

ПРОБЛЕМЫ КРИОЛОГИИ ЗЕМЛИ

УДК 551.345 : 551.32 : 551.465 : 551.51

КРИОСФЕРА ЗЕМЛИ КАК ОБЪЕКТ КРИОЛОГИИ

В. П. Мельников

Институт криосферы Земли СО РАН, 625000, Тюмень, а/я 1230, Россия

Криосфера — единственная из внешних сфер Земли (ВСЗ), выделенная не по объекту исследования, а по возможному состоянию воды (важнейшего в развитии косной и органической материи на поверхности Земли вещества), которая частично перекрывается со всеми другими ВСЗ. Поэтому ее определяют три ключевых понятия: криогенные условия, процессы и образования.

Показанное в статье многообразие проявления (в зависимости от субстанции отдельных частей криосферы) предметов исследования наук о Земле, стоящих за этими понятиями, свидетельствует, что ни одна даже супернаука не в состоянии обеспечить изучение криосферы с необходимой детальностью.

В то же время знание эволюции криосферы и ее роли в развитии Природы на глобальном, региональном и локальном уровнях — одна из первостепенных задач, стоящих перед отечественной наукой. Решение ее видится в консолидации знаний о криосфере в едином информационном пространстве в рамках комплекса научных дисциплин — криологии. Одним из первых шагов в этом направлении является учреждение журнала „Криосфера Земли“.

Криосфера, криология, криогенные процессы, криогенные условия, криогенные образования

THE EARTH CRYOSPHERE AS AN OBJECT OF CRYOLOGY

V. P. Melnikov

Institute of Earth's Cryosphere, 625000, Tyumen, P.O. 1230, Russia

Cryosphere — unique of external spheres of the Earth (ESE), allocated not by an object of research, but by a possible condition of water (the substations, which are main in development of an inert and organic matter on a surface of the Earth), partially is characteristics all others ESE. Therefore it is defined by three covered up: cryogenic conditions, processes and formations.

The variety of demonstrations, shown in the article, (depending on substation of different parts of Cryosphere) subjects of research of sciences about the Earth using these characteristics, testifies, that any even superscience is not able to ensure study of Cryosphere with necessary detail.

At the same time knowledge of Cryosphere evolution and its role in development of a Nature at global, regional and local levels — one of paramount tasks of native science. The its decision sees in integration of knowledge about Cryosphere in uniform information space within the framework of a complex of scientific disciplines — cryology. One of first steps in this way is the establishment of a magazine „Earth Cryosphere“.

Cryosphere, cryology, cryogenic processes, cryogenic conditions, cryogenic formations

Конец XX века знаменуется тем, что научное сообщество осознало необходимость концентрации своих сил на путях достижения глобальной цели Человечества — сбалансированного эколого-экономического развития общества и Природы. Географическое положение России обязывает отечественную науку определить роль криосферы в развитии Природы в глобальном, зональном и региональном масштабах. На повестку дня встал вопрос о консолидации знаний о

криосфере в рамках комплекса научных дисциплин — криологии.

Ее наиболее широко распространенное определение следующее: „Криология (от крио... и ...логия) наука о криосфере“ [Большой энциклопедический словарь, 1991]. Существуют другие определения, наиболее узкое из которых „учение о льде“ приведено в [Хромов и др., 1974], а наиболее подробное и четкое (из встретившихся нам) дано В.М. Котляковым [Гляциологический

словарь, 1984]. В него включены объекты исследования: „Главными объектами К. (криологии, В.М.) являются атмосферные льды, наземное и морское оледенение, изучаемые гляциологией, а также многолетняя криолитозона, изучаемая геокриологией (мерзлотоведением). Таким образом, К. объединяет две названные отрасли науки“.

Вопрос об организационном оформлении криологии не нов. Примером его постановки служит статья Н.С. Иванова [Иванов, 1969]: „Изучением криосферы Земли в наше время занимаются различные науки: гляциология — наука о ледниках, геокриология (мерзлотоведение) и снеговедение. Ледовые покровы рек, водоемов, морей и океанов, а также атмосферный лед изучаются частными разделами метеорологии (физики атмосферы), гидрологии, океанологии и физики моря. И, наконец, искусственный лед и лед в сыпучих средах и искусственных материалах служит предметом исследования ледоведения и ледотехники.“ „...наступило время создать общую науку о криосфере Земли — криологию.“ „... разобщенность исследований и ограниченность целей и задач, решаемых отдельными частными и отраслевыми науками, сдерживает разработку теоретических основ науки о криосфере Земли.“ „Создание науки криологии позволит сконцентрировать все теоретические исследования по криосфере льда и планет и обеспечит постоянное обновление теоретического фундамента и создание опережающего задела для всех семейств естественных и технических наук, связанных с криосферой“. Н. С. Иванов решение проблемы видел в организации Института криологии, чего не произошло.

