

КРИОСОФИЯ

УДК 167, 551.34

DOI: 10.15372/KZ20230505

EDN: GURMFI

КРИОСОФИЯ: НА ПУТИ К ПОСТИЖЕНИЮ ЕДИНСТВА
И РАЗНООБРАЗИЯ МИРА ХОЛОДАВ.П. Мельников^{1-3,*}, А.В. Брушков⁴, Р.Ю. Федоров^{1,2}¹ Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН,

625026, Тюмень, ул. Малыгина, 86, Россия

² Тюменский государственный университет, Международный центр криологии и криософии,

625003, Тюмень, ул. Володарского, 6, Россия

³ Тюменский индустриальный университет, 625000, Тюмень, ул. Володарского, 38, Россия⁴ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия*Автор для контакта, melnikov@ikz.ru

Криософию можно рассматривать в качестве стоящих над криологией метапредставлений, задача которых состоит в межпредметной интеграции представлений о холоде и в построении на ее основе концептуальных моделей, приближающих нас к холистическому образу криосферы. Для достижения этой цели первостепенное значение имеет научное осмысление криосферы в качестве системы, которое опиралось бы на современные общетеоретические подходы, перешагнувшие логический эмпиризм по отношению к холизму с его гносеологическим принципом: “целое всегда есть нечто большее, чем просто сумма его частей”. Одним из главных факторов, препятствовавших на протяжении XX века формированию целостной научной картины криосферы Земли, являлось то, что холодную оболочку планеты, состоящую из гляциосферы, криолитосферы и атмосферы, исследовали разные научные дисциплины. Лишь в настоящее время научное сообщество сделало первые шаги в рассмотрении криосферы как почти стокилометровой сферы вокруг Земли, приповерхностная и подповерхностная части которой занимают значительные территории континентов и океанов. При подобном понимании криосфера Земли начинает трактоваться в качестве глобальной геосистемы, которая пронизывает значительные участки общепринятых геосфер (атмосферы, литосферы и гидросферы), а также почвенные горизонты, во многом определяет вещественно-энергетические взаимодействия между ними. Приведенные в статье примеры свидетельствуют о том, что ключом к постижению единства и разнообразия мира холода является философское осмысление криосферы как сложной системы, благодаря которому станет возможно преодоление логического эмпиризма и редукционизма на пути к холизму.

Ключевые слова: криосфера, криософия, фазовые переходы, классификация криогенных объектов, криоразнообразие.

Ссылка для цитирования: Мельников В.П., Брушков А.В., Федоров Р.Ю. Криософия: на пути к постижению единства и разнообразия мира холода // Криосфера Земли, 2023, т. XXVII, № 5, с. 54–60. DOI: 10.15372/KZ20230505. EDN: GURMFI.

CRYOSOPHY: TOWARDS COGNITION OF THE UNITY AND DIVERSITY
OF THE WORLD OF COLDV.P. Melnikov^{1-3,*}, A.V. Brouchkov⁴, R.Yu. Fedorov^{1,2}¹ Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,

Malygina St. 6, Tyumen, 625026 Russia

² Tyumen State University, International Centre for Cryology and Cryoscopy, Volodarskogo St. 6, Tyumen, 625003 Russia³ Tyumen Industrial University, Volodarskogo St. 38, Tyumen, 625000 Russia⁴ Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1, Moscow, 119991 Russia*Corresponding author, melnikov@ikz.ru

Cryosophy can be considered as conceptual meta-views of cryology. Its main goals are the interdisciplinary integration of ideas about cold and creation of conceptual models ensuring the holistic perception of the cryosphere. To achieve these goals, the scientific understanding of the cryosphere as a system, which would rely on modern general theoretical approaches that have overcome logical empiricism on the way to holism with its epistemological principle “the whole is always more than just the sum of its parts”, is of major importance. One of the crucial factors that prevented the formation of a holistic scientific picture of the Earth’s cryosphere during

the 20th century was that the cold shell of the planet, which consists of the glaciopause, cryolithosphere, and atmosphere, was studied by different scientific disciplines. Only at present the scientific community has made the first steps in considering the cryosphere as an almost one hundred-kilometer sphere around the Earth, the near-surface and subsurface parts of which occupy significant territories of continents and oceans. Given similar understanding, the Earth's cryosphere can be interpreted as a global geosystem, which penetrates significant areas of commonly accepted geospheres—atmosphere, lithosphere, and hydrosphere, as well as soil horizons and largely determines the matter and energy exchange between them. The examples presented in this paper indicate that the key to understanding the unity and diversity of the world of cold is the philosophical comprehension of the cryosphere as a complex system. Such an understanding should make it possible to overcome logical empiricism and reductionism on the way to holism.

