

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И КАТАСТРОФЫ

Том II

**ГЕОЛОГИЯ УРАНА,
ГЕОЭКОЛОГИЯ, ГЛЯЦИОЛОГИЯ**

Москва
2011

УДК 504.0
ББК 26.2
Г35

Экстремальные природные явления и катастрофы : в 2 т. / Отв. ред. А.О. Глико;
ИФЗ РАН. – М. : ИФЗ РАН, 2010; 2011.

ISBN 978-5-91682-012-6

Г35 Т. 2 : Геология урана, геоэкология, гляциология / Отв. ред. В.М. Котляков, ИГ РАН;
отв. сост. А.Л. Собисевич, ИФЗ РАН; – М. : ИФЗ РАН, 2011.

ISBN 978-5-91682-014-0

Во втором томе коллективной монографии изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований, связанных с изучением актуальных проблем современной геологии урановых месторождений, геоэкологии и гляциологии, имеющих целью обеспечение безопасности населения и важных промышленных объектов на территории Российской Федерации. Анализируются основные промышленно-генетические типы урановых месторождений; рассмотрены новые прогрессивные технологии добычи радиоактивных материалов; изучено поведение актинидов в условиях долгосрочного хранения и захоронения отработанного ядерного топлива. Полученные научные результаты отражают современные проблемы безопасности атомной энергетики.

Приведены новые научные данные, связанные с изучением эволюции Антарктического и арктических ледниковых покровов, от состояния которых зависит уровень Мирового океана. Достаточно внимания уделено геоэкологическим проблемам Северного Кавказа. Анализируются уникальные данные, полученные при проведении глубокого кернового бурения ледника на Западном плато вулканической постройки Эльбруса.

Изучены наиболее опасные геоэкологические процессы на территории РФ, которые могут привести к гибели людей, ранению и потере здоровья, а также к значительным материальным ущербам; разработан специальный ГИС-проект, который является готовым к использованию продуктом со всеми элементами, присущими автоматизированной информационной системе специального назначения, содержащей развернутые базы данных.

Полученные новые научные результаты и разработанные технологии уже востребованы на практике.

Для специалистов в области наук о Земле, строительства и чрезвычайных ситуаций.

УДК 504.0
ББК 26.2

The Volume II of the collective monograph presents the results of both theoretical and experimental studies of actual problems of modern geology of uranium deposits, geoecology and glaciology in order to mitigate issues on public safety and potentially hazardous industrial facilities and consequent risks on the territory of Russian Federation. Primary types of industrial uranium ore deposits are analysed, new progressive technologies of prospecting of radioactive materials are considered, the behaviour of actinides in long-time storages and nuclear waste burial sites are studied. The results obtained represent modern safety problems of nuclear power engineering.

New scientific data related to evolution of glaciers in Arctic and Antarctica governing the global level of world ocean are presented. Specific attention is paid to geoecological problems in Northern Caucasus. Genuine data gathered in the course of deep core drilling on the Western plateau of the Elbrus volcano.

Most significant hazardous geoecological processes on the territory of Russian Federation, threatening populated areas in terms of human health and injury, substantial property damage are studied. The specialized geographical information system (GIS) is the database driven product with high level of automation and it has been developed in frames of the actual research initiative.

The new fundamental scientific results obtained and the new technologies developed are of particular interest for practical applications.

The book will satisfy the needs of specialists in Earth sciences, industrial construction applications and hazard assessment.

ISBN 978-5-91682-014-0
ISBN 978-5-91682-012-6

© Российская академия наук, 2011
© Коллектив авторов, 2011

Ю.П. Масуренков, А.Л. Собисевич

ЭЛЬБРУССКОЕ ОЛЕДЕНЕНИЕ – ИНДИКАТОР ГЕОТЕРМИЧЕСКОГО И ФЛЮИДНОГО СОСТОЯНИЯ ВУЛКАНА

Учреждение Российской академии наук Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

Системный подход к изучению вулканизма не должен оставлять без внимания явления, находящиеся, казалось бы, вне исследуемого процесса. Это относится и к ледникам, соседствующим с вулканами. В зависимости от продолжительности жизни тех и других каждый из них может быть либо кратким эпизодом в жизни другого, либо они могут быть обречены на постоянное совместное существование. Последний случай все же предполагает некое взаимное влияние их друг на друга. Ведь контактирующие с продуктами вулканизма вмещающие породы земной коры обмениваются друг с другом веществом и энергией. Почему же тогда и лежащий на вулкане лед не должен рассматриваться как часть вмещающей вулканизм среды? Ответ представляется очевидным, но в реальных исследованиях вулканологов и гляциологов это почти не находит отражения. В гляциологической литературе, включая фундаментальные исследования, мы не нашли ответов на интересующий нас основной вопрос: могут ли ледники на вулкане нести и предоставлять нам информацию о состоянии вулкана и о его готовности к извержению.

По-видимому, первой попыткой ответить на этот вопрос была оценка величины теплового потока под вулканом Эльбрус на основании свидетельств о таянии Эльбруссских ледников [Масуренков, 1971]. Несмотря на приблизительность данных, она представляется обнадеживающим примером использования динамики оледенения вулкана в качестве индикатора глубины положения и состояния периферической камеры магматического очага под ним. В этой работе были представлены результаты расчетов, указывающие на вероятность существования различных геотермических условий под разными ледниками Эльбруса.

Свидетельством этому являются значительные отличия в масштабах сокращения площади и объемов различных ледников, не объяснимые их положени-

ем на вулкане и климатическими факторами. Здесь уместно сослаться на квалифицированное заключение гляциолога: «Каждый из ледников в системе Эльбруса эволюционирует как бы независимо друг от друга... Все они сокращаются по площади и по объему с разной скоростью» [Природные процессы..., 2004, с. 313]. К сожалению, причины такого различия в эволюции ледников не анализируются. Лишь четырьмя страницами выше обращается внимание на пространственную связь этого процесса с вулканическим. При этом наибольшие изменения с конца XIX века в сторону деградации испытывали ледники южного и юго-восточного секторов оледенения. Это именно те области, где произошло последнее извержение вулкана Эльбрус и излияние лав...» [там же, с. 309]. В настоящей работе сделана очередная попытка с большей определенностью оценить возможность связи между динамикой оледенения вулкана и глубинным теплом Земли. Для этого было необходимо разобраться сначала с закономерностями ожидаемого распределения оледенения на вулкане в зависимости только от климатических факторов и положения ледника на конусовидной постройке вулкана.

Вероятно, помимо общего состояния климата (похолодание-потепление), на образование и таяние ледниковой массы влияет также солнечная радиация, представление о суточном ходе которой дает суточный ход температуры воздуха и нагреваемой физической поверхности. На рис. 1 и 2 приведены данные о суточном ходе температуры воздуха для ряда районов, расположенных в средних широтах.