Прежде, чем обсуждать, какой видится криология в конце XX века, рассмотрим объект ее исследования — криосферу. Наиболее распространенное определение [Большой энциклопедический словарь, 1991]: „Криосфера..., прерывистая оболочка Земли в пределах теплового взаимодействия атмосферы, гидросферы и литосферы, характеризующаяся наличием или возможностью существования льда. Простирается от верхних слоев земной коры до нижних слоев ионосферы“. В определении П.А.Шумского [Краткая географическая энциклопедия, 1961] уточняются термодинамические условия криосферы „(отрицательная температура, низкое, до 250-300 кг/см², давление и заметная концентрация молекул Н₂О)“, что совмещает верхние границы криосферы и тропосферы. Желание внести все ледяные образования в пределы криосферы заставляет В.М.Котлякова „поднять“ ее верхнюю границу до „высот 100 км, включая сильно охлажденную мезопазузу с серебристыми облаками“ [Гляциологический словарь, 1984]. На наш взгляд, до обсуждения определения криосферы стоит остановиться на ключевых

понятиях, употребляемых при ее изучении: криогенные условия, процессы и образования.

Криогенные условия — термодинамические условия во внешних сферах Земли (ВСЗ), при которых вода — наиболее важное в развитии поверхностной оболочки Земли вещество, может перейти в твердое агрегатное состояние. До недавнего времени полагалось, что при природных давлениях, имеющих здесь место, криогенные условия характеризуются температурой, меньшей 0 °С. Однако после того как газогидраты стали объектом внимания человека (особенно после обнаружения природных газогидратов), температурный диапазон криогенных условий заметно расширился. Относительность понятия „криогенные условия“ зависит от „чистоты“ (содержание растворенных веществ; морская вода находится в жидком состоянии и при -1,9 °С) и концентрации (упругость насыщенного пара при -50 °С равна 0,06354 мбар) воды.

Криогенные процессы — широкий круг процессов, протекающих в криогенных условиях или связанных с их наличием (это наиболее широкое определение, включающее все биологические процессы, так как при отсутствии криогенных условий биоты на Земле не было бы). Они включают „криогенез“ — процессы в криосфере, сопровождающиеся образованием льда (по определению, приведенному в [Большой энциклопедический словарь, 1991]), или происходящие в промерзающих, мерзлых и протаивающих горных породах (одно из определений, принятых в геокриологии [Геологический словарь, 1973]). Б.И.Втюрин считает криогенез синонимом „криогенных процессов“ [Гляциологический словарь, 1984], разделяя его на „атмокриогенез, гидрокриогенез, биокриогенез и криолитогенез“ и указывая на то, что он происходит в пределах криосферы и сопровождается льдообразованием.

Криогенные образования — макроскопические образования, содержащие лед (наиболее узкое определение); образования, связанные с криогенезом (талый слой сезонного оттаивания, грозовые тучи, конусы рассеивания ледниковых валунов, земляные жилы и т.п., но в них не попадают массивы морозных пород), и образования, созданные (и находящиеся?) в криогенных условиях (пожалуй, наиболее широкое определение).

Криосфера Земли — пространство, в пределах которого существуют в данный момент (ограничено „текущей“ границей) или повторяются (просто граница) криогенные условия (с какой частотой?).

Эти определения не могут претендовать на строгость и приведены здесь, чтобы показать семантическую неоднозначность понятий, которыми оперируют в криологии и которыми придется пользоваться ниже.

Современная криосфера находится в пределах трех сфер Земли, различающихся по преобладающему агрегатному состоянию входящих в них веществ: литосферы, гидросферы и атмосферы. Специфика каждой из них определяет особенности присущих им криогенных условий, процессов и образований.

1. Наиболее выраженный глобальный характер (распространена по всей планете) криосфера имеет в пределах атмосферы, где она, по-видимому, существует в течение всей геологической истории Земли. Ее „текущая“ нижняя граница опускается в высоких и средних широтах до поверхности суши (воды) и наиболее сильно меняется в течение года (заметно — в течение суток). Верхняя граница практически не существует.

Криогенные условия в атмосферной части криосферы определяются близким к экспоненциальному уменьшением с высотой плотности вещества и высокой его подвижностью и характеризуются быстрыми изменениями температурного и влажностного режима. Последний определяется температурной зависимостью упругости насыщенного пара воды. В соответствии с глобальной структурой атмосферы выделяются 4 слоя:

— тропосфера, в пределах которой температура, как правило, уменьшается с высотой, достигая минимальной вблизи тропопаузы. Исключение составляет пограничный слой, где часто наблюдается инверсия температуры;

— в стратосфере температура газа с высотой растет, так что вблизи стратопаузы в летнее время отмечается слой с температурой до $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ [Хргиан, 1986]. Из-за низкой плотности среды эта температура характеризует лишь среднюю скорость молекул газа, консолидированный же объект на этой высоте с дневной стороны Земли нагревается, а с ночной — охлаждается путем радиационного испускания и поглощения тепла;

— в мезосфере температура понижается до минимума вблизи мезопаузы;

— в термосфере она резко возрастает, существенно превышая на высоте 250 км $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ (но для консолидированных объектов в ее пределах с ночной стороны Земли условия остаются криогенными). Двойной температурный экран (тропо- и мезопаузы) практически исключает появление паров воды в термосфере, поэтому географы часто совмещают верхнюю границу криосферы с тропопаузой.