Keywords: *cryosphere, cryosophy, phase transitions, classification of cryogenic objects, cryodiversity.*

ВВЕДЕНИЕ

В 1950 г. в одной из своих статей Альберт Эйнштейн обратился к ученым в связи с необходимостью “затронуть теоретико-познавательные проблемы более общего характера, иначе говоря, вступить на тонкий лед философии” [Эйнштейн, 1967, с. 317]. Далее он отметил, что “если под философией понимать поиски знания в его наиболее общей и наиболее широкой форме, то ее, очевидно, можно считать матерью всех научных исканий. Но верно и то, что разные отрасли науки, в свою очередь, оказывают сильное влияние на тех ученых, которые ими занимаются, и, кроме того, сильно воздействуют на философское мышление каждого поколения” [Там же].

Интерес к осмыслению свойств холодной материи и закономерностей связанных с ней природных явлений зародился в античной философии, однако он развивался в русле спекулятивного знания, лишённого свойственных современной науке инструментальных и доказательных возможностей [Мельников, Федоров, 2020]. Впоследствии эволюция методологических принципов научных исследований криосферы подчинилась характерной для большинства других наук о Земле логике развития. В ней Е.А. Куражковская и Г.А. Фурманов, на примере геологии, выделили три стадии. Первая стадия имела описательный характер, основанный на эмпирически накапливаемом материале непосредственных наблюдений, в отсутствие ярко выраженного представления о закономерностях происходивших в природе процессов не только в общем, но и в частном выражении [Куражковская, Фурманов, 1975, с. 10]. Вторая – “аналитическая стадия развития науки, раскрывающая начавшийся процесс ее обособления” [Там же]. Третью стадию авторы называют синтетической. На этой стадии стираются границы между науками определенного профиля, переосмысливаются границы между науками о неживой и живой природе, между науками о Земле и науками об обществе [Там же, с. 10]. Подобно геологии, наука, изучающая криосферу – криология, прошла аналогичный путь развития, и в ее задачи входило осмысление закономерностей процессов, связанных с холодом. Необходимым этапом в развитии

представлений о холоде является криософия. Выбор этого, пока что малопривычного для научного сообщества названия обусловлен тем, что “софийные дисциплины (“софии”) соотносят предмет своего изучения с целостным знанием, общими представлениями о мироздании” [Эйнштейн, 2016, с. 208]. В этом плане криософию можно рассматривать в качестве стоящих над криологией метапредставлений, задача которых состоит в межпредметной интеграции представлений о холоде и в построении на ее основе концептуальных моделей, приближающих нас к холистическому образу криосферы. Для достижения этой цели первостепенное значение имеет научное осмысление криосферы в качестве системы. Необходимость подобного осмысления обусловлена тем, что на сегодняшний день развитие методологических возможностей криологии сдерживается преобладанием редукционистских подходов, предусматривающих получение знаний о составных частях изучаемого объекта при отсутствии знания о целом. Современные мерзлотоведы, гляциологи и исследователи физики атмосферы пользуются редукционистским подходом, разбивая общий объект на составляющие, глубоко не изучая взаимодействия между ними. Это не дает желаемого результата, приводя лишь к дроблению целого в научной картине мира. В то же время, когда мы изучаем взаимовлияние мерзлоты и атмосферы, уже проделываем путь к целому. Исходя из этого, на данном этапе исследования криосферы Земли чрезвычайно важно ее осмысление как сложной системы, которое опиралось бы на современные общетеоретические подходы, перешагнувшие логический эмпиризм на пути к холизму с его гносеологическим принципом: “целое всегда есть нечто большее, чем просто сумма его частей”. Попробуем проиллюстрировать эту идею на примерах единства и разнообразия мира холода.

ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ

Когда лед плавится, происходит фазовый переход воды из твердого состояния в жидкое. Именно фазовый переход во Вселенной (здесь фа-

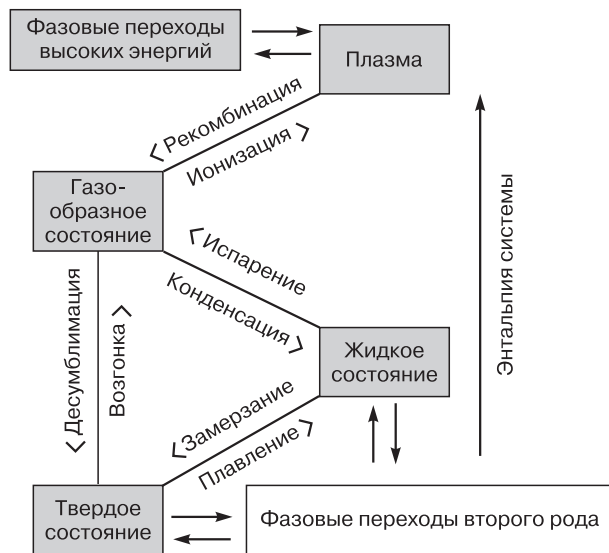
зами являются, конечно, не твердое или жидкое состояние вещества, а состояния нашего мира) привел к ее возникновению, как считают некоторые современные космологи [Padmanabhan, 2017], или к ее трансформации. Такой подход открывает новую, совсем другую картину Вселенной, аналогичную плавлению куска льда, содержащего источник тепла. Источник тепла плавит лед вокруг, создавая водную область, которая расширяется, стремясь к термодинамическому равновесию. При этом вблизи границы фаз молекулы еще не достигли равновесия из-за того, что лед нагревается изнутри. Это напоминает поведение Вселенной. Область с водой – это наша Вселенная, описываемая теорией Эйнштейна. Она окружена фазой, похожей на лед и существовавшей до “начала времени”, описываемой неизвестными пока законами квантовой гравитации. Большого взрыва, таким образом, возможно, не было, а был переход из одной фазы в другую [Padmanabhan, 2017]. Это показывает значение фазового перехода как процесса, качественно меняющего вещество.

По сути, основным процессом, который изучает криология, является именно фазовый переход (см. рисунок).

Фазовый переход в термодинамике – переход вещества из одной термодинамической фазы в другую при изменении внешних условий. С точки зрения движения системы по фазовой диаграмме при изменении ее основных параметров (температуры и давления), фазовый переход происходит, когда система пересекает границу, разделяющую фазы. Фазовый переход не обязательно связан с изменением агрегатного состояния. Но изменение агрегатного состояния всегда представляет собой

фазовый переход. Фазовые переходы происходят при изменении не только температуры, но и давления, а также в случае повышения или понижения концентрации компонентов, в частности, соли в воде.

При фазовом переходе первого рода, во время которого скачкообразно изменяются первые производные термодинамических потенциалов по интенсивным параметрам системы, меняются главные параметры вещества, такие как удельный объем, количество внутренней энергии, концентрация. Примером таких переходов являются плавление и кристаллизация, испарение и конденсация, сублимация и десублимация (см. рисунок). Фазовые переходы второго рода, при которых вторые производные термодинамических потенциалов по давлению и температуре изменяются скачкообразно, меняют симметрию вещества. Изменение симметрии может быть связано со смещением атомов в кристаллической решетке либо с изменением упорядоченности. При фазовом переходе второго рода удельный объем и внутренняя энергия не изменяются, поэтому такой фазовый переход можно и не заметить. Скачок же испытывают их производные по температуре и давлению: теплоемкость, коэффициент теплового расширения или другие характеристики. При фазовых переходах второго рода симметрия может измениться или даже исчезнуть. Описание фазового перехода второго рода как следствия изменения симметрии предложил в свое время Л.Д. Ландау [Ландау, Лифшиц, 1995]. Примером фазового перехода второго рода является переход аморфных материалов в кристаллическое состояние, а также переходы между различными кристаллическими модификациями льда. Существование фазовых переходов более чем второго порядка не подтверждено, хотя они, по-видимому, возможны. Несомненно, существует определенное единство всех явлений фазовых переходов – от замерзания воды, одного из основных явлений, изучаемых криологией, до фазовых переходов при высоких энергиях, что определяет перспективы развития современной науки.



Фазовые переходы в природе.