Рассмотренные примеры являются типичными для суточного хода температуры воздуха и физической поверхности в разных регионах и условиях. Помимо контрастности, принципиально важной его особенностью является запаздывание температуры относительно положения Солнца. Так южная его позиция,

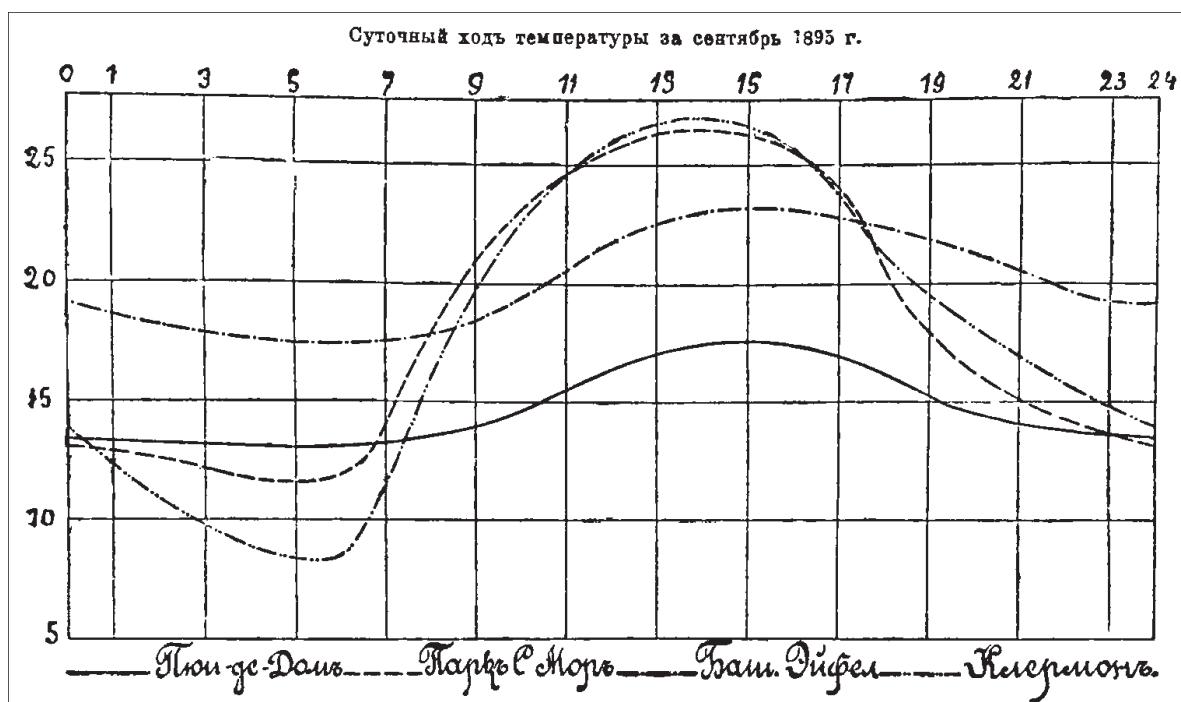


Рис. 1. Суточный ход температуры в разных районах западной Европы
[http://dic.academic.ru/pictures/brokgaуз_efron/b64_853-2.jpg]

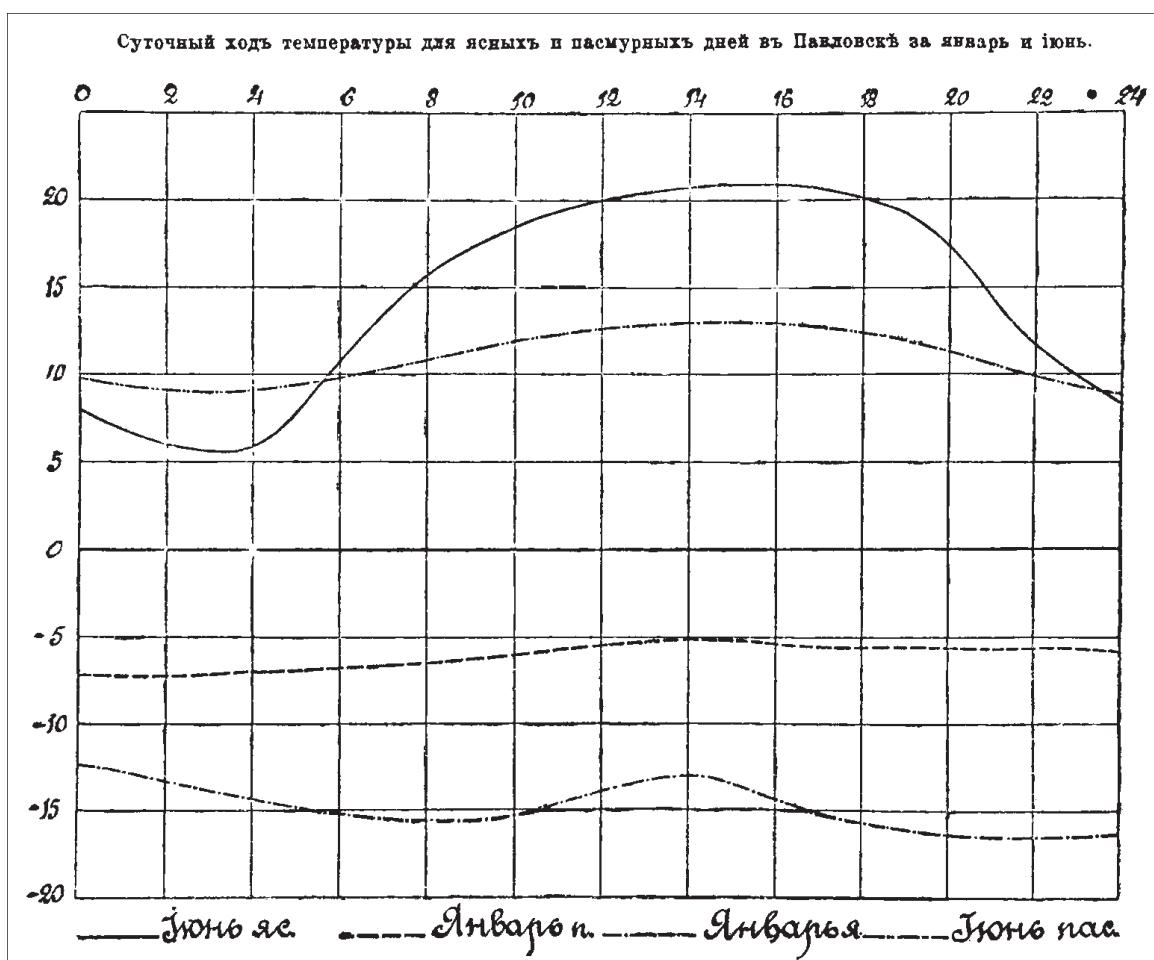


Рис. 2. Суточный ход температуры в России [http://gatchina3000.ru/big/img/encyclopediaRU-64_854-1.jpg]

соответствующая 12 часам дня, характеризуется не самыми максимальными температурами, а полночи (положение Солнца с обратной стороны Земли) отвечает не самая низкая температура. Дневной максимум температуры воздуха соответствует юго-западному расположению Солнца, а минимум востоку – северо-востоку.

Эта закономерность является планетарной, то есть имеет космический характер, свидетельством чего является суточный ход температуры воздуха на Марсе (рис. 5).

Следует ожидать, что в приложении к конусовидным горам и, следовательно, обособленно стоящим вулканам, настоящая закономерность должна реализовываться с еще большей эффективностью, так как увеличению и уменьшению солнечной радиации в дневное время способствует здесь увеличение крутизны склонов сравнительно с горизонтальной поверхностью рассмотренных выше случаев. Так для Эльбруса установлено, что на его северных склонах в течение года прямая солнечная радиация при крутизне склонов более 20° в среднем несколько уменьшается, а на южных при тех же условиях увеличивается втрое [Оледенение Эльбруса, 1968, с. 129]. Кроме того, в отличие от действия солнечной радиации на горизонтальную поверхность, ничем не заслоняемую от Солнца, в нашем случае присутствует фактор затенения противоположных сторон вулкани-

ческого конуса собственным телом. Это еще более усиливает контрастность суточного хода температур на вулкане и, следовательно, контрастность между аккумуляцией и абляцией.

