

В. Р. Алексеев



**Владимир Романович
Алексеев,**

*доктор географических наук,
профессор, главный научный
сотрудник лаборатории
инженерной геокриологии
Института мерзлотоведения
им. П. И. Мельникова СО РАН*

Передача тепла от одного тела к другому есть фундаментальное свойство Природы. Теплообмен между двумя материальными субстанциями, определяемый разностью температур, является источником всех известных и неизвестных преобразований во Вселенной, причиной вечного и бесконечного движения вещества – от элементарных частиц микромира до суперзвёзд и галактических чёрных дыр. На Земле колебания температуры около 0 °С приводят к кардинальному изменению условий жизни, главным образом, благодаря переходу воды из жидкого состояния в твёрдое и обратно. Этот процесс контролирует развитие практически всех форм жизни, поскольку кристаллизация внутриклеточных водных растворов сопровождается перестройкой или гибелью белкового вещества. Холод – властелин нашей планеты. Он охватывает практически всю внешнюю её часть, оставляя постоянно положительные температуры лишь в тропических и субтропических широтах. Непременной составной частью этого пространства,

его характерным признаком является твёрдая вода – лёд и его скелетная кристаллическая модификация – снег. Холод, снег и лёд – могучие экологические факторы. Они не только трансформируют среду обитания живых существ, структуру и свойства биологических и биокосных систем, но и меняют лик нашей планеты, определяют пути развития цивилизации и биосферы Земли в целом.

Земля в объятьях Деда Мороза

Кто не знает Деда Мороза – этого доброго, седобородого человека с мешком детских подарков за плечами, непременно присутствующего на наших новогодних праздниках?! Да и в другие времена, у других народов, в том числе в тёплых краях, образ обаятельного весёлого старичка вызывает умиление и радость. Но есть и другой образ посланника стужи – суровый, даже жестокий и всепроникающий зимний мороз, которого страшится всё живое, от которого в кустах не спрячешься, а если и укроешься в тёплом месте, то лишь на время (рис. 1). Рано или поздно он

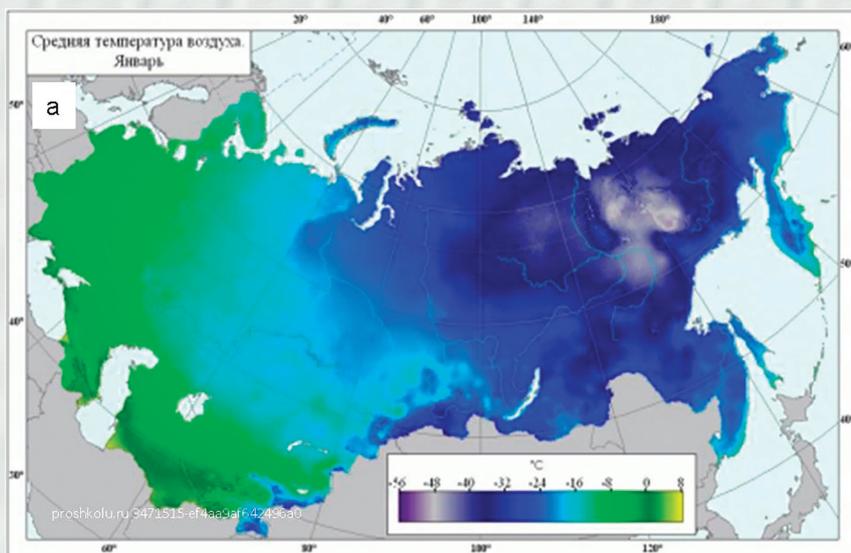


Рис. 1. Якутия – самый холодный из обжитых регионов в мире.

На дворе –35 °С, значит, потеплело. Морозный туман на улице — верный признак того, что столбик термометра опустился ниже –40 °С. А если –50 °С или – 60 °С? (а, б). Тут не помогут ни вязаная шапочка, ни рукавички – без мехов и двойной-тройной одежды не обойтись (в, г). Да и лицо придется укутать шерстяным шарфиком (в, д) – не то нос и щёки через 10 минут станут белыми. Мороз – настоящее испытание не только для людей, животных и растений, но и для любой техники, для инженерных сооружений тоже. Но жители Севера давно приспособились к суровым условиям – построили чумы, дома, убежище для скота, сшили тёплые одежды, заготовили корма. И даже на Полюсе холода, в Оймяконе (е) всё идет своим чередом – дымят котельные, работают магазины, библиотека, ясли, дети ходят в школу. Здесь не боятся Деда Мороза, но уважают его крутой и дерзкий нрав

всё равно достанет, заставит поклониться его всемогущей силе, а то и накажет, несмотря на чины и ранги. Именно поэтому к приходу зимы за́долго готовятся звери и птицы, рыбы и насекомые, деревья и кустарники, мхи и лишайники и, конечно же, люди. Главная опасность при встрече с зимним морозом – его способность превращать воду, влагосодержащие вещества и организмы в твёрдые негибкие предметы, от чего мир преобразуется и теряет обычную подвижность, а жизнь замирает или прекращается вовсе.

Мороз символизирует холод – субъективное ощущение, возникающее при разнице температур между человеческим телом и окружающей средой. С физической точки зрения холод – это энтальпия, теплосодержание, показатель, характеризующий энергетический потенциал, состояние какого-либо объекта, т. е. движение атомов и молекул. Поэтому термин «холод» применяется не только в отношении отрицательных, но и положительных температур. Однако в науках о Земле он используется в основном для обозначения состояния отрицательно-температурной и льдосодержащей среды. В этом значении содержание понятия «холод» совпадает с понятием «крио» (от греческого *kryos* – холод, мороз, лёд). Термин «крио» входит в состав многих сложных слов и словосочетаний, обозначающих связь со льдом и низкими температурами. Он широко используется в научной и технической литературе и даже выступает в качестве корневого элемента в названиях научных дисциплин (криология, криобиология, геокриология, криохимия, криогеника и др.).

Холод создаёт своеобразную термодинамическую оболочку Земли – криосферу, границы которой, постоянно меняясь, разделяют другие земные сферы на характерные сегменты. Таким образом, мороз и холод простираются далеко-о за пределы нашего бытия. Более того, они управляют глобальными процессами – сдвигают горы, меняют направления рек, очертания континентов, глубину морей и океанов, а самое главное, определяют структуру, морфологические особенности, состав и разнообразие биосферы. Всё это совершается посредством внешне простого, всем знакомого процесса – замораживания воды. Феноменально!! Нигде во всей Вселенной ещё не обнаружили такого монстра.

А дело в том, что в ряду планет Солнечной системы лишь на Земле химическое соединение водорода и кислорода (H_2O) находится одновременно в трёх агрегатных состояниях – жидком, газообразном и твёрдом. Благодаря воде здесь зародилась и развивается жизнь, на глазах меняется лик планеты, активно и своеобразно взаимодействуют земные оболочки. Как материальная субстанция твёрдая вода (лёд) играет исключительно важную роль в судьбе планеты. Под тяжестью ледяных толщ прогибается земная кора, снежный и ледяной покровы контролируют водно-тепловой баланс планеты. Лёд является не только носителем, но и источником жизни. Предполагается, что именно он доставил на Землю протокариоты, положившие начало образованию земной атмосферы. Вот и получается, что заботливый, но строгий Дедушка Мороз – не только гость-знакомый, но

и наш пра-пра-родитель. Однако родственные отношения с «великим и ужасным» – ещё не повод для панибратства. Чтобы предупредить и обезвредить коварное поведение Холода, надо знать его специфические особенности, т. е. изучить физическую природу, разгадать так называемый криогенез – процессы преобразования земного вещества под воздействием низких температур. Решением этой исключительно важной и сложной задачи занимаются люди редкой профессии – геофизики, гляциологи, мерзлотоведы.