К криогенным процессам можно отнести: фазовые переходы, определяемые главным образом температурной зависимостью упругости насыщенного пара воды; теплоперенос главным образом радиационный из-за низкой плотности и высокой прозрачности атмосферы (в тропосфере к нему добавляется конвективный, а в пограничном слое — турбулентный); движения масс

воздуха различных масштабов (от общей циркуляции атмосферы до микромасштабных).

Криогенные образования соответствуют состоянию атмосферы, т.е. мало консолидированы и занимают большие пространства, образуя сложные быстро меняющиеся системы, подчиняющиеся движениям и взаимодействию воздушных масс. Они включают воду в кристаллическом состоянии, в жидком переохлажденном и в виде пересыщенного газа. В кристаллическом состоянии в атмосфере находится порядка 18% воды, что составляет приблизительно 0,03% веса всей атмосферы. Среднее время жизни атмосферного льда несколько более суток [Котляков, 1994; Реймерс, 1990]. При кристаллизации льда (из исходного пара) в атмосфере выделяется тепла больше, чем поглощается атмосферой солнечной коротковолновой радиации (порядка $1,2 \cdot 10^{21}$ кДж/год против $1 \cdot 10^{21}$). Примеры криогенных образований:

— облака, при температуре выше $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ преимущественно капельные (больше 50% воды в капельном состоянии и менее 10 — в кристаллическом), а при температуре ниже $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ главным образом кристаллические (более 50% воды в кристаллическом состоянии и менее 10 — в капельном) [Хргиан, 1986]. К кристаллическим относятся все облака верхнего яруса тропосферы, перламутровые стратосферные и серебристые мезосферные облака, а также верхняя часть кучево-дождевых облаков вертикального развития и метельные облака. К облакам смешанного состояния относятся преимущественно слоистые облака среднего и нижнего ярусов;

— атмосферные осадки, представленные снегом, крупой и градом;

— туманы, в том числе ледяные (преимущественно при температуре ниже $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$);

— холодные воздушные массы, арктические и полярные (зимой).

Криосфера в атмосфере — это проявление сформировавшейся к настоящему времени сложной глобальной климатообразующей системы Земли с ее резкими вертикальными температурными изменениями, исключаящими равномерное (как основных газов атмосферы) распределение паров воды, что обеспечивает возможность существования современной биосферы, наличие густого облачного покрова, сглаживающего резкую широтную зональность теплообмена поверхности Земли, и общую циркуляцию атмосферы, определяющую влагооборот системы континенты—океаны.

Большую роль играет криосфера в очистке атмосферы от вредных техногенных выбросов (газов и взвесей, последние могут служить ядрами конденсации и кристаллизации), оборотной стороной чего является локальное загрязнение местностей (полос) выпадения осадков.

Антропогенное загрязнение атмосферы нарушает природные криогенные условия и изменяет структуру естественных криогенных образований. Достаточно давно люди научились управлять криогенными процессами в атмосфере, например, предотвращая выпадение града, наносящего значительный ущерб сельскому хозяйству.

2. Современная криосфера в пределах гидросферы (при ее описании использованы материалы, приведенные в [Котляков, 1994; Атлас Арктики, 1985; Вертикальная структура..., 1989; Зубаков, 1986; Коротков, 1995; Крутских, 1995]) сформировалась в олигоценовую эпоху (порядка 30 млн лет назад) после того, как установилось Антарктическое циркумполярное течение. В Арктическом полярном бассейне она непрерывно существует более трех миллионов лет и включает в себя части океанов и морей, в пределах которых температура принимает значения ниже 0 °С. О распространении гидросферной части криосферы можно судить по площади максимального развития морских льдов (9,7% площади Мирового океана) или площади акваторий, где встречаются айсберги (около 20%). Это — многосвязная область без четко выраженных границ, включающая в себя участки дрейфующих льдов и отдельных айсбергов. О масштабах ее сезонной изменчивости свидетельствует изменение площади акваторий, занимаемых морскими льдами: в Южном полушарии она меняется более чем в 7 раз (при изменении объема льдов более чем в 4 раза), в Северном — примерно в 2 раза (при изменении объема льдов — в 1,75 раза). Среднее время жизни морских льдов около года (в Антарктике — порядка 0,8 лет, в Арктике — 1,3 года). В ледяных массивах преобладают многолетние льды, но и в них, подтаивая сверху и подмерзая снизу, лед все время меняется.

Специфика криогенных условий гидросферной части криосферы обусловлена тем, что среда подвижная и практически полностью представлена солеными (солончатыми) водами, свойства которых (плотность, температура замерзания и др.) зависят от их состава, меняющегося при появлении льдов. Теплопередача в этой среде осуществляется главным образом посредством конвекции. Криогенные условия определяются структурой и стратификацией вод океана (в частности, наличием распресненных поверхностных вод и галоклина), обладающих эндемическими особенностями, связанными со специфической взаимодействием вод с атмосферой и дном океана, с адвекцией вод с различными свойствами и с перераспределением импульса и энергии между водными массами. Перечисленные факторы по-разному действуют в Южной (открытость Южного океана) и Северной (приполюсное положение и относительная изолированность бассей-

на Северного Ледовитого океана) полярных областях, да и в пределах Западной и Восточной частей Евразийской и Канадской зон Северного Ледовитого океана. Соответственно различаются и криогенные условия. Не все воздействия идентичны в разные годы, что приводит к вариативности криогенных условий, например, межгодовые изменения максимальной площади покрова антарктических морских льдов составляют 23% от средней.