Основываясь на этом, можно предположить, что, действуя таким образом в течение тысячелетий и более, солнечная энергия обеспечивает устойчивое (при прочих равных условиях) распределение ледниковых масс на конусовидной горе, в том числе и на вулкане, в пропорции, обратной поступлению солнечной энергии, то есть температуре воздуха или поверхности ледника. В качестве примера на рис. 6 за исходный характер суточного хода температуры на вулкане нами взято суточное изменение температуры снежного покрова в горных условиях (рис. 4). В данном случае абсолютные значения этой температуры не играют роли. Тут важен ход температурных изменений и общий характер температурной кривой, а именно, распределение температуры по временам суток и следовательно по частям света температурных максимумов и минимумов (рис. 6, кривая 1). В роли альтернативы этой кривой, как бы ее зеркальным отражением служит кривая 2 на этом же рисунке. Она изображает ожидаемое распределение ледниковых масс по тем же сторонам света и соответствующим им времененным реперам в условном масштабе: максимум температуры – минимум оледенения и наоборот. Реально существующий в течение суток

**Суточный ход температуры снега на глубине 1,5 см.
Горная астрономическая станция 3 - 10 марта 2007г.**

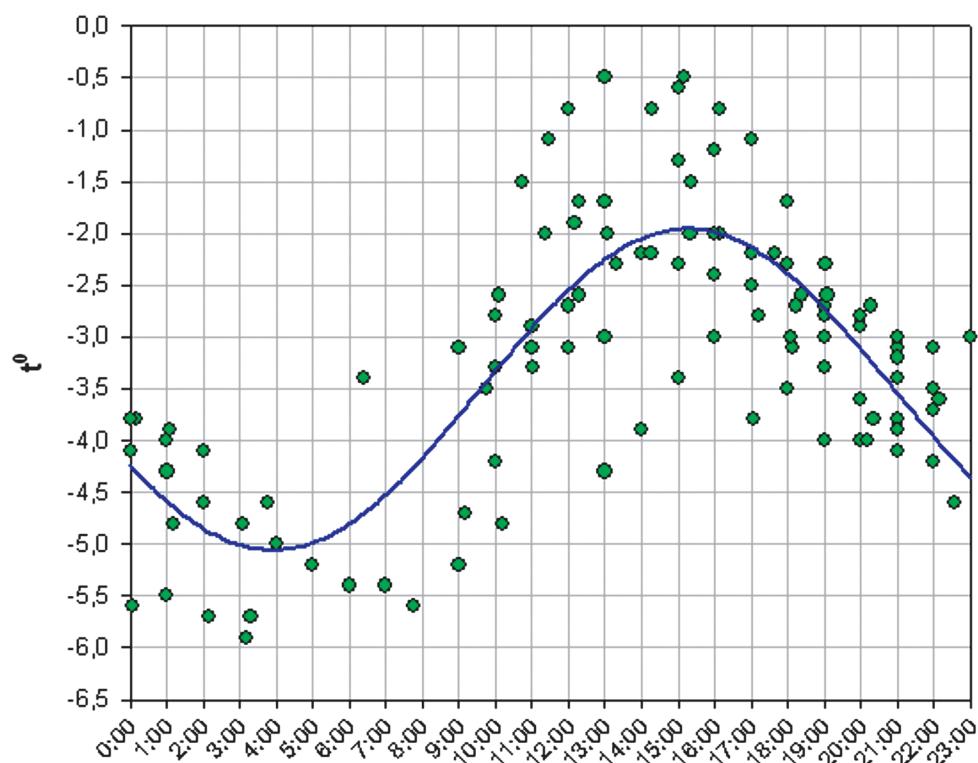


Рис. 3. Суточный ход температуры снега [Е.Цимеринов, <http://www.meteoweb.ru/>]

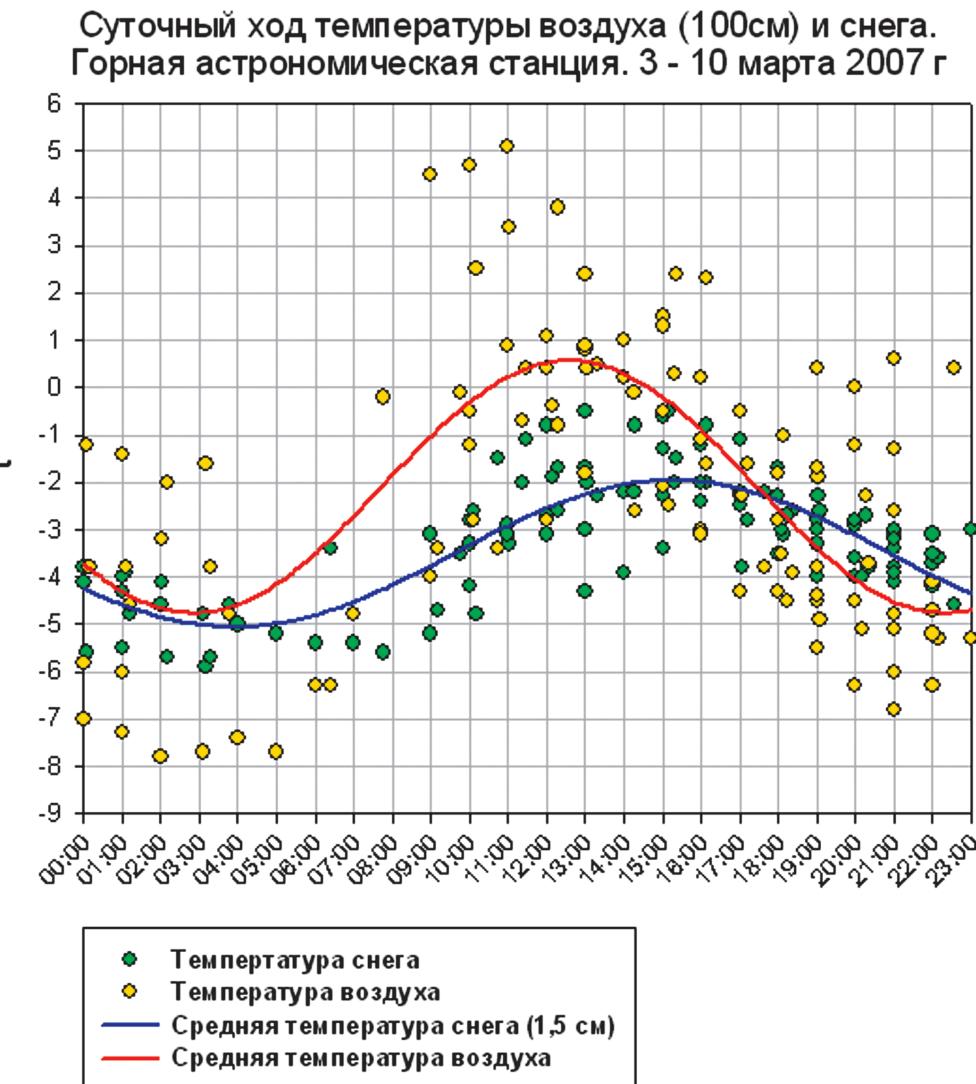


Рис. 4. Запаздывание суточного хода температуры снега от температуры воздуха [по Е.Цимеринов, <http://www.meteoweb.ru/>]. В летний период эти температуры, особенно в ясные дни, отличаются весьма значительно – до десятков градусов. Температура снежного покрова в горных условиях имеет аналогичный синусоидальный ход (рис. 3), но сравнительно с температурой воздуха не столь контрастна (рис. 4). Это объясняется тем, что приведенные графики построены по данным измерения в затененных условиях, а не в обстановке прямой солнечной радиации