Криология – наука о сфере холода

Значение холода, снега и льда в жизни общества и планеты в целом долгое время преуменьшалось. Или совсем не учитывалось. Среди великого множества криогенных образований лишь ледникам отдавалось традиционное предпочтение. Ситуация изменилась в середине XX в., когда (в основном благодаря работам российских учёных) определилось содержание гляциологии как всеобщей геолого-географической науки обо всех видах природного льда. Изменилось и отношение к сфере холода – криосфера Земли стала предметом и объектом специальных исследований в рамках академических и учебно-образовательных программ. Появились специальные научно-исследовательские центры – Институт мерзлотоведения АН СССР и СО РАН в Москве и Якутске, Институт криологии Земли СО РАН в Тюмени, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН в Чите и др. Создан Научный совет по криологии Земли АН СССР (РАН). В ряде высших учебных заведений созданы кафедры мерзлотоведения (геокриологии), криолитологии и гляциологии (МГУ, ТюмНГТУ, СВФУ и др.).

Важнейшим событием в развитии знаний о нашей планете стало издание уникального картографического произведения – Атласа снежно-ледовых ресурсов мира (СЛРМ), составленного под руководством академиков Г. А. Авсюка и В. М. Котлякова [1]. Это был крупнейший проект современности, направленный на изучение, систематизацию и оценку твёрдой фазы воды на всём земном шаре. Он объединил огромную армию специалистов разных стран, преимущественно России и стран СНГ, и явился выдающимся вкладом в Международную гидрологическую программу, курируемую ЮНЕСКО, в Международную геосферно-биосферную программу Международного совета научных союзов и ряд других глобальных проектов.

Атлас СЛРМ содержит более 1000 карт разных масштабов, характеризующих твёрдые осадки, снежный покров, снежные лавины, горные ледники и ледниковые покровы, морские и речные льды, подземные льды и наледи. Также на картах отражены климатические условия существования снега и льда, талый снеговой и ледниковый сток, древнее оледенение, запасы снега и льда, т. е. все то, что определяет специфику природы холодных областей земного шара и особенности развития криоморфных биологических систем. Можно уверенно сказать, что такого монументального произведения ещё не создавала географическая наука и вряд ли нечто подобное будет создано в обозримом будущем.

Вода на Земле выполняет две важнейшие экологические функции. С одной стороны, она обеспечивает существование и развитие различных форм жизни, а с другой, ограничивает, усложняет и даже препятствует её продолжению. Холод и его производные – лёд и снег – издревле, наряду с благоприятными эмоциями, вызывали у людей чувство опасности. Трагические происшествия во время жестоких морозов, снежных бурь, лавин, града, гололёда, в период зимне-весенних паводков и половодий порождали страх, тревогу и беспокойство. Они и сейчас преследуют человечество в количестве, превышающем все известные криогенные события прошлого. Мировое сообщество уже давно озабочено комплексным и всесторонним изучением нарастающих неблагоприятных событий криогенного характера. Исследование холодного климата и снежно-ледовых образований входило в программу Международного гидрологического десятилетия (1965 – 1974 гг.), в Международную геосферно-биосферную программу (с 1986 г.), в программы Международного полярного года (1882-1883, 1932-1933, 1957-1958, 2007-2009), Международного полярного десятилетия (с 1912 г.) и некоторые другие. Проблемы криогенной опасности в названных проектах не были обозначены в виде самостоятельных блоков или разделов, однако раскрывались опосредованно, через дисперсные источники информации геофизического толка. Вопросы безопасности в холодных регионах отражены в серии национальных и региональных атласов [2 – 8], в монографиях и справочниках [9 – 17]. Всё это в конечном итоге позволило определить величайшее функционально-экологическое и социально-экономическое значение холода, крупных масс снега, льда и мёрзлых горных пород. Таким образом, криосфера Земли и её составные части стали предметом и объектом фундаментальной естественно-исторической науки – криологии, которая получила всеобщее признание и активно развивается. В комплекс важнейших задач этой науки входит изучение особо опасных ситуаций, возникающих при отрицательных температурах окружающей среды.

Что такое криогенная опасность?

Под криогенной опасностью понимается угроза человеку, инженерным сооружениям, животному и растительному миру, возникающая в результате воздействия холода, замерзания воды и таяния льда во всех сферах географического пространства – в атмосфере, гидросфере и литосфере. Это фундаментальное свойство природной среды, которое создаёт дискомфортные условия развития жизни или ограничивает её развитие вплоть до «полной стерилизации». Главной причиной возникновения криогенной опасности является теплообмен в материальной системе, сопровождающийся переходом воды в лёд, испарением льда, его метаморфизацией, таянием или механическим разрушением. Низкотемпературное энергетическое состояние среды обитания – такова генетическая сущность одного из важнейших экологических факторов возникновения и развития жизни на нашей планете.

Самая низкая температура в пределах Солнечной системы зарегистрирована на Южном полюсе Луны ($-240\text{ }^{\circ}\text{C}$). Таким образом, криогенная опасность может быть представлена как вероятность развития неблагоприятных природных явлений в диапазоне температур от 0 до $-240\text{ }^{\circ}\text{C}$. На Земле самая низкая температура ($-93,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) зафиксирована в Антарктиде в декабре 2013 г. высокоточным радиометром с американского искусственного спутника Landset-8. Рекордно низкая температура за всё время наземных наблюдений ($-89,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) отмечена также на ледяном континенте 21 июля 1983 г. российскими учёными на станции «Восток». Следовательно, в земных условиях понятие «криогенная опасность» укладывается в интервал температур от 0 до $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Наличие снега и льда в окружающей среде определяет большое разнообразие криогенной опасности, которое описывается несколькими специальными терминами. Под снежно-ледовой опасностью понимают угрозу развития неблагоприятных, вредных или катастрофических явлений, возникающих в результате перехода жидкой, капельно-жидкой или парообразной воды в твёрдое состояние и обратно (рис. 2). Опасность в отношении к человеку, животным, растениям и инженерным сооружениям создают следующие физические процессы: замерзание воды и водных растворов, смерзание составных частей какого-либо влагонасыщенного или увлажнённого вещества, разрушение криогенного материала (таяние, дробление, размокание, распад), его течение, сползание, скольжение, падение, оседание, осадка, пучение, растрескивание, напользание (надвиг), смятие, статическое и динамическое давление и некоторые другие.

Массы снега, льда, льдосодержащие горные породы и материалы опасны не только во время своего формирования и разрушения, но и в период относительной стабилизации, когда активно проявляются гравитационные, термодинамические и криохимические процессы, вследствие чего изменяются состав, строение, свойства криогенного вещества и контактирующая с ним (вмещающая) среда. Именно поэтому криогенная (гляциальная) опасность имеет различные формы, переходящие одна в другую в зависимости от времени и положения в системе географических координат. В совокупности они характеризуют криосферу Земли, особенно её внешние, краевые части, как неустойчивое географическое пространство, в котором фазовые переходы воды создают экстремальные условия жизни, с одной стороны, но и стимулируют адаптационные явления, повышающие биоразнообразие – с другой.