Из-за высокой подвижности среды и громадных масштабов (ежегодно с учетом тающих айсбергов только в фазовых переходах жидкость—лед участвует не менее 0,003% всей воды океанов) криогенные процессы в гидросфере представляют сильно иерархизированную сложную систему. На низшем уровне иерархии (физико-химические процессы) можно выделить, например, внутриводное зарождение и рост кристаллов льда (ледяные иглы), оттаивание из морского льда рассолов, таяние льда с поверхности ледяных образований и т.д. Процессы более высокого уровня иерархии, например, формирование и разрушение ледяных образований (из ледяных игл — ледяного сала; из снежур, ледяного сала и всплывающего донного льда — склянки, нилас или блинчатого льда; затем молодого льда, однолетнего и старых льдов и т.д. до ледяных полей; торшение льдов и т.д.), конвекция в распресненном слое над галоклином и др. Еще более высокого уровня, например, формирование и сезонная эволюция макроструктуры ледяного покрова, изменение термохалинной стратификации водных масс. Далее, например, дрейф льдов, распреснение поверхностных вод, образование и разрушение припая, формирование и разрушение ледяных массивов, развитие глубокой конвекции и формирование водных охлажденных масс (донных вод) и гидрологических фронтов, изменение энерго- и массообмена с атмосферой, определяющее климат континентов. И наконец, годовая эволюция покровов морских льдов (рост и сокращение ледяного пояса в Южном океане), формирование психросферы и глобального климата.

Специфика среды гидросферы (громадные сплошные массы подвижной воды, обладающей аномально высокой теплоемкостью, термохалинная зависимость ее плотности, аномально низкая плотность и механические свойства льда), а также термические и механические внешние воздействия на нее обуславливают особенности развития в ее пределах криогенных образований. К ним можно отнести:

— ледяные покровы: Антарктический — образует ледяной пояс, Арктический — не представляет единого образования, так как помимо льдов Северного ледовитого океана и примыкающих к нему акваторий Атлантического и Тихо-

го океанов включает льды Охотского, Японского, Балтийского и даже Азовского и Каспийского морей. „Ледяной покров представляет собой физико-географическую (геофизическую) среду“, состоящую из ледяных образований (первичных элементов: ледяных полей, обломков полей и т.д.), которые, смерзаясь и разрушаясь, „образуют более крупные иерархии“ [Вертикальная структура..., 1989] (блоки, полосы, пятна и т.д.). Ледяные поля зачастую представлены конгломератом льда разного возраста, текстуры и структуры. К концу зимы лед покровов состоит в Антарктике: 17% — многолетние и двухлетние льды, 56% — однолетние и 27% — молодые и начальные формы льда; в Арктическом бассейне соответственно: 75, 15 и 10%. Основная площадь покровов слагается дрейфующими льдами, меньшая — льдами формирующегося зимой припая. Дрейфующие льды характеризуются сплоченностью и в своем движении подчиняются определенным закономерностям. Например, в Южном океане: вдоль берегов Антарктиды — западный дрейф, во внешнем поясе — восточный, совпадающий с Антарктическим циркумполярным течением. В Арктическом бассейне четко отмечаются: трансарктический поток от Чукотского моря вдоль склона Сибирского шельфа к Гренландскому морю и антициклональный круговорот в Канадском секторе бассейна, положение и даже наличие которого определяется преобладающими устойчивыми синоптическими процессами. Макромасштабными особенностями строения ледяных покровов являются ледяные массивы (устойчивые по положению сплоченные ледяные образования) и полыньи. Лед покровов характеризуется устойчивыми пространственными формами строения — типом макро- и мезоструктур, которые изменяются в течение года;

— охлажденные водные массы, характеризующиеся специфической „полярной“ стратификацией. Для них обязательно наличие мало-мощного (порядка десятков метров) слоя поверхностных распресненных вод, подстилаемого галоклином, ограничивающим приповерхностную конвекцию, выравнивающую температуру в поверхностном слое до температуры фазовых переходов. В Южном океане распреснение связано с таянием ледяного покрова и айсбергов; в Арктическом бассейне — в основном с речным стоком. К ним относятся глубокие и донные воды Полярного бассейна, обладающие отрицательной температурой, а также можно отнести воды психросферы (зоны холодных донных вод с температурой ниже 8 °С), которые образуются в зоне формирования паковых льдов в Южном океане с интенсивностью $8,2 \cdot 10^5$ км³/год;

— речные и озерные льды и наледи.

Криосфера в гидросфере — существенный компонент современной глобальной климатооб-

разующей системы, определяющий стратификацию Мирового океана, тепло-массообмен в его пределах и тепло-массообмен в системе океан—атмосфера в высоких широтах. Припайные льды сильно меняют характер и скорость абразии в прибрежных зонах полярных морей. Коммуникации приполярных стран зависят от ледовой обстановки в полярных морях. Ледовые покровы на реках определяют время навигации, ледостав резко меняет условия жизни водной биоты, заторы могут привести к сильным наводнениям, а зажоры осложняют работу ГЭС.