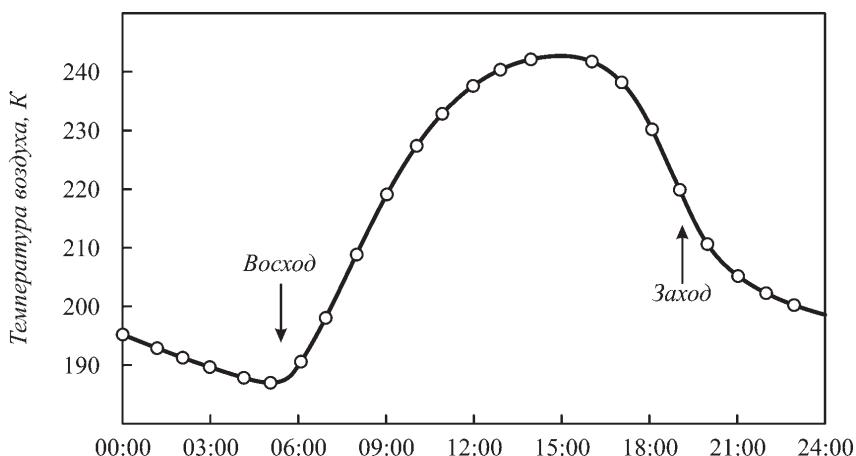


Рис. 5. Суточный ход температуры воздуха на Марсе [<http://epizodsspace.airbase.ru/bibl/kondrat/vikingi/02.html>]

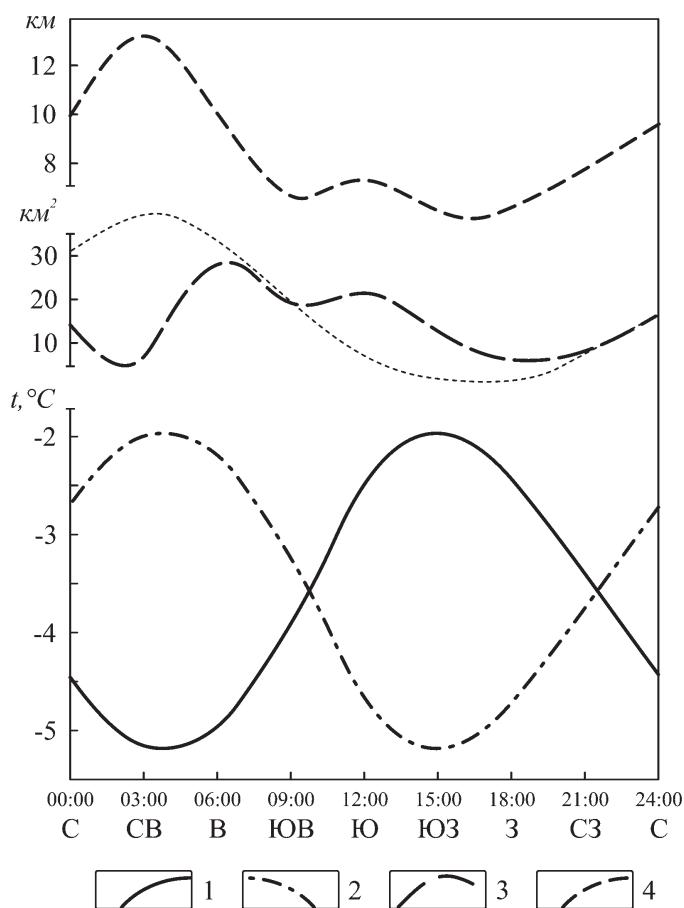


Рис. 6. Закономерность асимметричного распределения площадей оледенения на вулкане в связи с ходом суточных температур. 1 – ход суточных температур снега на Горной астрономической станции [Е.Цимеринов, <http://www.meteoweb.ru/>]; 2 – зеркально отраженная от температурной кривой кривая ожидаемого распределения массы (объема, площади) оледенения на вулкане (любом другом конусе); 3 – современное распределение площадей (км^2) оледенения на вулкане Эльбрус по секторам, соответствующим сторонам света. Пунктиром обозначен принципиальный ход кривой в отсутствии таяния за счет эндогенного тепла на северо-востоке и при изъятии избыточного снегонакопления на южных и юго-западных склонах вулкана [Оледенение Эльбруса, 1968]; 4 – распределение расстояний в километрах от вершины Эльбруса до краев ледника максимального площадного оледенения (вюрм?).

и веков ход температурного процесса, как нам представляется, выразится в вероятном накоплении и сохранении наибольших масс ледника на северо-востоке и востоке и наименьших – на юге и юго-западе в соответствии с температурой, временем, сторонами света и положением Солнца. Согласно этому наиболее интенсивное таяние ледников должно происходить на южном и юго-западном склонах вулкана с образованием большого количества талых вод и значительно меньше на северном и северо-восточном. Кстати, на интересующем нас объекте это подтверждается следующим заключением В.Л. Блиновой: «Запасы

грунтовых вод меньше всего на северном склоне... и значительно больше на южном склоне» [Оледенение Эльбруса, 1968, с. 212].

Достоверность высказанного теоретического заключения подтверждается также реальной картиной распределения площадей покровного оледенения на Эльбрусе (рис. 6, кривая 4).

По остаткам моренных отложений максимального последнего площадного эльбруского оледенения, относимого к верхнему плейстоцену (вюрм?), можно представить приблизительную картину его распространения. Расстояния в километрах от центра оледенения (вершина вулкана) до его предполагаемых краев по направлениям сторон света являются точками, по которым построена кривая 4 на рис. 6. Эта кривая подобна теоретически ожидаемому распределению ледниковых масс в случае действия солнечной радиации в качестве основного или единственного фактора оледенения (кривая 2 на рис. 6). Некую дисгармонию вносит максимум на кривой 4, соответствующий южному направлению. Его появление означает наличие еще какого-то дополнительного фактора формирования ледниковых масс. Этот фактор обусловлен местными климатическими условиями осадконакопления: «В высокогорной зоне Приэльбрусья распределение осадков весьма неравномерно... Вверх по склонам гор количество осадков возрастает, достигая 1100 мм на высотах около 3700 м – на северных склонах Главного хребта и более 1500 мм на южном склоне Эльбруса на высотах 3800–3950 м. Отмечены различия в накоплении осадков по макросклонам Главного и Бокового хребтов: на южных склонах выпадает осадков больше, чем на северных» [Природные процессы..., 2004, с. 359]. Ясно, что на таких высотах осадки выпадают в твердом виде, и именно эти осадки являются наиболее существенной частью ледникового баланса, а высоты – областью питания ледников [Оледенение Эльбруса, 1968].

Подчеркнем, что кривая 4 на рис. 6 отражает распределение оледенения на Эльбрусе в период общего климатического минимума и тем самым с наибольшей полнотой действие общих планетарных факторов оледенения. Геотермальное тепло, если и воздействовало на ледники, было подавлено и замаскировано этими существенно превалирующими факторами. Но на распределение покровного оледенения могли влиять и другие факторы, в частности рельеф окружающей вулкан местности.

На рис. 7 это обстоятельство продемонстрировано с учетом реальной картины распределения оледенения в условиях ограничений кальдерным уступом и вероятного его распределения при отсутствии помех в характере рельефа.