Имеется существенная разница в содержании понятий, объединённых прилагательными «криогенная» и «гляциальная» (опасность, структура, система и др.). Криогенными могут называться любые объекты, процессы, явления, происхождение и развитие которых определяются отрицательными температурами, а гляциогенными (гляциальными) лишь те, которые состоят из льда, содержат лёд в разных формах его существования или возникли в результате деятельности ледяных



Рис. 2. Снег – не только сказочное, но и коварное чудо Природы.

Кто не восхищался сказочным убранством зимнего леса, не играл в снежки и не лепил снежную бабу? Или не катался на санях, не ходил на лыжах? Мириады ледяных частиц, падающих с неба, все шестигранные и ни одной похожей на другую. Сколько радостных минут доставляют они и детям, и взрослым. Только – чу! Будьте осторожны! Не зря говорят: снег – не волк в овечьей шубе, а тигр в шкуре ягненка! Мокрый снег, налеп (а), снежные заносы (б, в), бездорожье (г), нагрузки на транспорт (д), провода, ветви деревьев и крыши домов (е), зимняя скользкость и снеголомы, весенние паводки и снежная слякоть – это лишь часть криогенных явлений, создающих особо опасную ситуацию в криосфере Земли. Можно жить без снега, но нельзя относиться к нему легкомысленно

образований и их разрушения. Таким образом, понятия с прилагательными «криогенная», «криогенный», «криогенное» есть категории более высокого порядка по сравнению с субстанциями гляциогенными и гляциальными. Суть в том, что неблагоприятные и опасные явления в отрицательно-температурной среде могут развиваться и без образования льда, например, в морских и озёрных криопэгах, в сухих (морозных) горных породах, в охлаждённых и переохлаждённых жидкостях, сжиженных газах и др. Эта группа явлений входит в состав более обширного объединения объектов под общим названием «криогенные», куда включаются лёд, снег и льдосодержащие вещества и материалы, существующие в определённом диапазоне земных температур. Криогенные объекты при сверхнизких температурах изучает раздел физики – криогеника. В данной статье они не рассматриваются.

Опасные явления, возникающие в процессе и после разрушения снега, льда и мёрзлых горных пород, называются посткриогенными или постгляциальными. К ним относятся такие явления, как снежные паводки, солифлюкция, заболачивание, прорыв ледниковых и приледниковых озёр, некоторые виды оползней и др. Их значение в создании экологически опасных ситуаций не менее важно, чем низкие отрицательные температуры и вода в твёрдой фазе.

Типы криогенной опасности

При изучении жизни в криосфере Земли важно знать, с одной стороны, характерные свойства и закономерности пространственно-временной изменчивости окружающей природной среды (внешний фактор), а с другой – учитывать процессы возможного противодействия и адаптационные механизмы самого живого организма или их сообщества (внутренний фактор). По этому принципу угрозу со стороны криогенных явлений можно разделить на две основные категории – физическую и физиологическую.

Физическая криогенная опасность проявляется в среде обитания живых существ как возможность прямого или опосредованного негативного воздействия отрицательных температур, снега, льда, льдосодержащих горных пород, почв и материалов, а также незамерзающих водных растворов и рассолов (криопэгов). Физическую криогенную опасность создают снег, снежный покров, морозный туман, изморозь, иней, ледяной дождь, град (рис. 3), гололёд, гололедица, гляциальные сели, паводки, ледяной покров болот, рек, озёр, морей и океанов, ледники и ледниковые покровы, айсберги, наледи, вечная, сезонная и кратковременная мерзлота, талая вода и криопэги. Указанные объекты являются непременной составной частью криосферы Земли, которая существует многие миллионы лет, определяя характерные черты эволюционного развития биосферы и пути цивилизации.

Криогенная среда обитания – это особое географическое пространство, в котором отрицательная температура и твёрдая фаза воды выступают в качестве ведущих факторов формирования экологических условий.

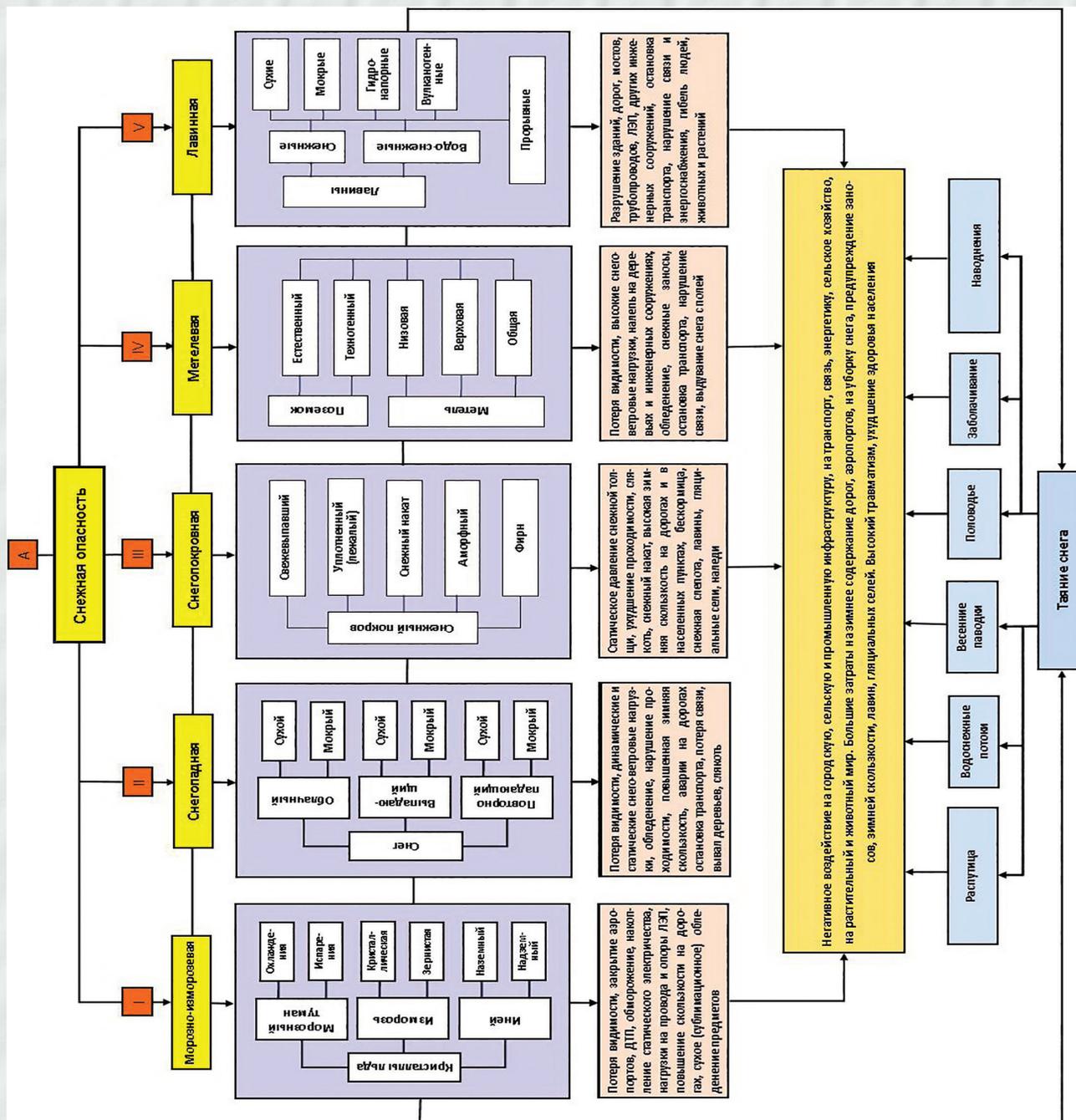
В этом пространстве снег и лёд создают бесчисленное множество опасных ситуаций, от которых зависит быть или не быть живому веществу в геосистемах разных уровней иерархии. Глубокое и всестороннее изучение причин, условий и факторов возникновения криогенных бедствий и катастроф нуждается в системном анализе накопленного материала. В этом важном деле особое значение приобретает типизация и ранжирование опасных явлений. Наибольшую ценность в упорядочении знаний имеет многорядная классификация объектов, построенная с учётом их происхождения, вещественного состава и основных свойств. По этим признакам совокупность гляциальных явлений разделена нами на две категории первого порядка. Класс А (снежная опасность) объединяет явления, возникающие в результате сублимационного льдообразования, т.е. при переходе парообразной воды в лёд, минуя жидкую фазу (рис. 4, а). В этой категории вещественный состав объектов представлен дисперсными кристаллами снега, фирна, изморози и инея, которые образуют изначально рыхлые (дисперсные) слои и покровы. Класс Б (ледовая опасность) состоит из явлений, развитие которых обусловлено конжеляционным льдообразованием – кристаллизацией жидкой или капельно-жидкой воды в различных сферах географического пространства (рис. 4, б). Объекты данной таксономической категории состоят из консолидированных ледяных кристаллов, слагающих монолитные массивы, слои, корки и частицы. Каждый класс криогенной опасности по морфодинамическим признакам делится на пять типов неблагоприятных ситуаций (второй уровень типизации), которые с учётом вещественного состава и особенностей развития процессов расчленены на ряды объектов и явлений третьего уровня генерации. Всего выделено 30 таксономических единиц третьего порядка, объединяющих 74 разновидности гляциальных опасностей. Приведённая классификация охватывает практически все виды опасных гляциальных и мерзлотных образований, например, снежные лавины (рис. 5) и может быть положена в основу определения рисков при освоении холодного пространства в биосфере Земли.