3. Время существования современной криолитозоны России свыше миллиона лет, что подтверждается сингенетически промерзшими отложениями раннего плейстоцена, слагающими высокие террасы р. Лена и ее притоков, а также обнаруженными в бассейне р. Колыма грунтовыми жилами и псевдоморфозами по ледяным жилам, свидетельствующими о сингенетическом промерзании пород в верхнем плиоцене, порядка двух миллионов лет назад. Количественные данные о масштабах развития криолитозоны наиболее противоречивы. Так по [Котляков, 1994] площадь распространения подземных льдов в 1,5 раза больше, чем по [Реймерс, 1990; Маэно, 1988], и в 1,3 раза — чем площадь „вечной“ мерзлоты по [Кондратьев, 1992]. В [Уошборн, 1988] общая площадь распространения разных видов вечной мерзлоты в 1,2 раза больше, чем подземных льдов по [Котляков, 1994]. В то же время масса подземного льда по [Котляков, 1994], совпадая с максимальной оценкой в [Маэно, 1988], в 4 раза меньше, чем показана в [Реймерс, 1990]. По [Котляков, 1994], среднее время жизни подземных льдов 30—75 лет, а по [Кондратьев, 1992] время „вечной“ мерзлоты 10^4 лет (по-видимому, существования). Такой разброс свидетельствует о неидентичности понятий, используемых разными авторами. В течение года площадь распространения подземной мерзлоты меняется почти в 2 раза.

Специфика криогенных условий криолитозоны в том, что среда твердая, ее строение определяется геологическими процессами и часто мало зависит от состояния (немерзлое—мерзлое—талое). Изменение состояния слабо сказывается на содержании „активного“ вещества — воды. Однако свойства среды (особенно обеспечивающие тепло-массообмен через нее) резко меняются с переходом от талого в мерзлое состояние. Механизм теплопереноса в ней, как правило, кондуктивный, поэтому эффективный коэффициент теплопроводности на 1—3 порядка меньше, чем у вод океана, на 2—5 порядков — чем в приземном слое воздуха и на 5—7 порядков — чем в слое Экмана [Балобаев, 1991]. Этим объясняется высокая инерционность криолитозоны в сравнении с другими компонентами климатооб-

разующей системы Земли. Истоки и стоки тепла в криолитозоне находятся вне ее, причем источник со стороны внешней (относительно литосферы) границы на 3—4 порядка интенсивнее, чем с внутренней [Балобаев, 1991]. Поэтому отношение энергооборотов на внешней и внутренней границах криолитозоны находится примерно в такой же пропорции и лишь в среднем за год тепловой дисбаланс (мощности) на внешней границе сопоставим с постоянным притоком тепла на внутренней.

Специфика криогенных процессов в криолитозоне в их преимущественно жесткой пространственной привязке. Наиболее широко (по площади, например, почти на половине суши Северного полушария [Уошборн, 1988]) развиты процессы сезонного промерзания-протаивания. Вместе с процессами, вызываемыми сезонными и суточными изменениями температур, они вовлекают в оборот основную долю энергии, поступающей в криолитозону из внешнего (по отношению к литосфере) пространства. Поэтому деятельный слой (в широком понимании) — зона максимальных энергооборотов в литосфере. Наиболее наглядны в деятельном слое геоморфологические процессы, при которых фазовые переходы вода—лед, приводя к деструкции горных пород и изменяя их прочность, способствуют формированию криогенного рельефа. Значительно менее интенсивны (по энергообороту), но не менее широко проявляются процессы собственно криогенеза — формирования криогенных толщ многолетней криолитозоны, выражающиеся главным образом в образовании подземных льдов и криогенных текстур горных пород. Особое положение занимает криогенез, приводящий к формированию субаквальной криолитозоны, при этом наиболее сложные криогенные условия и процессы наблюдаются в прибрежной полосе. Не менее значимы процессы формирования криогидрогеологических структур, сводящиеся к появлению криогенных водоупоров, криоконцентрированию (опреснению) вод и изменению гидрогеологических режимов за счет создания аномально высоких (низких) напоров и изменения водно-фильтрационных и коллекторских свойств горных пород.

С позиций упомянутых процессов можно рассматривать криогенные образования криолитозоны:

— по длительности и регулярности промерзания в криолитозоне выделяются: многолетние криогенные толщи, сплошного и прерывистого распространения, слагаемые мерзлыми и морозными (сухими и криоплгами) горными породами и таликами, зона систематического сезонного промерзания и зона кратковременного и несистематического промерзания;

— по регулярности и направленности процессов промерзания-протаивания выделяются: субаквальная и субаэральная криолитозоны, деятельный слой, стационарные многолетнемерзлые толщи, нестационарные (деградирующие и аградирующие) и реликтовые;

— по синхронности формирования и промерзания криогенные образования разделяются на эпигенетические, сингенетические и диагенетические.

В качестве криогенных образований можно рассматривать формы криогенного рельефа, среди которых выделяются 3 основных класса [Гляциологический словарь, 1984]: криоаградационный (пучинный, полигональный), криодеградационный (термокарстовый, криоэрозионный и криоабразионный) и смешанный (криоструктурный, солифлюкционный, нивальный и курумный).