Здесь следует обратить внимание на асимметричность распределения ледниковых образований относительно центра оледенения – вершины Эльбруса. При этом асимметричность ледникового поля, несмотря на ограничения его кальдерным уступом, подобна теоретически ожидаемой: ледниковое поле всеце-

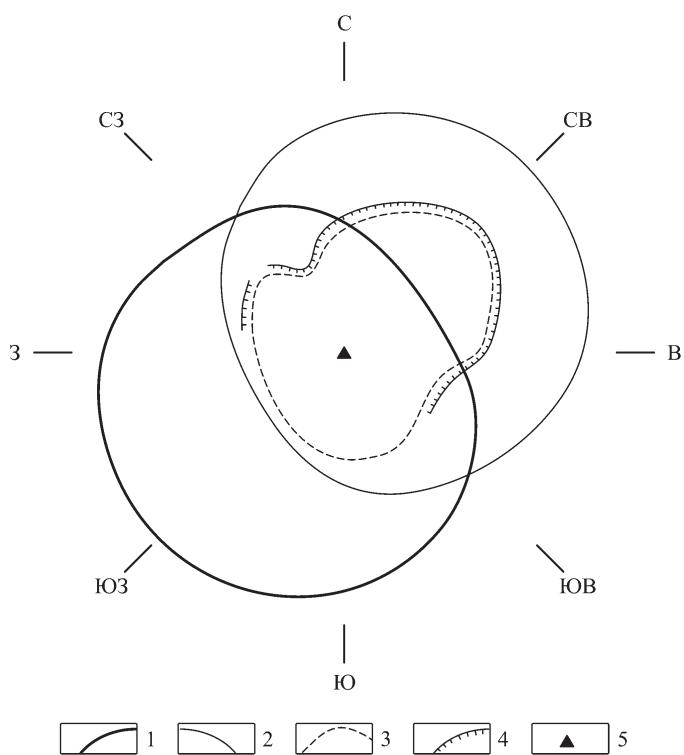


Рис. 7. Распределение суточного хода температур, теоретически ожидаемого объема (площади) ледников и контуры последнего максимального эльбрусского площадного оледенения. 1 – ход суточных температур, отложенных от центра (вершина Эльбруса) по направлениям частей света в произвольном масштабе; 2 – зеркально отраженное распределение ожидаемой площади оледенения, изображенное в масштабе, адекватном температурной кривой; 3 – контур последнего максимального оледенения Эльбруса (вюром?); 4 – борт кальдеры, ограничившей расплазание площадного оледенения в северном, северо-восточном и восточном направлениях, 5 – вершина Эльбруса

ло располагается внутри площади, альтернативной суточному температурному ходу на вулканическом конусе. Можно предположить, что при отсутствии помех в рельефе, покровное оледенение могло занять значительно большие пространства к северу, северо-востоку и востоку от вершины Эльбруса. Вероятно, эти площадные ограничения должны были компенсироваться большими объемами ледниковых масс в этих направлениях, то есть мощностью ледников.

Таким образом, особенности рельефа в районе вулкана явно наложили отпечаток на характер распределения и конфигурацию площадного оледенения в верхнем плейстоцене, ограничив его распространение в северном, северо-восточном и восточном направлениях. Однако это обстоятельство не смогло скрыть факт асимметричного его положения относительно центра оледенения. И эта асимметрия – однозначное свидетельство решающего влияния на оледенение механизма, обусловленного специфичностью воздействия солнечной радиации на конусовидную форму вулкана.

Современное состояние ледников Эльбруса освещено достаточно подробно и обстоятельно. Помимо морфометрических характеристик оледенения (табл. 1), детально освещена динамика ледников за последнее столетие (табл. 2), условия аккумуляции и аблации, стока и льдообразования, а также некоторые сведения о химизме льда, снега и воды. Все это позволяет более углубленно и аргументированно рассмотреть и оценить роль разных механизмов, обеспечивающих эволюцию оледенения. И в том числе – роль вулканизма в этом процессе.

Обращает на себя внимание (табл. 2) значительно большее сокращение площадей ледников южного (Большой и Малый Азау) и восточного склонов вулкана (Чунгурчатчиран и Бирджалычиран – ледниковое поле Джикиуганкез) и приращение площадей ледников западного, северо-западного и северного (Кюкюртлю, Битюктюбе и Уллучиран). Если для северо-западного, северного и южного направлений это находится в полном соответствии с установленной закономерностью воздействия солнечной радиации на поверхность ледников указанных направлений, то для западного и восточного направлений – в явном противоречии. Ничтожным приращением площади ледника Кюкюртлю можно пренебречь, но столь значительное сокращение площади ледникового поля Джикиуганкез заставляет привлекать для объяснения этого феномена какой-то иной фактор.

Отмеченная особенность сокращения площадей ледников представлена на рис. 6, кривая 3. Последняя построена нами путем подсчета площадей ледников Эльбруса по секторам и переноса полученных значений на соответствующие направления (табл. 3). Показательно сравнение этой кривой с кривой 4, отражающей положение оледенения в его максимальную фазу: на месте вюрмского максимума оледенения в северо-восточном направлении для современного оледенения обнаруживается мощный минимум. Во всех остальных направлениях – полная аналогия кривых. Даже для локального и сравнительно небольшого максимума на юге, связанного, по-видимому, с повышенным уровнем здешнего снегонакопления, тоже сохраняются те же условия относительно повышенного накопления ледниковой массы. При условии компенсирующих добавлений и изъятий площадей оледенения, связанных с повышенным снегонакоплением на юге и юго-западе и неизвестным фактором усиленного таяния на северо-востоке и востоке можно ожидать практически полного совпадения площадей современного оледенения (кривая 3 на рис. 6 с пунктирными «исправлениями») с теоретической кривой (кривая 2 на рис. 6).

Приведенные данные и сделанные выводы основываются на измерении площадей ледников и расстояний от центра оледенения до края ледникового покрова. Они содержат очень ценную и объективную информацию, но правильнее и точнее было бы опираться на массы или объемы ледников, более точно

Таблица 1. Площади, длины и высоты концов ледников Эльбруса [Оледенение Эльбруса, 1968]

Название ледника	Площадь ледника на уровне моря, км ²	В том числе		Соотношение площадей льда и снега, %	Площадь ледника без скальных обнажений, км ²	Горизонтальное прожение ледника, м	Длина ледника, м	Высота конца ледника, м
		лед, км ²	снег, км ²					
Вершины Эльбруса	4,421	—	3,551	0,870	3,551	—	100,0	5,373
Ледник Уллутчиран	11,786	4,210	6,964	0,612	11,174	34,8	65,2	6386
Ледник Каракаул	5,166	2,659	2,497	—	5,271	42,2	57,8	6835
Ледники Уллумалиндерку и Уллукол	4,865	2,311	2,517	0,037	4,828	41,6	58,4	6577
Ледник Микельчиран	4,512	2,486	2,026	—	4,512	42,2	57,8	6174
Ледяное поле Джиккунтакез	27,252	16,048	10,566	0,638	26,614	38,3	61,7	5907
Ледник Ирикчат	1,790	0,598	1,192	—	1,790	36,9	63,1	6275
Ледник Ирик	10,196	4,046	5,766	0,384	9,812	42,3	57,7	4820
Ледник Терскол	7,569	3,319	4,220	0,030	7,594	45,5	54,5	5092
Ледник Гараабаши	2,746	1,186	1,560	—	2,746	46,9	53,1	3246,3
Ледник Малый Азай	8,493	3,256	5,149	0,088	8,405	38,3	61,7	3143,9
Ледник Большой Азай	19,202	8,584	10,069	0,549	18,573	49,5	50,5	2677
Ледник Уллукам	1,309	0,616	0,682	0,011	1,298	59,4	40,6	3190,2
Ледник Кюкюртло	6,580	1,504	4,968	0,108	6,472	40,0	60,0	2608,7
Ледник Битоктюбе	2,199	0,585	1,500	0,114	2,085	29,1	70,9	9316
Ледник № 1	0,099	—	0,099	—	0,099	—	100,0	2925,0
Ледник № 2	0,455	0,390	0,065	—	0,455	78,2	21,8	3702
Ледник № 3	1,008	0,500	0,508	—	1,008	61,3	38,7	7786
Ледник № 4	0,394	0,181	0,213	—	0,394	49,4	50,6	3250,5
Ледник № 5	0,294	0,080	0,213	0,001	0,293	27,3	72,7	3020,2
Ледник № 6	0,413	0,101	0,309	0,003	0,410	24,4	75,6	2463,0
Ледник № 7	0,259	0,112	0,147	—	0,259	43,5	56,5	3397,0
Ледник № 8	1,489	0,655	0,834	—	1,489	31,5	68,5	3380,5
Ледник № 9	0,259	—	0,254	0,005	0,254	—	100,0	3696,9
	122,746	53,427	65,869	3,450	119,386	37,6	62,4	101.214