Физиологическая криогенная опасность – это угроза снижения или полного прекращения биохимических реакций в живом организме в связи с недопустимой потерей тепла в отрицательно-температурном поле. Изучение фундаментальных процессов обмена веществ в биологических объектах под воздействием холода – предмет фундаментальной науки – криобиологии. В настоящее время накоплена огромная информация о поведении внеклеточной и внутриклеточной жидкости при её переохлаждении и кристаллизации [18 – 22]. Именно от этих процессов зависят биохимические реакции в тканях, целостность отдельных клеток и органов, поведенческие функции всего организма. Холод для человека, большинства животных и растений – всегда стресс, а появление льда в клетках – болезнь, увечье и смерть. Представители органического мира по-разному реагируют на отрицательные температуры. Границы криогенной опасности колеблются в очень широких пределах.



Рис. 3. Наледи небесного происхождения.

Ледяной дождь – это «бомбочки с водой», которые, сталкиваясь с охлаждённой поверхностью твёрдых предметов, разрушаются, вода вытекает и, замерзая, превращается в гололёд и наледи (а, б, в). Град – это тоже наледи, возникающая в мощных грозовых облаках (г) в результате послойного намораживания капель воды на аэрозольных частицах. Размер градин часто превышает размер куриного яйца (д). Ледяной дождь и град – опаснейшие атмосферные явления. Ежегодно они наносят ущерб мировому хозяйству, исчисляемый десятками миллиардов долларов. Под ударами ледяных сфер гибнут растения, животные и люди, повреждаются машины (е), крыши домов, оранжереи, линии электропередачи и связи, другие инженерные сооружения. Гололёд является причиной выпревания семян, бескормицы, травматизма людей, многочисленных дорожно-транспортных происшествий, иногда с летальным исходом



