздо надежней человека сохранила температурный режим, на протяжении сотен тысяч лет обеспечивая плавность и охлаждение, и прогревания, – именно то, что нужно для адаптации. То, что уже сегодня наши ученые получили из палеобиоты, – это лишь удачное начало, основные открытия – еще впереди.

Одна из практических задач криологии – получить из мерзлоты средства жизнеобеспечения для людей такие же, какие получают из нее микроорганизмы-экстремофилы. Лед – среда обитания или, точнее, коэволюционирующая система с устойчивым неравновесием, при этом микроорганизмы следует рассматривать как неотъемлемую составляющую льда или другой мерзлой породы.

Вместе биология и криология должны еще проложить общую дорогу к пониманию функции льда в зарождении и поддержании жизни, в концепции периодически нарушаемого равновесия Эддриджа и Гоулда. Уж слишком много плюсов у льда по сравнению с другими средами. Физические его 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.

Приведем свежий пример сродства живого и холодного. В 2008 г. группа ученых под руководством Б. Крайстнера обнаружила, что за образование почти всех осадков могут отвечать бактерии, в частности *Pseudomonas syringae* (<http://www.membrana.ru/particle/12352>). 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.

Владимир Вернадский говорил об исключительно большой роли живого вещества в формировании и регуляции параметров геохимической среды Земли, физических характеристик биосферы, атмосферы и гидросферы [Вернадский, 2001]. Криосфера может претендовать на связующую роль во взаимодействии между жизнью и планетой, на роль инструмента, сначала выпестовавшего живое, а затем позволяющего разуму создавать комфортные условия для существования жизни.

Процессы, в которых ключевую роль играет лед или вода вблизи точки фазового перехода, многообразны, их проявления часто очевидны, а часто парадоксальны. Разнообразные факты складываются в мозаику, ключом к которой является срод-



ство льда и живого, их способность образовывать новые комплексные объекты, устойчивые системы, имеющие новые эмерджентные свойства.

Криология все чаще оперирует несвойственными классической прикладной науке терминами: разнообразие, устойчивость, сложность, эмерджентность; системы объединяются в метасистемы, на смену моделям приходят их иерархии. Все это придает ей черты постнеклассической науки, основными особенностями которой являются междисциплинарность и актуальность – направленность на конкретные злободневные проблемы. В условиях лавинообразного расширения предмета исследования методология, наработанная гео-криологией, не может давать удовлетворительных результатов.

В этот момент, в момент необыкновенно высоких темпов прироста знаний и взаимопроникновения наук, перемен в образовании и положении ученого в обществе, криософия должна создать образ криологии будущего – расширить ее объект, предложить продуктивную методологию исследований, определить перспективы и ожидаемые результаты.

Криософия должна сохранить “в тонусе” внимание к криогенным процессам и явлениям, к “короткому замыканию” живого и холодного как у классических гео-криологов, так и у специалистов смежных областей, традиционно занимающихся новыми для нашего сообщества вопросами, – биофизиков, биологов, планетологов, метеорологов. Только тогда, когда они начнут мыслить категориями криологии и проецировать свои выводы на сферу холода, гео-криологи перестанут с восторгом неофитов “открывать” давно известные явления и процессы.

## Литература

**Вернадский В.И.** Биосфера. М., ИД “Ноосфера”, 2001, 244 с.

**Владимир Мельников:** холод и мудрость как судьба и смысл жизни академика // Эпоха и личность. М., Эпоха, 2010, с. 154–165.

**Галимов Э.М.** Феномен жизни: между равновесием и нелинейностью // Происхождение и принципы эволюции. М., Едиториал УРСС, 2001, 256 с.

**Добрецов Н.Л.** Что мы знаем и чего не знаем об эволюции // Наука из первых рук, 2004, № 0 (1), с. 1–17.

**Дьяконов И.М.** Пути истории. От древнейшего человека до наших дней. М., Вост. лит., 1994, 384 с.

**Маэно Н.** Наука о льде. М., Мир, 1988, 231 с.

**Мельников В.П., Геннадиник В.Б., Геннадиник Б.И.** Филосовскую базу – холодной науке // Философия и будущее цивилизации. М., Современ. тетради, 2005, т. 1, 374 с.

**Сумгин М.И.** Многолетняя мерзлота почвы в пределах СССР. Владивосток, Дальневост. геофиз. обсерватория, 1927, 134 с.

**Федонкин М.А.** Холодная заря животной жизни // Природа, 2000, № 9, с. 3–11.

**Федорец А.А.** Капельный кластер // Письма в ЖЭТФ, 2004, т. 79, вып. 8, с. 457–459.

**Kirschvink J.L., Ripperdan R.L., Evans D.A.** Evidence for a large-scale reorganization of early cambrian continental masses by inertial interchange true polar wander // Science, 1997, vol. 25, No. 7, p. 541–545.

**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.

<http://www.membrana.ru/particle/12352>

*Поступила в редакцию  
2 февраля 2011 г.*