Таблица 2. Изменение площади и длины ледников Эльбруса за периоды 1887–1957 гг. и 1957–1987 гг. [Золотарев, 2004]

№	Название ледника	1887-1957		1957-1987	
		Линейное изменение, м	Изменение площади, км ²	Линейное изменение, м	Изменение площади, км ²
1	Большой Азау	- 1130	- 1.63	- 1150	- 0.43
2	Малый Азау	- 637	- 1.02	- 200	- 0.02
3	Гарабаши	- 1225	- 0.87	- 70	- 0.09
4	Терскол	- 675	- 0.83	- 60	- 0.04
5	Ирик	- 1162	- 1.43	- 355	- 0.10
6	Ирикчат	- 750	- 1.01	- 250	- 0.06
7	Чунгурчатчиран	- 925	- 2.72	- 590	- 2.05
8	Бирджалычиран	- 850		- 845	
9	Микельчиран	- 525	- 0.73	- 165	- 0.07
10	Уллумалиндерку	- 175	- 0.64	- 120	- 0.08
11	Уллукол	- 620		- 205	
12	Карачаул	- 275	- 0.17	- 30	- 0.03
13	Уллучиран	- 1225	- 0.82	- 220	+ 0.13
14	Битюктюбе	- 500	- 0.16	- 20	+ 0.02
15	Кюкюртлю	- 275	- 0.59	+ 110	+ 0.01

реагирующие на факторы теплового воздействия на ледник – солнечного или эндогенного.

Однако данные об этих величинах практически отсутствуют или содержат большую неопределенность. Так например, объем Эльбруссского оледенения в разных исследованиях оценивается либо в 6 км³ [Оледенение Эльбруса, 1968], либо в 12 км³ (по данным Е.А. Золотарева) [Природные процессы..., 2004]. И тем не менее, мы сочли возможным, используя данные в указанных исследованиях, которые представились нам как более или менее достоверные, представить некоторые характеристики оледенения именно в виде объемов и мощностей ледников (табл. 4). Они касаются самого важного для наших построений элемента оледенения – его сокращения. Как видно, результаты претерпели сравнительно небольшие изменения: к сильно сократившимся восточным и южным ледникам присоединилось еще два, восточный Ирикчат и юго-восточный Ирик. Проявилась и связка ледников Уллукол-Уллумалиндерку как очаг несколько повышенного уровня таяния и сокращения мощности ледников. В целом же закономер-

ность, установленную ранее по изменению площадей, они не нарушили. Более того – позволили сделать следующий шаг в познании причины этого явления. Она ярче проявляется на схематической карте, где представлены эти изменения (рис. 8).

На первом, доступном нам этапе деградации оледенения (вюрмский максимум) площадь сокращения ледников составила чуть ли не половину всей площади оледенения. Судя по имеющимся на сегодня данным геологической съемки, эти потери сосредоточены, по-видимому, преимущественно на западе и севере от современного конуса вулкана (рис. 8, усл. обозн. 1). Это как раз соответствует положению северной и западной кальдер вулкана, но противоречит выявленной закономерности асимметричного положения оледенения, приуроченного к вулкану. То есть ледники наиболее активно таяли именно там, где должны были преимущественно образовываться. Если это предположение справедливо, то источники тепла, ликвидировавшего эти части покровного оледенения, вероятно, связаны с кальдерами, а именно, с внутренним теплом Земли, так как кальдеры дли-

Таблица 3. Площадь оледенения по секторам вулкана Эльбрус

Размер секторов	C	СВ	B	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
90° (*)	27,8	38,9	43,7	27,1	38,4	29,3	11,6	19,8
45°	13,3	7,2	28,4	18,4	20,4	11,7	8,2	7,9

(*) Рассчитано методом скользящего сектора.

Таблица 4. Сокращение объемов и мощности ледников за столетие (1887–1987 гг.) (на основании данных: [Оледенение Эльбруса, 1968; Природные процессы..., 2004])

Ледники	1887–1957 гг.			1957–1987 гг.			1887–1987 гг.	
	Объем, км ³	Мощность, м	Скорость таяния, см/год	Объем, км ³	Мощность, м	Скорость таяния, см/год	Объем, км ³	Мощность, м
Большой Азай	0,840	40	57	0,109	5,7	19	0,949	45,7
Малый Азай	0,181	19	27	0,023	2,7	9	0,204	21,7
Гарабаши	0,020	≈7	10	0,008	3,0	10	0,028	≈10,0
Терскол	0,080	≈11	16	0,022	2,9	10	0,102	≈13,9
Ирик и Ирикчат	1,083	75*	107	0,055	4,6	15	1,138	79,6
Джикиуганкез	0,660	22*	31	0,365	13,4	45	1,025	35,4
Микельчиран	0,050	≈10	14	0,018	4,0	13	0,068	14,0
Уллукол и Уллумалиендерку	0,100	≈18	26	0,029	6,0	20	0,129	≈24,0
Карачаул	0,010	≈2	3	0,009	1,8	6	0,019	≈3,8
Уллучиран	—	≈30**	43**	—	—	—	—	≈30**
Битюктюбе	—	≈70**	100**	—	—	—	—	≈70**
Кюкортлю	—	≈85**	121**	—	—	—	—	≈85**

* – В источниках [Оледенение Эльбруса, 1968] для этих ледников приводятся значения до 125–159 м;

** – эти данные представляются наименее надежными, прочерк – данные отсутствуют или противоречивы.

тельное время после своего образования продолжают сбрасывать эндогенное тепло многочисленными фумаролами и термальными источниками. Примеры тому – кальдера Узон на Камчатке, Йеллоустонский национальный парк в США, Долина Десяти Тысяч Дымов на Аляске и т. д.

На историческом этапе деградации оледенения картина несколько, но не принципиально меняется. Наиболее значительные потери ледниковой массы сосредоточены на востоке и юго-востоке: ледники Джикиуганкез, Ирикчат и Ирик (рис. 8, усл. обозн. 2 и 3). Здесь за 100 лет растаяло более 2 км³ льда, и при этом ледники потеряли до 80 м своей мощности. Некое приближение к столь масштабным потерям обнаруживает и пара ледников Уллукол/Уллумалиендерку, расположенных на северо-востоке от вершины вулкана. Положение этого ареала усиленного таяния ледников ничем не объяснимо, кроме как продолжением или возобновлением того же процесса эндогенного теплового воздействия на оледенение, как это происходило на первом этапе деградации оледенения к северу и западу от вулкана.

