

## АНОМАЛЬНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

А. П. Горбунов

*Казахстанская высокогорная геокриологическая лаборатория Института мерзлотоведения СО РАН, 480000, Алматы, а/я 138, Казахстан*

В районах с положительной средней годовой температурой воздуха на участках с аномальными условиями теплообмена возможны многолетнее промерзание (охлаждение) пород и формирование массивов вечной мерзлоты и криогенных образований. К таким участкам относятся ледяные пещеры, крупнообломочные осыпи и каменные развалы, скальные трещиноватые массивы и каменные наброски древних курганов. В особую группу выделены вечномерзлые озерные отложения высокогорных пустынь Южной Америки.

*Ледяные пещеры, крупнообломочные осыпи, подкурганная вечная мерзлота, подземные льды*

### THE ANOMALOUS DISTRIBUTION OF PERMAFROST

A. P. Gorbunov

*Kazakhstan alpine permafrost laboratory, Permafrost Institute SB RAS, 480000, Almaty, 138, Kazakhstan*

The perennial freezing (cooling) of rocks and the formation of permafrost massifs and cryogenic forms are possible in the areas with positive average annual air temperature within the regions of anomalous heat-exchange conditions. Ice caves, coarse taluses and alluvial deposits, cracked rock massifs and ancient burial-mound rock fills are the examples of such regions. Permafrost lacustrine deposits in the Alpine deserts of South America can be specified in a separate group.

*Ice caves, coarse taluses, burial-mound permafrost, ground ice*

### ВВЕДЕНИЕ

Цель предлагаемой публикации — привлечь внимание мерзлотоведов к криогенным образованиям, распространенным в области положительных средних годовых температур воздуха. Эти внезональные мерзлые массивы встречаются и в непосредственной близости от южной границы области вечной мерзлоты, и на значительном удалении от нее. Они распространены во многих географических зонах, находящихся за пределами областей вечной мерзлоты.

Многолетнее промерзание горных пород предопределяется суровым климатом приполярных территорий или горных областей. Поэтому принято выделять циркумполярную и альпийскую (горную) вечную мерзлоту. Первая более или менее консолидирована, вторая в основном складывается из многочисленных разобщенных массивов.

В пределах области альпийской вечной мерзлоты принято выделять высотные геокриологические пояса. Как правило, в основу их выделения кладется тип распространения мерзлых пород. Существуют и другие подходы к высотной дифференциации пояса вечной мерзлоты в горах, при которых принимается во внимание устойчивость мерзлых толщ к флуктуациям климата [Cheng Guodong, 1983; Горбунов, 2001]. Нижняя высотная граница пояса вечной мерзлоты в горах

примерно совпадает с областью средней годовой температуры воздуха 0 °С.

В последние годы появилось много публикаций, в которых сообщается о находках массивов вечной мерзлоты и криогенных образований вне области распространения вечной мерзлоты. К их числу относятся сведения о ледяных пещерах, об осыпях и каменных развалах, сложенных крупнообломочными вечномерзлыми или морозными отложениями, о находках вечной мерзлоты в каменных набросках древних курганов и в скальных трещиноватых массивах. Следует отметить, что во многих публикациях отсутствуют основные характеристики вечномерзлых толщ, поэтому внимание уделено главным образом экстраординарности местонахождения криогенных образований. Включать эти редчайшие и весьма незначительные по размерам массивы вечной мерзлоты в категорию „isolated patches permafrost“ представляется неприемлемым. В противном случае зона (или иное название этого пространства), на которой они распространены, займет огромные территории, сопоставимые по площади с областью сплошной вечной мерзлоты. Поэтому я счел уместным рассматривать массивы вечной мерзлоты как внезональные или аномальные по своему местонахождению.

## ОБСУЖДЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Ледяные пещеры встречаются почти во всех географических поясах. Меньше всего сведений о тех из них, которые распространены в низких широтах, особенно южнее 30° с.ш. Так, в известной публикации Г. А. Максимовича [1947] сообщается всего об одной из них — ледяной пещере на Гавайских островах, т. е. на 19° с.ш. Не исключено, что они существуют высоко в горах и в приэкваториальном пространстве. Но такие пещеры пока не обнаружены или сведения о них не попали в наше поле зрения.