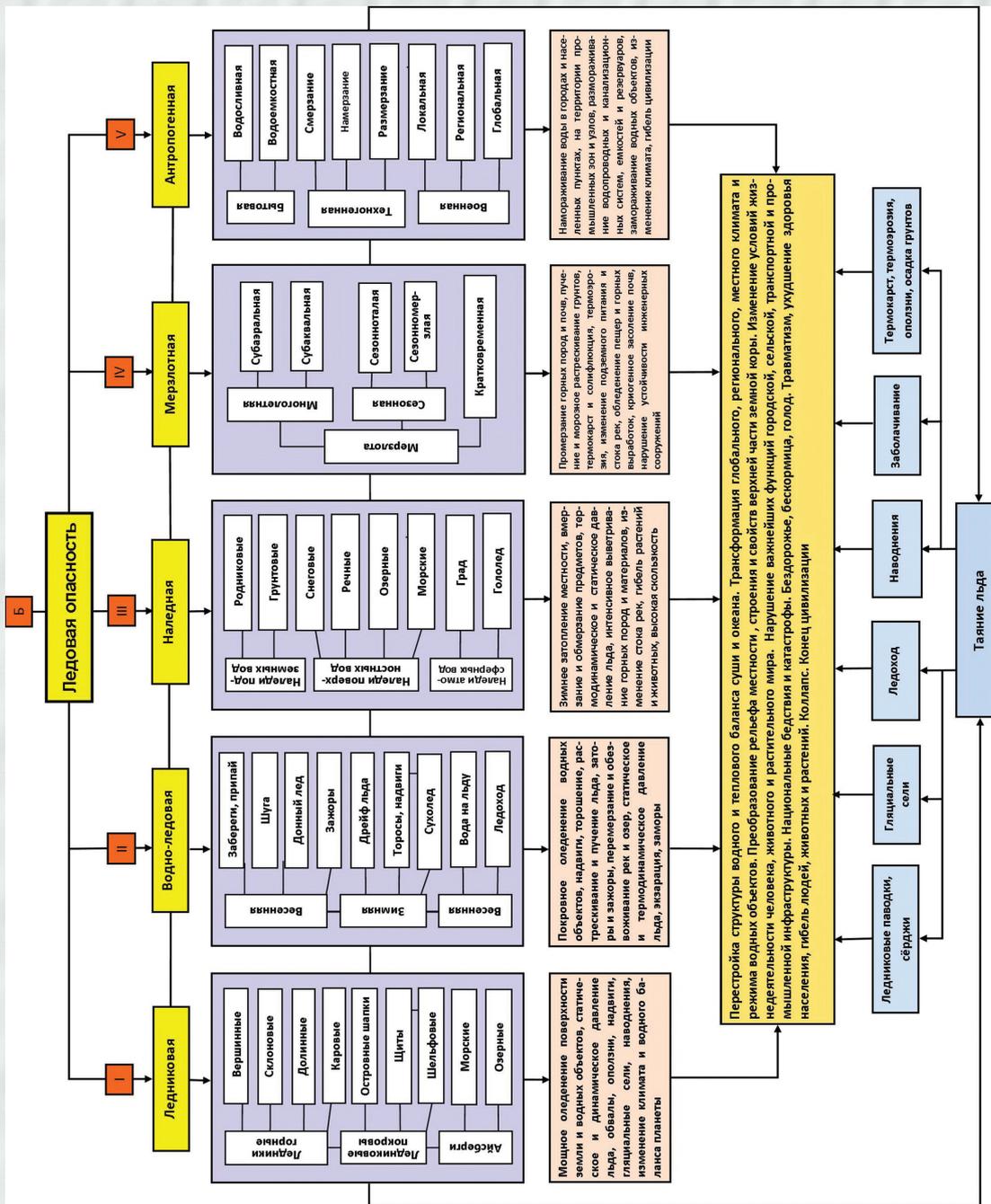


Рис. 4. Схемы классификации снежной и ледовой опасности в криосфере Земли

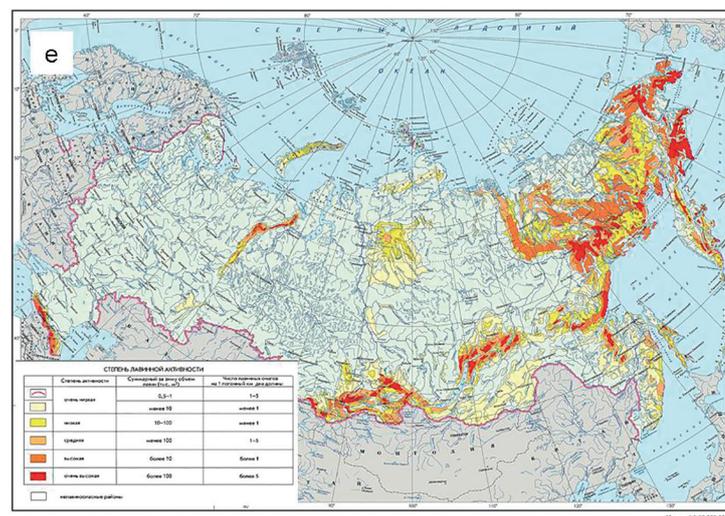


Рис. 5. Не будьте белых драконов.

«Лучше гор могут быть только горы...». Особенно хороши их сияющие снежные вершины. Но именно здесь спряталась, затаилась белая смерть – лавины – самая страшная и самая коварная стихия. Это она поражает всякого, кто пренебрегает законами природы, забывает старшую поговорку «Осторожность – сестра мудрости». Снежные драконы обрушиваются неожиданно и дерзко (а, б), образуют гигантские завалы (в), подпруживают водные потоки, сметают лесные массивы, деформируют или разрушают инженерные сооружения (г), убивают людей и животных (д). Редкому человеку удаётся выжить в их жёстких объёмках. В России основная часть лавиноопасных районов расположена на востоке страны (е)

Для каждого вида существует свой, отличный от других, диапазон температур, при котором особь чувствует себя комфортно. Выход за пределы этого диапазона грозит опасными осложнениями, и чем ближе существо к абсолютному пределу жизни – биологическому нулю развития, тем выше риск, тем меньше шансов выжить в экстремальных условиях холодной среды.

Пойкилотермные организмы (все существа, кроме птиц и млекопитающих) меняют своё тепловое состояние в зависимости от температуры окружающей среды. Их жизнь определяется притоком тепла извне. Обитают они практически во всех частях криосферы Земли. Это значит, что даже на Полюсе холода в Антарктиде, где зафиксирована рекордная для нашей планеты отрицательная температура приземного воздуха ($-93,2\text{ }^{\circ}\text{C}$), в толще льда можно встретить особи в оцепенелом, анабиотическом состоянии. Прямым доказательством этого служат многочисленные опыты по замораживанию биологических объектов. Например, споры, семена растений, сперматозоиды, отдельные микроорганизмы в экспериментальных условиях выносят температуру $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ и даже $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$. Положение биологического нуля развития и сумма эффективных температур, необходимая для активной жизнедеятельности организма, в значительной степени определяется холодостойкостью и адаптацией вида к среднему температурному режиму типичных местобитаний.

Гомойотермные (теплокровные) организмы (млекопитающие и птицы) поддерживают температуру своего тела постоянной вне зависимости от теплового состояния окружающей среды. У птиц разных видов глубинная температура тела находится в пределах $38 - 43,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, у копытных и хищных поддерживается в диапазоне от $35,2$ до $39\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура тела здорового человека в течение дня изменяется от $35,5$ до $37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Гомеостаз достигается благодаря комплексу внутренних регуляторных механизмов за счёт окислительно-восстановительных реакций при разложении продуктов питания. Теплообмен организма со средой сбалансирован, в том числе и за счёт терморегулирующих покровов – волос, перьев, жировых прослоек и пр. Дискомфорт в организме наступает при дефиците внутренней энергии или при нарушении механизма терморегуляции (травмы, болезнь). В этих случаях угроза гибели организма резко возрастает.

Территориальные комплексы криогенной опасности

Природа Земли неоднородна. Условия фазовых переходов воды и температура среды меняются буквально на глазах, при этом многие виды снега и льда, созданные ими опасные ситуации быстро исчезают, заменяются или накладываются друг на друга, образуя своеобразные территориальные комплексы. Чаще всего на местности сосуществуют несколько криогенных образований, развитие которых определяется морфологическими условиями и водно-тепловым балансом территории. Генетические связи между гляциальными явлениями со временем закрепляются, становятся по-

стоянными, т. е. формируется квазиустойчивая система взаимосвязанных объектов и процессов. Так, обильные снегопады провоцируют многочисленные сходы лавин. Лавинные завалы подпруживают водные потоки, которые прорывают снежные плотины и превращаются в сокрушительные сели. Прохождение селей сопровождается разрушением берегов и нарушением растительного покрова, что приводит к вытаиванию подземных льдов и деградации вечной мерзлоты и т. д. Структура, причинно-следственные связи и особенности поведения таких систем зависят, прежде всего, от вещественного состава среды и её географического положения. Очевидно, что криогенные опасности на водных объектах существенно отличаются от угрозы со стороны снежно-ледовых образований на суше.

Разнообразие, динамичность и широкое распространение гляциальных явлений определяют важность и необходимость использования пространственно-генетического подхода при их изучении. Учёт местоположения объектов, событий и их генетической сущности позволил нам выделить 12 комплексов криогенной опасности. Названия комплексов даны по ведущему фактору формирования неблагоприятных ситуаций. Все комплексы нашли своё отражение на составленной нами мелкомасштабной карте мира (рис. 6). Приводим их краткую характеристику.

1. *Снежно-ледниковый покровный комплекс.* Угрозу создают ледниковые щиты и покровы. Толщина льда измеряется сотнями и тысячами метров. Повсеместно распространён многометровый слой снега и фирна. В течение всего года наблюдаются снегопады и продолжительные метели. Особо опасные ситуации создаёт движение льда – его течение, сползание, надвиг, обрушение, а также образование трещин и ледопадов. В приледниковой зоне формируются айсберги, наледи, случаются прорывы наледниковых и подледниковых озёр, в горах – снежные и снежно-ледяные лавины. Изменение баланса массы льда влияет на уровень Мирового океана и климат планеты.

2. *Снежно-ледниковый морской комплекс.* Шельфовые и выводные ледники Антарктиды и Гренландии толщиной сотни метров с постоянным и сезонным снежным покровом. Опасные явления: снегопады и метели, скопление талых вод на поверхности ледяного покрова, растрескивание и обрушение льда, надвиги, формирование айсбергов и субаквальных морен, экзарация берегов, переотложение осадков и выпаживание донных отложений. Ледники сокращают площадь открытой морской акватории, осложняют судоходство, добычу нефти и газа, контролируют биологические ресурсы.