Криогенными образованиями можно считать криогидрогеологические структуры [Ершов, 1990]. Характер многолетнего промерзания гидрогеологических структур изменяет условия формирования подземного стока и нарушает вертикальную гидрохимическую зональность. Возникающие при этом криогенные водоупоры разобщают исходную гидрогеологическую структуру на отдельные бассейны стока. Они резко меняют режим грунтовых вод. Сплошность, мощность и температурный режим криогенных водоупоров определяют региональные гидрогеологические условия в области развития многолетней криолитозоны. С аградирующей мерзлотой связана криоконцентрация подмерзлотных вод, а с деградирующей — криогенное опреснение.

4. Помимо трех рассмотренных частей криосферы выделяют отдельно гляциосферу — „совокупность снежно-ледяных образований на поверхности Земли“ [Гляциологический словарь, 1984]. Существенную часть ее — ледяные покровы морей и океанов мы отнесли по генезису к гидросфере. Основная часть поверхностных образований — ледники и ледниковые покровы, аккумулярующая в себе около 99% массы снега и льда [Маэно, 1988], как современные криогенные образования начали формироваться около 40 млн лет назад в Антарктиде [Зубаков, 1986], однако средний период полной замены льда в ледниках оценивается в 10 тыс. лет (в Центральной Антарктиде — превышает 200 тыс. лет) [Котляков, 1994]. Снежный покров, имеющий самую большую площадь распространения из всех криогенных образований (14% площади планеты; почти в 3 раза больше площади морских льдов и в 4,5 раза — ледников и ледниковых покровов [Котляков, 1994]) при содержании всего около 0,04% массы снега и льда, имеет среднее время жизни 130—190 суток. Криоген-

ные условия, процессы и образования гляциосферы и ее роль наглядно и подробно показаны в [Гляциологический словарь, 1984; Котляков, 1994].

5. Нельзя не упомянуть об особой части криосферы — техногенной. К ней можно отнести участки (объекты) искусственного замораживания (растепления) или сохранения мерзлого (талого) состояния.

Криосфера — сложное эволюционирующее глобальное явление. Развитию внешних оболочек Земли присуща определенная направленность: уменьшение радиогенного потока тепла из недр Земли, рост континентальных плит, изменение вещественного состава оболочек (появление воды, кислорода и т.п.), эволюция осадконакопления, развитие биосферы и др. Благодаря сложившимся в географической оболочке Земли геохимическим особенностям и меняющимся в узком диапазоне в течение геологической истории термодинамическим условиям, позволяющим одному из наиболее распространенных веществ — воде находиться одновременно в трех агрегатных состояниях, она стала наиболее важным компонентом, определяющим в соответствии с изменением этих условий эволюцию как неорганического, так и органического мира. Для последнего выход из устоявшегося диапазона условий зачастую губителен. Главная черта эволюции, обеспечивающая относительную устойчивость состояния ВСЗ — преобладание хаотических (сложные уникальные объекты с многофакторным поведением) и циклических (разного масштаба системы со сравнительно небольшим числом повторяющихся определяющих факторов) процессов, например: дрейф литосферных плит, горообразовательные процессы, активизация вулканической деятельности, эвстатические колебания и изостазия, перестройка океанических и атмосферных течений, чередование гляцио- и термо-эр, изменение солнечной радиации и т.д.

Возникновение и существование Человечества совпало с последней (позднеледниковой) трендокриохроной (терминология В. А. Зубакова [Зубаков, 1986]), начавшейся около 40 млн лет назад. Криохроны характеризуются „развитой“ (включающей не только атмосферу, но и гидро- и литосферу) криосферой и „ледниково-психосферным экзосферным“ режимом. При нем климат высоких широт обладает повышенной чувствительностью к изменениям солнечной радиации, определяемым орбитальным механизмом Миланковича, которые вызывают (служат „спусковым крючком“) ритмические климатические колебания с циклами в 41, 100, 400 и 1200 тыс. лет, приводящие к чередованию ледниковых и межледниковых периодов. Наличие и развитие криосферы накладывает свой отпечаток на эво-

люцию всех ВСЗ, что можно рассматривать в рамках глобального, регионального и локального воздействия на Природу.

Высокое альbedo ледниковых и снежных покровов при высокой прозрачности воздуха (без пыли и аэрозолей) вызывает выхолаживание атмосферы высоких широт. Разница температур экватор—полюс для северного и южного полушарий соответственно: летом 28° и 40°, зимой — 60° и 74° [Монин и др., 1979]. Это поддерживает интенсивную атмосферную циркуляцию с развитыми циклоническими процессами, меридиональным переносом, системой западных ветров и мощными ветровыми приповерхностными океаническими течениями (в том числе Антарктическое циркумполярное). Охлаждение больших объемов нормально-соленых приповерхностных вод в зоне формирования паковых льдов в Южном океане обеспечивает наличие психросферы — зоны холодных донных вод с температурой ниже 8 °С, температурную асимметрию океана и атмосферы (средние температуры вод океана и атмосферы соответственно: 5,7 и 14,2—15,0 °С), а также перепады в 15—20 °С между температурами вод: экватора — высоких широт и поверхностных — донных в тропиках [Монин и др., 1979]. Указанные факторы определяют высокую скорость донных течений (до 0,5 м/с) и широкое развитие в низких широтах апвеллингов. Это обуславливает равновесие между концентрациями углекислого газа в океане и атмосфере, поддерживаемое планктоном (питательными веществами, необходимыми для существования которого, обогащены холодные воды), а также регулирует концентрацию водных паров в атмосфере. Степень ее „прозрачности“ определяют углекислый газ и пары воды. Ветровой теплоперенос с регулируемой „прозрачностью“ атмосферы — механизм самовосстановления „возмущенной“ криосферы, колеблющейся во время крио-эры между ледниковыми и межледниковыми периодами.