Исследования ледяных пещер в последние десятилетия существенно расширили представления о них. Стремительно растет число открытий ледяных пещер в мире и по отдельным регионам. Например, Г. А. Максимович в своей публикации [1947] писал, что в СССР насчитывается более 30 пещер со льдом, а всего их в мире — 172. Через 40 лет их число в СССР увеличилось по крайней мере до 500 [Мавлюдов, 1985]. К 1980 г. только на Алтае, в Кузнецком Алатау и в Саянах было выявлено 118 ледяных пещер [Дмитриев, 1980]. И еще пример. Максимовичу было известно всего 8 пещер в Зарубежной Азии, а в наши дни только на склонах вулкана Фудзияма выявлено 9 пещер с постоянными льдами [Ohata et al., 1994].

Приведенные факты позволяют предположить, что в мире не менее тысячи ледяных пещер, следовательно, они не столь уж редки.

Известны пещеры со льдом и мерзлыми отложениями в горах Дальнего Востока, на Урале, Кавказе, в Крыму, Карпатах, Альпах, Пиренеях и во многих других местах Европы. Многочисленны ледяные пещеры на территории Северной Америки, обнаружены они и в Центральной Азии. Чрезвычайно скудные сведения о ледяных пещерах в горах Южного полушария. Однако есть все основания предположить, что они есть в Африке в Высоком Атласе и во многих других горных системах мира.

В пещерах с постоянными отрицательными температурами воздуха формируются ледяные массивы, которые иногда способны двигаться наподобие ледников. Их именуют пещерными ледниками [Дмитриев, 1980]. Другая разновидность криогенных образований пещер — подземные наледи. Они многообразны. Наименее заметны, а поэтому часто не фиксируемы мерзлые осыпные, обвальные и другие отложения в пещерах. Впервые именно такие скопления вечномерзлых отложений описали в Забайкальских пещерах еще в конце XIX в. А. Еленев и И. Черский [Дмитриев, 1980].

Таким образом, ледяные пещеры многообразны. Они, что очень важно, широко распрост-

ранены вне области вечной мерзлоты, даже в таких районах, где средние годовые температуры воздуха достигают +7 + 8 °С.

В этом отношении весьма примечательны ледяные пещеры Фудзиямы — известного действующего вулкана Японии. Здесь в древних лавовых толщах выявлено около ста трубчатых пещер. В девяти из них обнаружены постоянные льды. Шесть пещер находятся в густом лесу у подножия северо-западного склона вулкана, в интервале 950—1170 м над ур. моря [Ohata et al., 1994].

В течение 1984—1994 гг. обстоятельно изучалась ледяная пещера Фудзи Фукетшу, которая расположена на высоте 1120 м. Ее географические координаты — 36°24' с.ш. и 138°42' в.д. Пещера в виде трубчатой полости образовалась при вулканическом извержении 864 г. Она относится к категории замкнутых мешковидных пещер. Ее длина — 180 м, а ширина — несколько метров. Свод пещеры находится на высоте 5—7 м от ее дна и на глубине 20—30 м от поверхности склона. Холодный воздух стал свободно проникать в пещеру после обрушения части свода. Охлаждение пород и формирование льда происходит за счет интенсивной циркуляции холодного воздуха. Наледь на полу пещеры начинается в 30 м от входа и прослеживается до ее конца на расстоянии 150 м. Мощность ледяного покрова в этом направлении возрастает от 1 до 4 м. Площадь ледяного поля 1100 м<sup>2</sup>, объем — около 3000 м<sup>3</sup>. Вода поступает на пол пещеры с ее свода.

Наиболее интенсивное намерзание льда наблюдается в марте—апреле. Частичное таяние льда отмечается с сентября по ноябрь. Оно незначительно, и на всем протяжении ледяной части пещеры лед сохраняется круглый год. Впервые лед в пещере был исследован еще в 1927 г.