Сделанное утверждение, помимо невозможности связать локальное таяние с какими-либо климатическими факторами, основано также на результатах проведенного нами широкого исследования геотектонической и гидрогеохимической обстановки в Эльбрусском вулканическом центре [Масуренков и др., 2010]. В ходе исследований были выявлены динамически развивающиеся кольцевые структуры с геометрическими центрами, лежащими в пределах вулканической постройки и почти буквально совпадающими с ареалом активного таяния ледников Джикиуганкез, Ирикчат, Ирик (рис. 8, усл. обозн. 6, 7–10'). Здесь

центр вершинной поверхности кристаллического фундамента вулкана, погребенного в кальдерных провалах под толщами вулканогенных отложений (7'), центр купольно-кальдерной кольцевой структуры, развивающейся в течение неогена-четвертичного периода (8') и центр сходимости многочисленных радиальных разломов (9'). Наконец, это геометрический центр системы кольцевых разломов, сопровождающих формирование кольцевой вулкано-тектонической системы (10').

Совокупность независимо выявленных элементов динамической системы иллюстрирует положение центра приложения тектонических напряжений и тем самым обозначает место наиболее проницаемое для магматических расплавов и флюидного потока, осуществляющих вынос глубинной энергии и вещества на поверхность Земли.

Детальное и разностороннее изучение углекислых минеральных вод Приэльбрусья и всей Эльбрусской вулканической области позволило выявить основные закономерности их распределения и условий формирования химического состава и температуры [Масуренков и др., 2010]. Большинство аномалий, характеризующихся повышенными значениями температуры и содержания химических компонентов, оказалось приуроченным к вулкану Эльбрус. Центры этих геохимических аномалий так же, как и центры структурных, располагаются в пределах или вблизи от ареалов усиленного таяния ледников. Так в поле ледника Джикиуганкез расположен центр аномалии экстремального выноса углекислыми минеральными водами тепла (4' на рис. 8, усл. обозн. 6), суммарное количество которого составляет около десяти миллионов килокалорий в сутки [Масуренков и др., 2009].

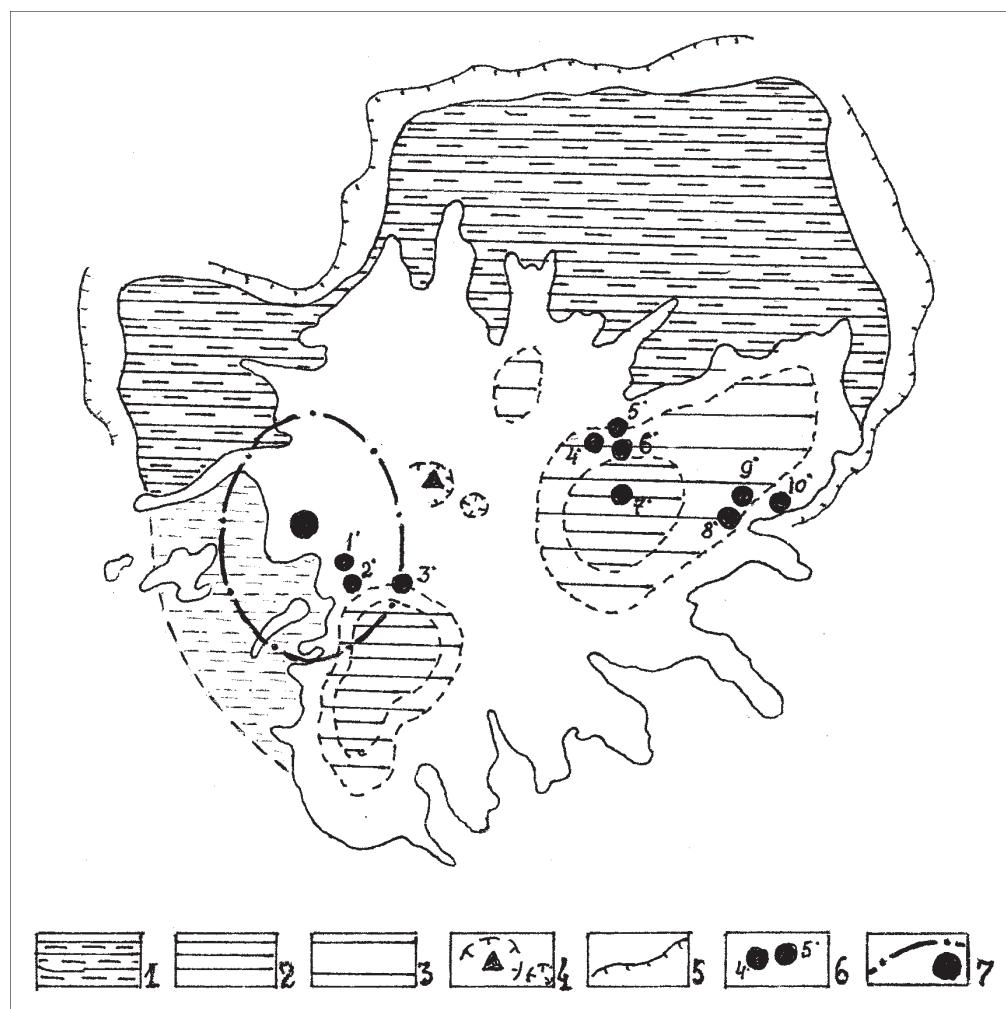


Рис. 8. Сокращение площади и мощности ледников Эльбруса. 1 – площадь, освобожденная при таянии ледников последнего максимального оледенения (район на юго-западе – предположительно); 2 – участки ледников Ирикчат-Ирик, Джикиуганкез и Большой Азау, мощность которых за период 1887–1987 гг. снизилась на 40–80 м; 3 – участки ледников Уллукол-Уллумалиндерку, Ирикчат-Ирик, Джикиуганкез, М. и Большой Азау, мощность которых за период 1887–1987 гг. снизилась на 20–40 м; 4 – вершина (западная) и кратеры вулкана Эльбрус; 5 – кальдерный уступ, ограничивший распространение максимального оледенения на запад, север, северо-восток и восток; 6 – центры современных тектонических деформаций, геохимических и геотермальных аномалий: 1° – глубинная температура, по Na-K геотермометру (более 150 °C); 2° – глубинная температура, по нескольким ионным геотермометрам (более 150 °C); 3° – глубинная температура, по кремниевому термометру (более 140 °C); 4° – суммарный вынос тепла УМВ (21 277 тыс. ккал/сут или 1030 КВт); 5° – максимум кремнесодержания в УМВ (80–90 мг/л метакремниевой кислоты); 6° – максимум выноса хлора УМВ (500–600 кг/сутки); 7° – центр реконструированной вершинной поверхности кристаллического фундамента Эльбруса; 8° – центр кольцевой Эльбруссской вулканической структуры; 9° – центр сходимости радиальных разломов; 10° – центр структуры, образуемой кольцевыми разломами; 7 – район и центр девяти положительных аномалий по выносу тепла, глубинным температурам УМВ и содержанию в них ряда химических компонентов

Здесь же располагаются центры максимального содержания метакремниевой кислоты в углекислых минеральных водах (5° на рис. 8, усл. обозн. 6) и выноса этими водами хлора (6° на рис. 8, усл. обозн. 6). Содержание первой достигает 80–90 мг/л, а количество выносимого хлора составляет в центре аномалии 500–600 кг в сутки.