Другой пример глобальных проявлений эволюции криосферы — эвгляциостатические колебания уровня Мирового Океана. Во время верхнеплейстоценового оледенения предположительно он опускался на 120 м ниже современного. При полном таянии льдов Антарктиды и Гренландии ожидается подъем уровня на 60 м [Матишов, 1987]. С отмеченными колебаниями связано широкое развитие в пределах современного шельфа субаэральных отложений, в том числе (в высоких и умеренных широтах) моренных и сингенетических и эпигенетических криогенных образований. Отступление и наступание ледников и колебание уровня моря приводит к гляцио- и гидроизостатическим движениям шельфа, что может вызвать активизацию вулканической деятельности.

Особенностями строения криосферы и в значительной степени определяемым ею климатом обусловлена биогеографическая зональность. Господствующие в средних и высоких широтах биоценозы развились с учетом годовой цикличности не только климата (за который ответственны в основном атмо- и гидросфера), но главным образом режима промерзания или протаивания в криолитозоне, так как им определяются устойчивость и функционирование корневой системы фитоценозов.

Но лишь локальные условия и формы развития криосферы и других ВСЗ (рельеф, микроклимат, биогеоценозы, геологическое строение, гидрологические и гидрогеологические условия, распределение геохимических и геофизических полей) определяют характер конкретных процессов, выражающих их взаимодействие в общей эволюции, и явлений, фиксирующих ее. Так строение (гранулометрический состав, льдистость, криогенные текстуры, вертикальная зональность в разрезе и др.) и сезонные и многолетние преобразования отдельных толщ (слоев, массивов) криолитозоны определяются взаимодействием образований и взаимоналожением процессов литосферы (геологические образования; эрозионные процессы, задаваемые формой рельефа), гидросферы (режимы наземных и подземных вод), атмосферы (температурный режим поверхности, осадки, снежный покров) и биосферы (устойчивость снежного и почвенного покрова, гидрохимия последнего, сукцессия). Специфика криосферы в ее высокой чувствительности к температурному и водному режиму, особенно ее „текущей“ поверхности, которая чаще всего совпадает с „границей“ фазовых переходов воды. Поэтому такую большую роль в ее развитии играют покровы и экраны (косные, живые и полевые), препятствующие свободному перераспределению тепла и влаги.

Появление антропосферы вносит свои коррективы в развитие и взаимодействие между собой ВСЗ, в том числе и криосферы. Наибольшее отражение в научной литературе нашли глобальные антропогенные воздействия, приводящие к изменению теплового баланса Земли (уменьшение альбедо главным образом за счет загрязнения и сведения снежного и ледяного покровов) и режима распределения и протекания термо-влажностных циклов в пределах географической оболочки, а также к нарушению глобальных биогеохимических циклов вследствие сведения лесного и растительного покровов, расширения площади сельхозугодий, резкого уменьшения биоразнообразия, извлечения громадных масс из недр с последующим существенным загрязнением географической оболочки). Угроза выхода глобальных воздействий из-под контроля общества послужила основанием появления кон-

цепции устойчивого развития. Применительно к криосфере они грозят нарушить „прозрачность“ атмосферы и вывести Природу из состояния неустойчивого равновесия в настоящем межледниковом периоде. При этом возможно даже нарушение механизма самовосстановления „возмущенной“ криосферы и переход системы ВСЗ от крио-эры к термо-эре с совершенно непредсказуемыми катастрофическими последствиями для Человечества. Футурологический потенциал науки недостаточен, чтобы надежно предсказать хотя бы тенденцию поворота Природы к резкому потеплению или к очередному ледниковому периоду, поэтому она может советовать лишь уменьшить глобальные воздействия и организовать систему мониторинга за их последствиями.

Региональные антропогенные воздействия, например, сведение естественной растительности, прежде всего лесов, выразились в размывании биогеографической зональности, в чем немалую роль играет изменение режима промерзания (протаивания) в криолитозоне.