У входа в пещеру, на абс. выс. 1120 м средняя годовая температура воздуха — +8,4 °С, а средняя зимняя — -0,9 °С, летняя — +16,5 °С. Годовая сумма атмосферных осадков — порядка 1500 мм, большая их часть выпадает летом, а зима относительно сухая.

Осыпи и каменные развалы различного генезиса, сложенные крупнообломочными вечномерзлыми или морозными отложениями, формируются на таких участках, где имеются благоприятные условия для циркуляции холодного воздуха в глыбах в зимний период. Промерзание их обуславливается не только особенностями сложения осыпей, но и рядом других обстоятельств, среди них отметим: дефектный характер снегового покрова, затененность местности (густой лес, подножие высокого обрывистого склона теневой экспозиции), моховой покров, наличие

почвенного или какого-то другого барьера, препятствующего оттоку холодного воздуха из осыпной толщи, и ряд других сугубо локальных факторов. Более подробно механизм промерзания крупнообломочных отложений рассмотрен во многих публикациях [Горбунов, Северский, 1990]. Площадь таких массивов изменяется от сотен до многих тысяч квадратных метров.

*Поджурганная вечная мерзлота* особенно характерна для могильников Алтая. В этом отношении наиболее примечательны так называемые пазарыкские курганы и могильники. Промерзание многолетних пород началось около 2,5 тыс. лет назад. Оно обуславливалось в основном каменной наброской кургана, состоящей из крупных обломков горных пород. Механизм многолетнего промерзания пород рассмотрен в ряде публикаций [Баранов, 1953; Горбунов и др., 2000]. Здесь же отметим, что, например, в Берельских курганах долины р. Бухтарма (Казахстанский Алтай) на абс. выс. 1120 м формирование линз вечной мерзлоты происходило при средней годовой температуре воздуха 1,5 °С только в тех могильниках, диаметр которых в основании был более 20 м, а мощность каменной наброски — не менее 2 м. При меньших размерах каменной наброски наблюдается лишь образование перелетков или более глубокое сезонное промерзание пород.

Линза вечной мерзлоты под одним из наиболее крупных курганов оказалась в поперечнике 10 м. Она располагалась на глубине от 3 до 6 м [Горбунов и др., 2000]. Криогенная текстура песчанистой глины в могильной камере — массивная.

Приведенные в таблице факты свидетельствуют о том, что многолетнее промерзание крупнообломочных отложений возможно во многих горах от южной границы области вечной мерзлоты

и до экватора. Нечто сходное имеет место в Южном полушарии.

Следует упомянуть чрезвычайно интересные наблюдения немецких исследователей, например, устное сообщение М. Гуде и [Gude et al., 2000], выполненные в 1997—2000 гг. в горах Гарца, Шварцвальда, Тюрингинского Леса и в других низкогорных массивах Германии, в Вогезах (Франция) и в Рудных горах Чехии. Пункты этих наблюдений расположены в пределах 48—52° с.ш. на абс. выс. 580—900 м. Оказалось, что на глубине 0,3—1,0 м в нижней части осыпи температура пород значительно ниже, чем в верхней. В первом случае они по семи пунктам наблюдения на 4,3—7,4 °С ниже, а во втором — на 0,2—2,5 °С выше средней годовой температуры воздуха. Разность температур осыпей в нижних и верхних их частях по шести пунктам наблюдений составляет 5,2—6,8 °С. Отмечено, что в некоторых осыпях возможно круглогодичное сохранение ледяных включений. Например, это касается осыпи в Рудных горах Чехии, где на абс. выс. 580 м, на 50°49' с.ш. в течение всего года температуры близки к 0 °С. Видимо, выше 1000 м в здешних местах возможно формирование перелетков и небольших массивов вечной мерзлоты.