РАЗНООБРАЗИЕ И СИСТЕМНОСТЬ МИРА ХОЛОДА

Еще в 1934 г. В.И. Вернадский высказал предположение о том, что “земные оболочки можно рассматривать как области разнообразных динамических физико-химических равновесий, стремящихся достигнуть устойчивого состояния, непрерывно нарушаемого вхождением в них чуждых данному динамическому равновесию проявлений энергии” [Вернадский, 1934, с. 52]. Этой формулировкой он дал исчерпывающее описание процессов самоорганизации геосистем задолго до появления синергетики. Во второй половине XX в.,

благодаря развитию синергетики и нелинейной динамики, науке стали доступны для изучения сложные системы. Во многих предметных областях это способствовало формированию новой научной картины мира, которую В.С. Степин [2006] соотносит с постнеклассической наукой, для которой стали характерны системность и междисциплинарность.

Обращение к синергетике в исследовании криогенных систем открывает новые возможности для моделирования и прогноза происходящих в них процессов. Оно позволяет преодолеть эвристическую ограниченность детерминистских и стохастических подходов в криологии, использование которых нередко сводилось к двум крайностям. При использовании детерминистского подхода эта крайность выражалась в механистичности представлений о линейности криогенных процессов. Однако при применении стохастических подходов “распространение глобальной стохастичности с микроуровня на уровень сложных объектов приводит к другой крайности – всеобщей непредсказуемости объектов” [Мельников и др., 2010, с. 6].

Развитие геосистемного подхода позволило сформировать представление о географической среде как об “иерархической системе, целостной самой по себе и делимой на подчиненные целостности” [Соцава, 1978, с. 5]. Несмотря на это, одним из решающих факторов, препятствовавших на протяжении XX в. формированию целостной научной картины криосферы Земли, являлось то, что холодную оболочку планеты, состоящую из гляциосферы, криолитосферы и атмосферы, исследовали разные научные дисциплины. Лишь в настоящее время научное сообщество начинает рассматривать криосферу в качестве почти стокилометровой сферы вокруг Земли, приповерхностная и подповерхностная части которой занимают значительные территории континентов и океанов. При подобном понимании криосфера Земли трактуется как глобальная геосистема, которая пронизывает значительные участки общепринятых геосфер – атмосферы, литосферы и гидросферы, а также почвенные горизонты, во многом определяя происходящие между ними вещественно-энергетические взаимодействия.

Если представить разрез верхней части земной коры, ее поверхности и атмосферы, то получим слоистую толщу перемежающихся слоев с температурами ниже и выше 0 °С и содержанием льда в том или ином виде. Нижняя льдосодержащая часть фрагментарно представлена газогидратами, находящимися на глубине озер (Байкал), морей, океанов в мерзлых породах и под толщей мерзлоты. Средняя часть – ледовые образования на поверхности земли и мерзлые породы, и верх-

няя – холодная часть атмосферы, опоясывающая весь земной шар, важнейшая часть системы круговорота вещества и энергии, приводящего к формированию климата, эволюции биосферы и защиты его от вредной космической радиации.

Произошедшее за последние десятилетия расширение научных представлений о криосфере послужило предпосылкой для введения в научный оборот понятия “криоразнообразия”. Под ним, в наиболее общем значении, подразумевается бесчисленное множество микро- и макрообъектов, процессов и условий, обязанных своим происхождением холоду. Обращение к понятию “криоразнообразия” на данном этапе изучения криосферы обусловлено необходимостью построения онтологии холодной материи, которая приблизила бы науку к холистическим представлениям о типологии и системных связях ее объектов, а также об их абсолютных и относительных физических свойствах.

Учитывая, что вокруг устоявшегося в науке понятия “биоразнообразия” сложился ряд концептуальных подходов к изучению биологических систем, хотелось бы привести с ними параллели в контексте изучения криогенных систем. В первую очередь следует отметить, что само по себе развитие концепций биоразнообразия способствовало раскрытию ранее не очевидного ресурсного потенциала отдельных компонентов биосистем. Например, можно указать на открытие важных функций, стабилизирующих экосистемы у тех биологических видов, которые традиционно было принято относить к вредным хищникам, сорнякам или паразитам. Подобное переосмысление криосферы наблюдается в наше время, когда, согласно П.И. Колоскову, вместо “явления глубоко отрицательного с практической точки зрения” [Сумгин, 1927], требующего уничтожения, многолетнемерзлые породы, лед и снег начинают рассматриваться в качестве криогенных ресурсов, которые жизненно важны для устойчивого развития земных геосистем.