3. *Снежно-ледниковый горно-долинный комплекс.* Ледники горных вершин, склоновые и долинные толщиной до 500 м с постоянным и сезонным снежным покровом. Опасность создают частые снегопады и метели, движение льда, в приледниковой зоне – наледи, термокарст, ледниковые паводки, гляциальные сели, прорывы приледниковых, наледниковых и подледниковых озёр, ледяные, снежно-ледяные и ледогрунтовые лавины, на вулканических конусах – лахары. Увеличение

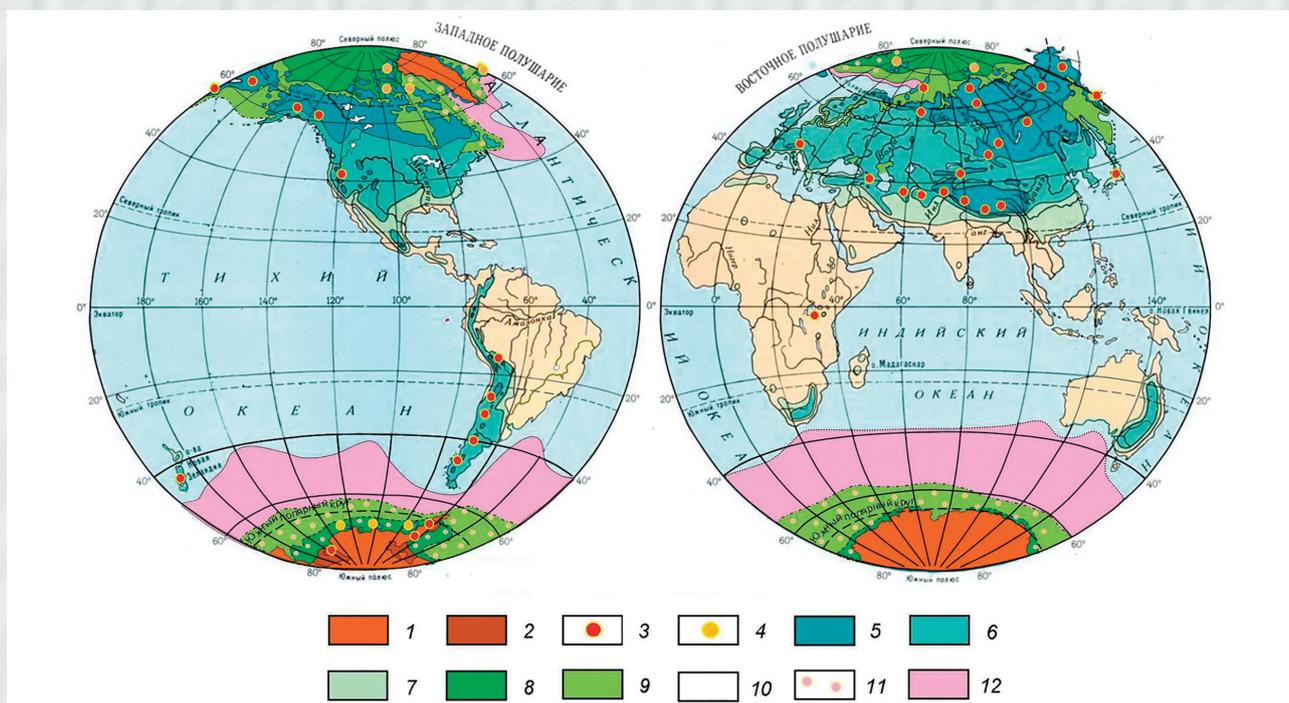


Рис. 6. Территориальные комплексы криогенной опасности на земном шаре.

1 – снежно-ледниковый покровный; 2 – снежно-ледниковый морской (шельфовый); 3 – снежно-ледниковый горно-долинный; 4 – снежно-ледниковый островной; 5 – наледно-мерзлотный постоянный; 6 – снежно-мерзлотный сезонный; 7 – снежно-мерзлотный кратковременный; 8 – водно-ледовый морской постоянный; 9 – водно-ледовый морской сезонный; 10 – водно-ледовый континентальный сезонный; 11 – айсберговый постоянный (среди плавучих льдов); 12 – айсберговый эпизодический (за пределами границы плавучих льдов)

площади ледников приводит к уничтожению лесных угодий и пастбищ, изменению микроклимата, режима рек и озёр, к разрушению инженерных сооружений.

4. **Снежно-ледниковый островной комплекс.** Ледниковые шапки на островах и архипелагах мощностью до 300 м с постоянным и сезонным снежным покровом. Опасные ситуации создают снегопады и метели, движение льда, трещины, ледопады, айсберги, приледниковые наледи, прорывы подледниковых озёр, водоснежные потоки, вечная и сезонная мерзлота.

5. **Наледно-мерзлотный постоянный комплекс.** Сплошная и прерывистая вечная мерзлота мощностью 100 – 1000 м с постоянно образующимися наледями подземных и грунтовых вод и сезонным снежным покровом. Опасные явления: замораживание, размораживание и засоление грунтов, образование подземных льдов, пучение и растрескивание горных пород и почв, их осадка, сползание и течение; термокары, катастрофическое разрушение берегов, формирование сезонных и многолетних наледей-тарынов, гидролакколиты (пинго), снежный накат, нарушение устойчивости, деформация и разрушение зданий и сооружений.

6. **Снежно-мерзлотный сезонный комплекс.** Островная вечная мерзлота мощностью до 30 м с повсеместным сезонным промерзанием почв и горных пород. Снежный покров толщиной 0,1 – 0,8 м. Опасные явления: снегопады, метели, заносы, ледяной дождь,

обледенение наземных предметов, зимняя скользкость дорожных покрытий, пучение грунтов, весенние паводки на реках, термоэрозия, вымерзание растений, деформация фундаментов зданий и сооружений.

7. **Снежно-мерзлотный кратковременный комплекс.** Неглубокое и эпизодическое промерзание грунтов и почв с редкими снегопадами и заморозками. Опасные явления: непродолжительный снежный покров, зимняя скользкость, слякоть, налесь и гололёдные корки, ледяные stalactites на кровлях зданий и сооружений, ухудшение видимости, условий передвижения и жизнедеятельности людей и животных; снижение урожайности, гибель теплолюбивых растений.

8. **Водно-ледовый морской постоянный комплекс.** Акватория морей и океанов с тяжелыми многолетними льдами, дрейфующими под влиянием ветра и течений. Опасные явления: снегопады и продолжительные метели, сжатие и торошение льда, трещины и разводья; весной и летом – снежицы и повторное замерзание воды на льду (наледи талых снеговых и солёных морских вод). Акватория доступна лишь классу атомных ледоколов типа «Арктика».

9. **Водно-ледовый морской сезонный комплекс.** Ежегодно замерзающая акватория морей и океанов с плавучими льдами. Опасные явления: зимой – снегопады и метели, торошение льда, трещины и разводья, движение ледяных полей и отдельных льдин; стамухи,

надвиги льда на берега и банки; в переходные периоды года – шуга, битый лёд, сало, другие формы плавучего льда; брызговое обледенение береговых откосов, судов и гидротехнических сооружений.