*Трешиноватые скальные массивы* по своему генезису занимают промежуточное положение между крупнообломочными осыпями и ледяными пещерами. Процессы охлаждения скальных пород во многом сходны с процессами в скальных породах. Вечномерзлые скальные массивы изучены в России (Северный Кавказ, гора Развалка близ Железноводска) и в Китае. Этот природный феномен издавна привлекал к себе внимание многих исследователей. Большая их часть объясняла формирование вечномерзлого массива охлаждающим воздействием углекисло-

Крупнообломочные мерзлые отложения вне области вечной мерзлоты

Регион	Координаты	Абс. выс., м	Средняя годовая температура воздуха, °С	Источник информации
Склон потухшего вулкана Кения, Африка	0°09' ю.ш.	4160	3,0	[Mahany, 1980]
Кратер потухшего вулкана Мауна Кеа, Гавайи	19°50' с.ш.	4140	3,6	[Woodcock, 1974]
Горы о. Хоккайдо, Япония	43°15' с.ш.	770—900	1—2	[Kondo et al., 1978]
Долина Ала-Арчи, Киргизский хребет, Тянь-Шань	42°37' с.ш.	2000	3,0	Данные А. Горбунова, 1974 г.
Долина Турген, Заилийский Алатау, Тянь-Шань	43°20' с.ш.	1800	4,5	Данные А. Горбунова, 1979 г.
Долина Есик, Заилийский Алатау, Тянь-Шань	43°30' с.ш.	1800	4	Данные А. Горбунова, 1964 г.
Нагорье Бихор, Южные Карпаты, Румыния	46°16' с.ш.	1050	5	[Urdea, 2000]
Урочище Кре де Ван, Юра, Швейцария	46°55' с.ш.	1150—1300	5,5	[Pancza, 1988—1989; Delaloye et al., 2001]

го газа, истекающего из трещиноватой трахипаритовой скалы. Известно, что происхождение Кавказских минеральных источников связано с неогеновым вулканизмом. Однако детальные исследования В. С. Лукина [1990] показали, что многолетнее промерзание пород на склоне горы Развалка происходит не за счет истечения углекислоты, а под воздействием других факторов. Пологий северный склон Развалки перекрыт чехлом крупнообломочных отложений, мощность которого местами достигает 25 м. Крупные трещины в скальном массиве создают сложную воздухопроводящую систему, напоминающую такую в пещерах. Сохранению вечной мерзлоты в летнее время благоприятствует затененность северного склона, а также медленное таяние льда и застаивание холодного воздуха в трещинах скального массива и в пустотах между глыбами каменного развала. Зимняя циркуляция воздуха охлаждает осыпь, летняя способствует накоплению тепла в ее верхней части. Летом из отдельных трещин истекает холодный воздух, а зимой из верхней части осыпи восходит теплый воздух [Лукин, 1990]. Массив вечной мерзлоты горы Развалка располагается на абс. выс. около 620 м, где средняя годовая температура воздуха — 8,7 °С, средняя температура воздуха зимних месяцев составляет –2,7 °С, а летних (с мая по октябрь) — 16,5 °С.

Природный феномен, сходный с феноменом Развалки, изучен на северо-востоке Китая, в провинции Лаолин. Здесь в окрестности города Шацяньцзы, на склоне долины р. Хуньцзян находится небольшая пещера и расселина в скале (устное сообщение Чу Гочинга). Из этой воздухопроводящей системы летом истекает морозный воздух, температура которого иногда достигает –5 °С, а зимой — теплый с температурой до +17 °С. Абсолютная высота этого пункта около 500 м. Он находится на 3° южнее Развалки, т. е. на 41° с.ш. Средняя годовая температура воздуха здесь — порядка 5 °С. Климат существенно континентальнее, чем в районе Железноводска.

Весьма необычны находки массивов вечной мерзлоты в Южной Америке в пустынях Центрально-Андийского нагорья. Одна группа массивов вечной мерзлоты распространена по краям и на островах мелководных озер и солончаков в пределах 21°38'—23°12' ю.ш. и 68°05'—67°11' з.д. Абсолютные высоты здешних мест 4117—4730 м [Hurlbert et al., 1984, 1988]. Вторая группа массивов вечной мерзлоты обнаружена в 1993 г. в долине р. Лауки (Северное Чили, 18°10' ю.ш. и 69°20' з.д.), на абс. выс. около 4000 м (устное сообщение профессора Цюрихского университета К. Графа, 1994).