Как известно [Уиттекер, 1981], в изучении биоразнообразия сложились инвентаризационный и дифференцирующий подходы. Первый из них рассматривает типологическое многообразие, существующее в одной биосистеме, тогда как второй изучает различия между биосистемами. С точки зрения объектов исследования криологии, инвентаризационный подход направлен на изучение земного криоразнообразия, а дифференцирующий подход призван исследовать различия криогенных систем Земли и других небесных тел во Вселенной.

Начиная со второй половины XX в., благодаря развитию средств дистанционного зондирования и осуществлению полетов в пределах Солнечной системы автоматических космических аппара-

тов, стал складываться ряд междисциплинарных направлений исследований, которые прямо или косвенно изучают объекты космической криосферы. К ним можно отнести планетологию, астрофизику, астрохимию и астробиологию. Поскольку эти исследования способствовали колоссальному приумножению разносторонних знаний о криосфере внеземных объектов, одной из насущных задач современной науки является построение на их основе целостного (холистического) образа криосферы Вселенной, включающего онтологическую модель холодного мира, которая дала бы возможность осмыслить его иерархию, структуру, системные связи, а также пределы криоразнообразия. При этом не вызывает сомнения то, что изучение космического криоразнообразия может стать ключом к более глубокому пониманию средообразующего и ресурсного значения криосферы Земли.

Семь из девяти планет Солнечной системы, а также большинство их спутников относятся к криогенному типу, который подразумевает наличие на них мерзлых, морозных или переохлажденных пород либо жидкостей, имеющих отрицательные температуры. При этом в пределах Солнечной системы для планет и их спутников характерно наличие криолитогеоза водного, углекислотного, аммиачного и метанового типа [Комаров, Исаев, 2010, с. 9–10]. В настоящее время известны три аморфные разновидности и 17 кристаллических модификаций льда, однако, учитывая многообразие существующих в космических объектах вариантов сочетания гравитации, давления и температур, а также химического состава поверхности и атмосферы, возможных модификаций льда может быть значительно больше.

На сегодняшний день на планетах и спутниках Солнечной системы обнаружен ряд специфических криогенных явлений и процессов. К их интересным примерам следует отнести озера, наполненные жидким метаном и этаном на Титане, при средней температуре его поверхности около $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$. На поверхности Титана также было обнаружено масштабное геологическое образование, представляющее собой своеобразную гору из льда, предположительная высота которой составляет 6 тыс. км, или около 40 % от общей окружности Титана [На Титане..., 2019].

Еще одним интересным примером криогенных явлений в космосе является криовулканизм. Криовулканизм, связанный с выбросом на поверхность в газообразном или жидком состоянии воды, аммиака или метана, наиболее характерен для “ледяных спутников” газовых планет. Лишенный атмосферы спутник Сатурна – Энцелад имеет поверхность с жидкой водой, покрытой ледяной коркой, которая прорывается на поверхность в виде гейзеров [Комаров, Исаев, 2010, с. 42].

Кометы могут являться крайне информативными объектами исследований криотрассологии. Это обусловлено тем, что они относятся к наименее измененным объектам Солнечной системы, которые могут содержать важную информацию об условиях ее образования и развития [Там же, с. 45]. Помимо этого кометы можно рассматривать в качестве одного из наиболее интересных объектов исследований криогетеротопии, изучающей пространственные закономерности криогенных явлений и процессов в связи с тем, что их столкновение с планетами может приводить к изменению хода развития их поверхности посредством привнесения на нее льда. Существует мнение, что Земля сформировалась в “теплой” части протопланетного диска, где не было органических молекул и воды из-за сильного ультрафиолетового излучения Солнца. Поэтому вероятно, что вода была привнесена на Землю в основном именно кометами, а жизнь возникла впоследствии на поверхности планеты или была занесена вместе со льдом комет.

Криоразнообразии представлено в Солнечной системе различными видами криогенных тел. Основные из них: астероиды (в том числе кентавры) – небольшие тела диаметром 10 м и более, имеющие собственную орбиту вокруг Солнца; кометы – небольшие астрономические объекты, вращающиеся вокруг звезды по вытянутой орбите в виде канонического сечения, их отличительная черта – хвост из газа и пыли; метеороиды – наименьшие макроскопические тела, вращающиеся вокруг Солнца; межпланетная пыль – породы, пыль, микроскопические частицы разного состава размером от нескольких молекул до 0.2 мкм. Основная масса пыли находится в галактических облаках, преимущественно молекулярного состава. Эти пылевые облака холодные, как правило, имеют температуру не выше 50 К. Вероятно, различные виды водного льда могут быть в составе этих облаков – либо самостоятельно, либо вместе с частицами пыли. Пылевые облака могут содержать органические соединения и различные минералы, образовавшиеся при эволюции звезд.