10. *Водно-ледовый континентальный комплекс.* Замерзающие реки, озёра и водохранилища со снежным покровом на льду. Опасные ситуации создают: шуга, снежура, донный лёд, пучение и надвиг льда, промоины, сухолёд, наледи, ледоход, зазоры и заторы. Ледяной покров затрудняет работу гидротехнических сооружений, плавание судов, лов рыбы, добычу полезных ископаемых.

11. *Айсберговый постоянный комплекс.* Морские воды, омывающие ледники и ледниковые покровы. Опасные явления: морские плавучие льды, снегопады и метели, туманы, айсберги. Неблагоприятные и катастрофические события возникают в результате раскалывания, перевёртывания и обрушения ледяных массивов, надвига льда на берега, банки, гидротехнические сооружения, вследствие выплывания дна, отложения морен, подпруживания и изменения направления течения морских вод, при столкновении с судами, буровыми платформами и подводными коммуникациями.

12. *Айсберговый эпизодический комплекс.* Морские воды за пределами границы плавучих льдов. Появление айсбергов в тёплых водах вызывает резкие отклонения условий жизнедеятельности морского населения вокруг ледяных гор в связи с локальным опреснением воды и понижением её температуры (возможны стрессы и даже гибель животных). Главная опасность заключается в возможном столкновении судов с ледяными массивами, а также в непредсказуемом поведении ледяных гор в процессе их плавления и разрушения, что важно учитывать при научном обследовании и экскурсиях туристов.

Приведённая карта распространения территориальных комплексов криогенной опасности – это лишь первое приближение к оценке масштабов развития неблагоприятных и катастрофических событий криогенного характера на нашей планете. В перспективе – более широкие и детальные исследования, содержание которых должно определиться с учётом двух важных обстоятельств: необходимости учета динамических особенностей криосферы и специфики картографирования снежно-ледовой опасности.

Пульсация криосферы и риск жизнедеятельности

Криосфера охватывает три основные оболочки Земли – газовую (атмосферу), водную (гидросферу) и твёрдую (литосферу). Мощность газовой части криосферы составляет около 100 км, максимальная толщина отрицательно-температурной гидросферы достигает 4 км, а замороженная часть литосферы приближается к 1,5 – 2,0 км. Холод пронизывает примерно половину биосферы, определяет условия и формы жизни в высоких и средних широтах и в горах с устойчивым снежным покровом. Границы криосферы Земли постоянно меняются в зависимости от солнечной активности, положения планеты на орбите, угла наклона земной оси, взаимодействия геосфер, внутреннего тепло- и массообмена в каждой оболочке и ряда других факторов. Точных данных об изменениях объёма холодного пространства на Земле пока нет. Однако хорошо известно, что оно пульсирует в суточном, сезонном, многолетнем, вековом и тысячелетнем циклах своего развития (таблица). Приведённые цифры ориентировочные. Они показывают смещение верхней и нижней границ криосферы по вертикали. На поверхности земного шара этим величинам соответствуют площади в десятки и сотни миллионов квадратных километров. Фазовые переходы воды на подвижной границе криосферы являются главнейшими причинами развития опасных и катастрофических природных явлений. Именно они определяют исключительно высокую динамичность, морфоструктурные особенности и закономерности распространения криобиологических систем. Связь пульсации криосферы с возникновением опасных ситуаций на Земле изучена ещё недостаточно, однако нет сомнения в том, что она должна лежать в основе гляциоэкологии и непременно учитываться при определении рисков жизнедеятельности на нашей планете.

Можно привести много примеров того, когда перераспределение скрытой теплоты кристаллизации при переходе воды в лёд и обратно (межфазовая энергетика) приводит к возникновению стихийных бедствий и катастроф. Так, сход снежных лавин в горах, обрушение снега с крыш зданий и сооружений часто происходят в дневные часы в результате активизации проникающей в снег солнечной радиации: на ледяных кристаллах

Изменение границы криосферы Земли в характерных точках географического пространства

Пульсация криосферы	Атмосфера		Гидросфера		Литосфера	
	Амплитуда колебания границ криосферы, м					
	верхняя	нижняя	верхняя	нижняя	верхняя	нижняя
Суточная	?	0 – 100	0,01 – 0,1	0,0	0,01 – 0,2	0,0
Сезонная	?	100 – 500	0,1 – 3,5	0,0 – 0,5	0,2 – 5,0	0,0 – 0,2
Многолетняя	До 1000	1000 – 2500	3,5 – 10,0	0,5 – 5,0	5 – 10	0,2 – 5,0
Вековая	До 10000	до 5000	10 – 100	5 – 10	10 – 100	5 – 10
Тысячелетняя	>10000	>5000	100 – 1000	10 – 100	100 – 1000	10 – 100



Рис. 7. Внимание – наледи!

В областях с суровыми климатическими условиями излияние воды из недр земли или из искусственных ёмкостей сопровождается формированием массивов наледного льда (а, б, в), которые часто распространяются на большие участки леса, «заливают» дороги, пролёты мостов (г) и здания, автомашины (д), другие объекты. Особо опасная ситуация для людей, животных и транспортных средств возникает в условиях низких температур воздуха, когда наледная вода скрывается под тонкой коркой заснеженного льда (е). Изучение и картографирование наледной опасности в криолитозоне – важнейшая научно-прикладная задача гляциозологии и мерзлотоведения



Рис. 8. Криогенная опасность – вечная и сезонная.

Ежегодное промерзание и протаивание горных пород и почв сопровождается серией опасных геокриологических (мерзлотных) явлений: скреплением увлажнённого материала льдом или его деструкцией (размягчением, разжижением) (а), термокарстовыми просадками и провалами грунта (в, г), разрушением берегов (д), формированием крупных бугров пучения – гидроакколитов (е). Потепление климата, антропогенное нарушение условий теплообмена на поверхности земли (пожары, распашка земель, строительство дорог, зданий и сооружений и др.) могут привести к массовому вытаиванию подземных льдов, перестройке гидрологических систем, изменению режима подземных и поверхностных вод, повсеместному нарушению почвенного и растительного покровов. Предупредить развитие опасных событий, связанных с вечной и сезонной мерзлотой, – важная задача фундаментальной и прикладной науки

появляются пленки воды, снежная толща становится рыхлой, приобретает свойство текучести. Адвективные оттепели в разгар зимы приводят к неожиданному таянию снежного покрова и последующему опасному оледенению поверхности снега. При возврате холодов на земле образуются ледяные корки, которые на полях становятся причиной выпревания семян растений, приводят к гибели озимых сельскохозяйственных культур, потере урожая. Бурное таяние снега и льда в южных частях бассейнов рек, текущих на север (Лена, Енисей, Обь и др.), вызывает серию мощных ледяных заторов в низовьях водных артерий. Подпруженные реки выходят из берегов, затопливают города и села, разрушают мосты, дороги, здания и сооружения. В некоторых районах криолитозоны во время сильных морозов случаются зимние наводнения, в результате чего прерывается сообщение, в наледный лёд вмораживаются строения, автомашины, дороги, склады, сельхозугодия и пр. (рис. 7). Многолетние и вековые колебания климата сопровождаются подтоплением и затоплением населённых пунктов, быстрым отступанием берегов, термокарстом, пучением грунтов и пр. (рис. 8). Глобальное потепление угрожает катастрофическим сокращением массы ледников и ледниковых покровов, подъёмом уровня Мирового океана, затоплением прибрежных городов и населённых пунктов, катаклизмами, связанными с деградацией вечной мерзлоты.