Удивляет то обстоятельство, что в местах находок массивов и линз вечномерзлых илистых

отложений средние годовые температуры воздуха преимущественно положительные: в первом случае они изменяются с высотой от +4 °С до –1 °С, а во втором — близки к +6 °С. Попытки объяснить эту аномалию сделаны С. Хелбертом, К. Ченг [Hurlbert et al., 1988] и А. Горбуновым [1993]. Так, С. Хелберт и К. Ченг предполагают, что нынешние климатические условия благоприятствуют сохранению озерных отложений в мерзлом состоянии. Они также считают, что многолетнее промерзание илов возможно при современных климатических условиях. С первым можно согласиться. Дело в том, что озерные осадки, находящиеся в субаэральных условиях, покрыты выцветами солей, что определяет их высокое альbedo, которое препятствует прогреву отложений. Частые ночные заморозки в летнее время также способствуют консервации в них холода. Однако многолетнее промерзание озерных илов на глубину до 25 м при положительной средней годовой температуре воздуха трудно представить. С нашей точки зрения, озерные осадки промерзали в первой половине голоцена, когда средняя годовая температура воздуха была –6 ÷ –7 °С (устное сообщение А. Корте). Промерзали они субаквально в пресноводных озерах, что и объясняет их высокую льдистость (от 10 до 87 %). Мощность горизонтальных шпиров льда варьирует от миллиметров до 80—100 см.

Однако до сих пор остается многое неясным, особенно для долины Лауки. Необходимы детальные геокриологические исследования в этих местах. Конечно, можно сомневаться в точности расчетов температуры воздуха, сделанных на основе данных ближайших высокогорных метеорологических станций, тем не менее, несомненно, что средние годовые значения — большей частью положительные.

Итак, подземные льды и массивы мерзлых или морозных пород обнаружены во многих горных регионах, где средние годовые температуры воздуха заметно выше 0 °С. Можно предположить, что они гораздо шире распространены, чем это принято считать. Ведь до сих пор еще обнаружены далеко не все ледяные пещеры, особенно это касается труднодоступных горных территорий. И ныне внутреннее строение крупнообломочных осыпей и каменных развалов познается от случая к случаю при проведении каких-либо строительных работ, особенно при прокладке дорог и подземных коммуникаций, при разработке полезных ископаемых.

Для некоторых криогенных образований, рассмотренных выше, в свое время были предложены такие термины: пещерная мерзлота [Шумский, 1955; Алексеев, Беляк, 1970], необычная вечная мерзлота — по conventional per-

mafrost [Ford, Williams, 1989], подкурганная вечная мерзлота [Баранов, 1953].

Вводить новые термины для именованя мерзлых грубообломочных толщ или озерных отложений нет необходимости, так как они ничем не отличаются по своему криогенному сложению от таковых в области вечной мерзлоты. Однако следовало бы подчеркнуть их необычное местоположение. Поэтому и предлагается определение „аномальное распространение вечной мерзлоты“.