Температурная эволюция небесных тел определяется двумя факторами: расстоянием от звезды (или крупной планеты) и динамикой их движения, а также размерами. Планеты земного типа – Венера, Земля, Марс – имеют близкую тепловую историю: формирование из холодного протопланетного облака, затем нагрев за счет гравитационной дифференциации, распада радиоактивных элементов, бомбардировки падающим материалом и выделения парниковых газов, а позже постепенное охлаждение за счет затухания процесса дифференциации и радиоактивного распада, а также

потери парниковых газов из атмосферы по разным причинам. Малые небесные тела практически не подвергаются дифференциации, и атмосфера на них не формируется, поэтому они остаются холодными в течение всей их истории при наблюдении двух условий. Первое из них состоит в том, что траектория их движения не приближает их к Солнцу настолько, чтобы произошел нагрев. Второе условие исключает сильное гравитационное влияние на них больших планет, которое может вызывать приливные движения и разогрев недр, как это происходит на Энцеладе, Тритоне, Титане и других больших спутниках.

Можно выделить планетные тела по условиям существования криосферы, сравнивая поток тепла из недр к поверхности планетного тела q и поток от звезды Q [Ершов, 2002]. На Земле, как известно, $Q \gg q$. В зависимости от состояния недр планеты можно выделить планеты с $q = 0$ или $q > 0$. В зависимости от поступления к планетному телу тепла от звезды или от другого космического тела (фоновое излучение) можно выделить планеты с $Q = 0$ и $Q > 0$. Тепловой баланс определяет разнообразие криосфер. Если, как для Земли, $Q \gg q$ и все определяется активностью звезды, то, учитывая периоды вращения вокруг собственной оси ($\tau_{вр}$) и обращения вокруг звезды ($\tau_{обр}$), можно выделить классы планет с симметричным ($\tau_{вр} \neq \tau_{обр}$) размещением криогенных пород и асимметричным размещением ($\tau_{вр} = \tau_{обр}$), когда мерзлые породы располагаются только на ночной стороне планеты или спутника.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные выше примеры красноречиво свидетельствуют о том, что ключом к постижению единства и разнообразия мира холода является философское осмысление криосферы в качестве сложной системы, благодаря чему станет возможным преодолеть логический эмпиризм и редукционизм на пути к холизму. В заключение следует отметить, что развитие данного подхода необходимо не только для расширения теоретических основ криологии, но и для организации междисциплинарных проблемно-ориентированных исследований, в которых рассматривается влияние криосферы на ресурсные, экологические, социальные и многие другие актуальные проблемы человечества.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках госзадания ИКЗ ТюмНЦ СО РАН № 121041600042-7 и программы развития Тюменского государственного университета (программа стратегического академического лидерства “Приоритет-2030”).

Литература

- Вернадский В.И.** Очерки геохимии. М., Горгеонефтеиздат, 1934, 380 с.
- Ершов Э.Д.** Общая геокриология. М., Изд-во Моск. ун-та, 2002, 683 с.
- Комаров И.А.** Криология Марса и других планет Солнечной системы / И.А. Комаров, В.С. Исаев. М., Науч. мир, 2010, 232 с.
- Куражковская Е.А.** Философские проблемы геологии / Е.А. Куражковская, Г.Л. Фурманов. М., Изд-во Моск. ун-та, 1975, 138 с.
- Ландау Л.Д.** Статистическая физика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. М., Наука, 1995, ч. 1, 616 с.
- Мельников В.П.** Криогенные геосистемы: проблемы исследования и моделирования / В.П. Мельников, А.Н. Хименков, А.В. Брушков и др. Новосибирск, Акад. изд-во “Гео”, 2010, 390 с.
- Мельников В.П., Федоров Р.Ю.** Воззрения на холод в истории познания природы: от спекулятивного знания к криософии // Криосфера Земли, 2020, т. XXIV, № 6, с. 3–10.
- На Титане** ученые обнаружили огромную ледяную стену. 2019. – <https://planet-today.ru/novosti/nauka/item/104083-na-titane-uchenye-obnaruzhili-ogromnyu-ledyanuyu-stenu> (дата обращения: 26.10.2022).
- Сочава В.Б.** Учение о геосистемах. Новосибирск, Наука, 1978, 319 с.
- Степин В.С.** Философия науки. Общие проблемы. М., Гардарики, 2006, 384 с.
- Сумгин М.И.** Многолетняя мерзлота почвы в пределах СССР. Владивосток, Дальневост. геофиз. обсерватория, 1927, 134 с.
- Уиттекер Р.** Сообщества и экосистемы. М., Мир, 1981, 328 с.
- Эйнштейн А.** Собрание научных трудов в четырех томах. Т. 4. Статьи, рецензии, письма. Эволюция физики. М., Наука, 1967, 600 с.
- Эпштейн М.Н.** От знания к творчеству. М.; СПб., Центр гуманитар. инициатив, 2016, 480 с.
- Padmanabhan T.** Do we really understand the Cosmos? // Comptes Rendus Physique, 2017, vol. 18, p. 275–291.