В рамках одной статьи невозможно дать полную характеристику криосферы, ее значение в жизни России и Человечества, а тем более показать специфику и разнообразие методов ее исследования. Однако приведенные данные, на наш взгляд, позволяют сделать следующие выводы:

— роль криосферы весьма многообразна и важна в развитии Природы (ВСЗ), причем на региональном и локальном уровнях существенную, а иногда определяющую роль играет криолитозона, особенно многолетняя;

— оптимальное регулирование взаимоотношений Человека и Природы особенно в высоких и средних широтах (Россия) возможно лишь при детальном изучении строения криосферы и процессов, определяющих ее развитие;

— морфология и динамика отдельных частей криосферы (атмосферы, гидросферы, криолитозоны и снежных и ледяных покровов) различны и невозможно в рамках одной даже „супернауки“ обеспечить ее изучение с необходимой полнотой и детальностью;

— эволюцию криосферы и ее роль в развитии Природы на глобальном, региональном и локальном уровнях необходимо исследовать как единую проблему, требующую мультидисциплинарного подхода, особенно когда речь идет о натуральных и экспериментальных исследованиях.

Объекты исследования всех наук о Земле в России находятся в пределах криосферы, но специально и наиболее интенсивно отдельные части криосферы изучают следующие науки (по классификации Академии наук): геологические (инженерная геология и гидрогеология); физика океана; метеорология и физика атмосферы; физическая география и водные проблемы. И лишь две науки изучают только криосферу: гляцио-

логия (направление физической географии) и геокриология. Причем последняя возникла как наука, исследующая воздействие человека на криолитозону в связи с возникающими при этом экологическими проблемами, таким образом изначально в ней складывался подход к оценке воздействий на окружающую среду.

В СССР наблюдения и исследования криосферы помимо научных организаций проводили два ведомства: геологическая служба (инженерно-геологические и гидрогеологические исследования) и гидрометеослужба. Ведомственные интересы и разобщенность служб наложили некоторую профессиональную ограниченность на материалы массовых исследований криосферы — многие проблемы, связанные с влиянием криосферы на биосферу, экологию человека, техносферу и др. лишь слегка затронуты научными исследованиями.

В настоящее время в связи с практическим развалом федеральной геологической службы, уменьшением роли других федеральных ведомств, в частности, гидрометеослужбы, резким уменьшением возможностей научных организаций и увеличением прав территорий на освоение принадлежащих им ресурсов актуальной становится перестройка организации контроля за проведением геокриологических исследований и использованием их результатов при природопользовании. Для реализации контроля федеральная наука на основе ревизии накопленных научных знаний и опыта проведенных исследований должна создать и поддерживать единое информационное пространство для науки, федеральных служб и структур жизнеобеспечения территорий. При этом наука должна контролировать кондиционность исследований и обеспечивать современный уровень использования их результатов.

Для решения отмеченных задач науки, исследующие криосферу Земли должны объединить свои усилия, чтобы интегрировать свои знания (и накопленные Человечеством при освоении высоких широт навыки) в рамках „супернауки“ — криология Земли. Это определяет цель

журнала — всемерно способствовать получению и использованию научных знаний о криогенных образованиях, процессах и условиях и в целом о криосфере Земли как среде жизнеобеспечения Человечества.

Литература

- Атлас Арктики / Гл. ред. А.Ф.Трешников. М., ГУГК, 1985, 204 с.
- Балобаев В.Т. Геотермия мерзлой зоны литосферы севера Азии. Новосибирск, Наука, 1991, 194 с.
- Большой энциклопедический словарь. М., Советская энциклопедия, т.1, 1991, 863 с.
- Вертикальная структура и динамика подледного слоя океана / Под ред. Л.А.Тимохова. Л., Гидрометеоиздат, 1989, 142 с.
- Геологический словарь / Отв. ред. К.Н.Паффенгольц. М., Недра, т.1, 1973, 487 с.
- Гляциологический словарь / Под ред. В.М.Котлякова. Л., Гидрометеоиздат, 1984, 528 с.
- Ершов Э.Д. Общая геокриология. М., Недра, 1990, 559 с.
- Зубаков В.А. Глобальные климатические события плейстоцена. Л., Гидрометеоиздат, 1986, 288 с.
- Иванов Н.С. Мир льда — знакомый и таинственный / Наука и жизнь. М., Правда, № 9, 1969, с. 49—57.
- Кондратьев К.Я. Глобальный климат. СПб., Наука, 1992, 359 с.
- Коротков А.И. Основные итоги и перспективы исследований ледового режима Южного океана / Проблемы Арктики и Антарктики. 1995, вып. 70, с. 84—103.
- Котляков В.М. Мир снега и льда. М., Наука, 1994, 286 с.
- Краткая географическая энциклопедия / Гл. ред. А.А. Григорьев. М., Советская энциклопедия, т.2, 1961, 592 с.
- Крутских Б.А. Основные итоги изучения и прогнозирования морских льдов Арктики. Там же. с. 58—74.
- Матишов Г.Г. Мировой океан и оледенение Земли. М., Мысль, 1987, 269 с.
- Маэно Н. Наука о льде. М., Мир, 1988, 231 с.
- Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. Л., Гидрометеоиздат, 1979, 407 с.
- Реймерс Н.Ф. Природопользование. М., Мысль, 1990, 640 с.
- Уошборн А.Л. Мир холода. Геокриологические исследования. М., Прогресс, 1988, 384 с.
- Хргиан А.Х. Физика атмосферы. Изд-во МГУ, 1986, 328 с.
- Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. Л., Гидрометеоиздат, 1974, 568 с.

Поступила в редакцию
8 января 1997 г.