Всех этих и многих других негативных последствий можно избежать, если учитывать пульсацию криосферы, т. е. изменчивость границ холодного пространства в масштабах местности, региона, страны и планеты в целом – не рисковать, соблюдать осторожность, опираясь на опыт предыдущих поколений. Вот почему изучение динамики отрицательно-температурного поля Земли и его связь с развитием опасных природных процессов приобретает сейчас особое значение. Причём не только для отдельных государств и народов, но и для всего человечества.

Жить на Земле невозможно без риска. Потенциальные опасности буквально пронизывают биосферу. Избегать особо опасных ситуаций практически невозможно. Значит, живому существу надо предвидеть, предупредить, устранить неблагоприятные процессы и явления. Или адаптироваться, приспособиться к ним. Человек издревле борется с холодом – строит дома, чумы, юрты, шьёт тёплую одежду и обувь, заготавливает впрок пищевые продукты, топливо, активно воздействует на опасные природные явления. Животные трансформируют свои поведенческие функции – мигрируют в безопасные места, укрываются в норах, гнёздах и берлогах, впадают в спячку. Растения сбрасывают листву, меняют форму и размеры, обезвоживаются, прекращают сокодвижение и фотосинтез. Насекомые цепенеют, иссушаются, вырабатывают криопротекторы. В борьбе с холодом большое значение имеет закаливание организма, способность внеклеточных и внутриклеточных растворов к переохлаждению, а также витрификация – переход жидкости в стеклообразное состояние, когда отсутствует внутреннее движение (конвекция), как в твёрдом кристалличес-

ком веществе. Каждый вид защищается от неблагоприятных и опасных явлений по-своему.

Описанные выше типы криогенной опасности создают очень сложную экологическую обстановку на Земле. Риск жизнедеятельности в биосфере очевиден не только для человека, но и для всего живого. Поэтому его следует учитывать при современном обустройстве нашей планеты и прогнозных оценках будущего. Для определения границ безопасности и степени риска биологических объектов, для оценки возможных путей развития цивилизации необходим сопряжённый пространственно-временной анализ криогенных явлений – с одной стороны, и процессов метаболизма и поведенческих функций живых организмов – с другой. Эта задача может быть решена лишь при совместном усилии учёных и специалистов разных научных направлений – экологов, гляциологов, мерзлотоведов, биологов, почвоведов и др.

Список литературы

1. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. – М. : Изд-во Российской академии наук, 1997. – 392 с.
2. Атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Т. 1. Природа. Экология. – М. ; Ханты-Мансийск, 2004. – 158 с.
3. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. – Омск : Омская картографическая фабрика, 2004. – С. 164–167.
4. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций Приволжского федерального округа Российской Федерации / [под общей ред. С. К. Шойгу]. – М. : ИПЦ «Дизайн» Информационная картография. – 2008. – 324 с.
5. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации / [под ред. С. К. Шойгу]. – М. : Феория, 2005. – 271 с.
6. Национальный атлас России. Том 2. Природа. Экология. – М. : ФГУП «ГОСГИСЦЕНТР», 2004. – 495 с.
7. Национальный атлас Республики Казахстан. Том 3. Окружающая среда и экология. – Алматы : Казгеодезия, 2010. – 159 с.
8. Мировой Атлас опасных природных явлений. По статье в журнале ArcUser, апрель-июнь, 2002 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.esricis.ru/news/arcview/detail.php?ID=2132&SECTION_ID=55.
9. Катастрофы конца XX века. – М. : УРСС, 1998. – 398 с.
10. Котляков, В. М. Избранные труды. Книга 1. Гляциология Антарктиды / В. М. Котляков. – М. : Наука, 2000. – 432 с.
11. Котляков, В. М. Избранные труды. Книга 5. В мире снега и льда / В. М. Котляков. – М. : Наука, 2002. – 384 с.
12. Мягков, С. М. География природного риска / С. М. Мягков. – М. : Изд-во МГУ, 1995. – 220 с.
13. Природные опасности России. Монография в 6 т. / [общ. ред. В. И. Осипов, С. К. Шойгу]. – М. : Крук, 2001-2002.

14. *Справочник по опасным природным явлениям в республиках, краях и областях Российской Федерации : справочное издание / [под ред. К. Ш. Хайруллина]. – Санкт-Петербурге : Гидрометеоиздат, 1997. – 587 с.*

15. *American Hazardscapes: The Regionalization of Hazards and Disasters Natural Hazards and Disasters: Reducing Loss and Building Sustainability in a Hazardous World: A Series / Edit. Susan L. Cutter. Joseph Henry Press, 2002. 227 p.*

16. *Bobrowsky Peter T. (Ed.). Encyclopedia of Natural Hazards. Springer, 2013. XLI, 1135 p.*

17. *Snow and Ice-Related Hazards, Risks, and Disasters. Editor in Chief: J. Shroder. Imprint: Academic Press. 2014. 812 p.*

18. *Белоус, А. М. Криобиология / А. М. Белоус, В. И. Грищенко. – Киев : Наукова думка, 1994. – 432 с.*

19. *Лозина-Лозинский, Л. К. Очерки по криобиологии. Адаптация и устойчивость организмов и клеток к низким и сверхнизким температурам / Л. К. Лозина-Лозинский. – Л. : Наука, 1972. – 288 с.*

20. *Пушкарь, Н. Е. Введение в криобиологию / Н. Е. Пушкарь, А. М. Белоус. – Киев : Наукова думка, 1975. – 144 с.*

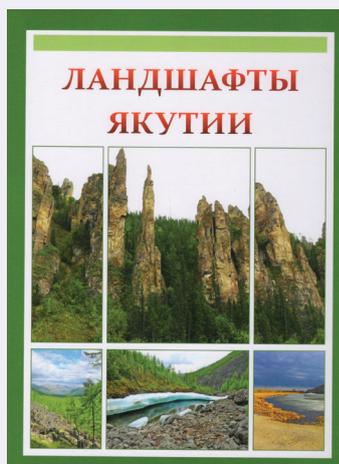
21. *Тихомиров Андрей. Основы криобиологии [Электронный ресурс]. Lambert. Ozon.ru, 2014. – Режим доступа : <http://bookmix.ru/book.phtml?id=2286216>.*

22. *Холодостойкость растений. Пер. с англ. / [под ред. Г. А. Самыгина]. – М. : Колос, 1983. – 318 с.*

НОВЫЕ КНИГИ



Мерзлота в наше время : архив сведений о мерзлоте, собранный местными жителями / [гл. ред. Кенджи Йошикава; отв. ред. М. Ю. Присяжный, Д. И. Осипов] ; М-во образования и науки РФ, Северо-Восточный федеральный университет. – Якутск : Издательский дом СВФУ, 2017. – 216 с.



Данилов, Ю. Г. Ландшафты Якутии / Ю. Г. Данилов [и др.] ; отв. ред. Ю. Г. Данилов. – Якутск : Издательский дом СВФУ, 2016. – 76 с.

В работе рассматриваются вопросы методики выделения региональных и типологических природных комплексов, их картографирования.

Дано описание зональных, азональных и интразональных типов ландшафтов, а также уникальных природных комплексов Якутии. Имеется обширный словарь терминов, в котором приведены значения не только основных ландшафтоведческих терминов, но и толкование местных народных понятий, вошедших в географическую литературу.

Издание будет полезно широкому кругу читателей – от научных сотрудников и студентов высших учебных заведений до школьников старших классов и всех тех, кто интересуется природой родного края.