References

- Verнадskij V.I. Ocherki geohimii [Essays on Geochemistry]. Moscow, Gorgeonefteizdat, 1934, 380 p. (in Russian).
- Ershov E.D. Obshchaya geokriologiya [General Geocryology]. Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta, 2002, 683 p. (in Russian).
- Komarov I.A., Isaev V.S. Kriologiya Marsa i drugih planet Solnechnoj sistemy [Cryology of Mars and other planets in the solar system]. Moscow, Nauchnyj mir, 2010, 232 p. (in Russian).
- Kurazhkovskaya E.A., Furmanov G.L. Filosofskie problemy geologii [Philosophical problems of geology]. Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta, 1975, 138 p. (in Russian).
- Landau L.D., Lifshic E.M. Statisticheskaya fizika [Statistical physics]. Moscow, Nauka, 1995, pt 1, 616 p. (in Russian).
- Melnikov V.P., Khimenkov A.N., Brushkov A.V. et al. Kriogennye geosistemy: problemy issledovaniya i modelirovaniya [Cryogenic Geosystems: Research and Modeling Challenges]. Novosibirsk, Acad. Publ. House “Geo”, 2010, 390 p. (in Russian).
- Melnikov V.P., Fedorov R.Yu. Concepts of cold in changing perceptions of nature: developments from speculative knowledge to cryosophy. Earth’s Cryosphere, 2020, vol. XXIV, No. 6, p. 3–8.

Na Titane uchenye obnaruzhili ogromnyuyu ledyanuyu stenu [On Titan, scientists have discovered a huge ice wall]. 2019. – <https://planet-today.ru/novosti/nauka/item/104083-na-titane-uchenye-obnaruzhili-ogromnyuyu-ledyanuyu-stenu> (last visited: 26.10.2022).

Sochava V.B. Uchenie o geosistemah [The Study of Geosystems]. Novosibirsk, Nauka, 1978, 319 p. (in Russian).

Stepin V.S. Filosofiya nauki. Obshchie problemy [Philosophy of science. Common issues]. Moscow, Gardariki, 2006, 384 p. (in Russian).

Sumgin M.I. Mnogoletnyaya merzlota pochvy v predelakh SSSR [Permafrost of soil within the USSR]. Vladivostok, Dal'nevost. geofiz. observatoriya, 1927, 134 p. (in Russian).

Whittaker R. Soobshchestva i ekosistemy [Communities and Ecosystems]. Moscow, Mir, 1981, 328 p. (in Russian).

Einstein A. Sobranie nauchnykh trudov v chetyrekh tomah. T. 4. Stat'i, recenzii, pis'ma. Evolyuciya fiziki [A collection of scientific works in four volumes. Vol. 4. Articles, reviews, letters. Evolution of physics]. Moscow, Nauka, 1967, 600 p. (in Russian).

Epshtein M.N. Ot znaniya k tvorchestvu [From knowledge to creativity]. Moscow; St. Petersburg, Centr gumanitarnykh iniciativ, 2016, 480 p. (in Russian).

Padmanabhan T. Do we really understand the Cosmos? Comptes Rendus Physique, 2017, vol. 18, p. 275–291. – <https://doi.org/10.1016/j.crhy.2017.02.001>

*Поступила в редакцию 1 ноября 2022 г.,
после доработки – 31 августа 2023 г.,
принята к публикации 5 сентября 2023 г.*