### Литература

Алексеев В.Р., Беляк В.И. Пещерные льды Южной Сибири // Вестн. МГУ. Сер. геогр., 1970, № 1, с. 59—65.  
 Баранов И.Я. Мерзлота в скифских могильниках урочища Пазарык в Горном Алтае // Изв. Всесоюз. геогр. общ-ва, 1953, № 3, с. 269—278.  
 Горбунов А.П. Криогенные „мезы“ — специфическая особенность высокогорных ландшафтов Центральнх Анд // Закономерности развития и дифференциации мерзлотных ландшафтов. Якутск, ИМЗ СО РАН, 1993, с. 46—53.  
 Горбунов А.П. Альпийский и циркумполярный криогенез: сходства и различия // Материалы Второй конф. геофизиологов России. Т. 3. М., Изд-во МГУ, 2001, с. 65—72.  
 Горбунов А.П., Самашев З.С., Северский Э.В. Вечная мерзлота — хранительница древностей. Алматы, Фонд „Берел“, 2000, 43 с.  
 Горбунов А.П., Северский Э.В. Температурный режим и криогенное строение крупнообломочных отложений в Северном Тянь-Шане // Проблемы геометеорологии и аккумуляции зимнего холода. Свердловск, УрО АН СССР, 1990, с. 54—58.  
 Дмитриев В.Е. Оледенение пещер как часть гляциосферы Земли // Карст Дальнего Востока и Сибири. Владивосток, ДВЦ АН СССР, 1980, с. 130—145.  
 Лукин В.С. Температурные аномалии горы Развалки около г. Железноводска // Проблемы геометеорологии и аккумуляции зимнего холода. Свердловск, УрО АН СССР, 1990, с. 50—53.

Мавлюдов Б.Р. Закономерности распространения пещер со льдом // Материалы гляциол. исслед., 1985, вып. 54, с. 193—200.  
 Максимович Г.А. Пещерные льды // Изв. Всесоюз. геогр. общ-ва, 1947, вып. 5, с. 537—549.  
 Шумский П.А. Основы структурного ледоведения. М., Изд-во АН СССР, 1955, 491 с.  
 Cheng Guodong. Vertical and horizontal zonation of high-altitude permafrost // Permafrost, Proceed. of the 4th Internat. Conf. Washington, 1983, p. 136—141.  
 Delaloye R., Reynard E., Lambiel C. Marginal Occurrence of Permafrost in a Altitude Talus Slope (Creux du Van, Jura Range, Switzerland): Snow and Vegetation Signification // Permafrost, 1st European Conf. Abstracts 2001. Rome, 2001, p. 31.  
 Ford D.C., Williams P.W. Karst Geomorphology and Hydrology. London, Chapman and Hall, 1989, 601 p.  
 Gude M., Dietrich S., Mäusbacher R., Molenda R. Exceptionally cold microclimatic conditions in blocky scree slopes in Central Europe // Permafrost, 1st European Conf. Abstracts 2001. Rome, 2001, p. 33.  
 Hurlbert S.H., Chang C.C.Y. Ancient ice islands in salt lake of the Central Andes // Science, 1984, vol. 224, No. 4646, p. 299—303.  
 Hurlbert S.H., Chang C.C.Y. The distribution, structure and composition of freshwater ice deposits in Bolivian salt lakes // Hydrobiologia, 1988, No. 158, p. 271—299.  
 Kondo Y., Nogawa K., Migiya M., Segawa S. The sporadic permafrost in Tokachi Mitsumata, northerwest Tokachi District // The Tokachi Plain, Chidanken Sapporo, 1978, No. 22, p. 236—240 (на японском языке).  
 Mahany W.C. Late Quaterny rock glaciers, Mount Kenya // J. Glaciologia, 1980, vol. 25, No. 93, p. 492—497.  
 Ohata T., Furukawa T., Higuchi K. Glacioclimatological Study of Perennial Ice in the Fuji Ice Cave, Japan. Part 1. Seasonal Variation and Mechanism of Maintenance // Arctic and Alpine Res., 1994, vol. 26, No. 3, p. 227—237.  
 Pancza A. Un pergélisol actuel dans le Jura Neuchâtelois // Bulletin de la Société neuchâteloise de geographic, 1988—1989, No. 32—33, p. 129—140.  
 Urdea P. Un permafrost de altitudine joasă la Detunata Goală (Muntii Apuseni) // Revista de Geomorfologie, vol. 2. Bucuresti, 2000, p. 173—178 (на румынском языке).  
 Woodcock A.H. Permafrost and climatology of Hawaii volcano crater // Arctic and Alpine Res., 1974, vol. 6, No. 1, p. 49—62.

Поступила в редакцию  
16 апреля 2002 г.