Таким образом, восточный сектор вулканической постройки в историческое время характеризуется средоточием таких, казалось бы, разнородных факторов,

как усиленное таяние ледников и целый комплекс геохимических, тектонических и тепловых аномалий. Соединение геологических аномалий с таянием ледников (наряду с невозможностью усиленного таяния именно в этом месте в силу действия механизма асимметричного распределения интенсивности радиационного баланса) приводит к неизбежному выводу: таяние обусловлено эндогенным теплом.

Для еще одной зоны повышенных потерь ледниковой массы – ледников Большой и Малый

Азау – возможно действие двух факторов: таяние от повышенного радиационного баланса (для этой пространственной позиции ледников это вполне уместно) и действие глубинного тепла Земли. Вероятность последнего обстоятельства может быть проиллюстрирована приуроченностью к этому участку центров температурных аномалий, выявленных нами по ионным геотермометрам углекислых минеральных вод [Масуренков и др., 2010]. Эти центры показаны на рис. 8, усл. обозн. 6, 1° – 3°. Но наиболее убедительным доказательством реальности действия здесь высоких значений глубинного теплового потока являются результаты, полученные при бурении на ледниковом плато Кюкортлю – Большой Азау [Михаленко и др., 2010]. Величина теплового потока на подошве ледника составила здесь 0,35 Вт/м², что сильно превышает региональный тепловой поток. Температуры в недрах структуры по данным ионной геотермометрии составляют здесь более 150 °С. Так что и эта аномальная по усиленному таянию ледников зона тоже, по меньшей мере, частично обусловлена, по-видимому, глубинным теплом. Почти наверняка оно поставляется здесь двумя способами: кондуктивным и конвективным. Наличие очень высоких значений кондуктивного теплового потока доказано температурными измерениями в скважине, конвективного – глубинными температурами в углекислых минеральных водах и широко известным фактом сульфатного заражения вулканогенных и ледниковых образований в районе ледника Кюкортлю.

Кроме того по свидетельству известного альпиниста В.П. Некрасова в районе плато Кюкортлю – Большой Азау на высоте 4900 м им было обнаружено в леднике колодцеобразное окружное отверстие

диаметром более 1,5 м, уходящее вертикально вниз на глубину не менее нескольких десятков метров. Из отверстия выделялся теплый газ с сернистым запахом. Фотографию этого феномена и пути к нему он любезно представил Ю.П. Масуренкову в августе 1961 года во время работ на фумарольном поле восточной вершины Эльбруса (рис. 9, 10). В качестве еще одного свидетельства повышенного таяния ледников уже в самое последнее время в тех же самых зонах эльбрусского оледенения (восток – северо-восток и юг) приводим карту-схему, составленную Е.А.Золоторевым [Природные процессы..., 2004] с нашими дополнениями, касающимися контуров и названий ледников (рис. 11). Масштабы сокращения мощности ледников в указанных зонах продолжают заметно опережать подобный процесс на других ледниках. Особенно это касается ледникового поля Джикиуганкез с его ледниками Бирджалычиран и Чунгурчатчиран. Относительно этих и соседних образований сошлемся на Г.К.Тушинского: «Из всех ледников Эльбруса ледник Ирикчат находится в самой большой деградации и, вероятно, скоро совсем исчезнет... Пройдет около ста лет и вместо ледникового поля Джикиуганкез будет расстилаться ровная поверхность...» [Оледенение Эльбруса, 1968]. К сожалению, из внимания гляциологов в этом случае [Природные процессы..., 2004] выпали ледники западного склона Эльбруса, как это произошло и в предшествующий этап изучения Эльбрусского оледенения [Оледенение Эльбруса, 1968]. Правда, в таблице 2 помещены сведения об изменениях длины и площади ледников Битюк-Тюбе и Кюкортлю, повторнутые из первой монографии, но они не совсем соотносятся с более ранними данными. Между тем,

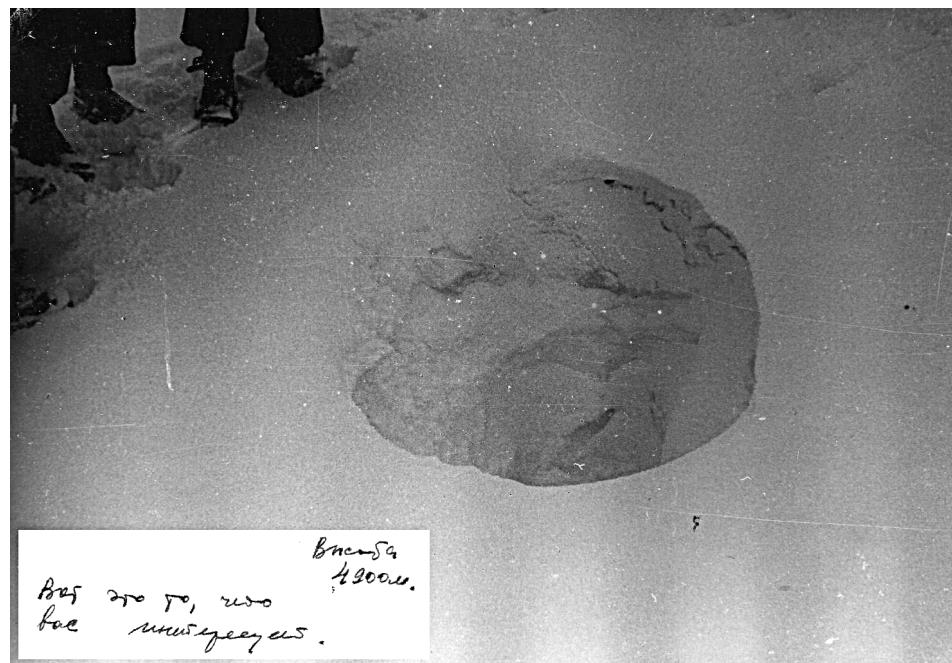


Рис. 9. Фумарольный канал в районе ледникового плато Кюкортлю – Большой Азау (Эльбрус) на высоте 4900 м (фото В.П. Некрасова, конец 1950-х – начало 1960-х годов, на врезке слева внизу – текст с обратной стороны фотографии)



Рис. 10. Путь по леднику Большой Азау к фумарольному каналу (отмечен стрелкой) на плато Кюкюртлю – Большой Азау. Снимок сделан с перевала Хотютай (фото В.П. Некрасова, конец 1950-х – начало 1960-х годов)

как это показано выше, есть все основания предполагать наличие к западу и юго-западу от вершины вулкана (рис. 8), возможно, самого значительного ареала таяния ледников не только за счет радиационного баланса, но и от воздействия глубинного тепла. Помимо сигналов гидрогоеохимического характера об этом свидетельствует высокий тепловой поток, рассчитанный по данным глубокого бурения льда на стыке ледников Кюкюртлю и Большой Азау [Михаленко и др., 2010], а также наличие в этом месте фумарольных каналов и, главное, высокая зараженность льда сульфатами. Так по данным В.Л. Блиновой количество сульфатов во льду ледника Кюкюртлю достигает 288 мг/л, а минерализация наивысших значений для ледников Эльбруса – 590 мг/л [Оледенение Эльбруса, 1968].

Вообще химизм льда, снега и воды рек, вытекающих из-под Эльбрусских ледников, содержит очень важную информацию о фумарольном и тепловом режиме под ледниковой толщей Эльбруса. Несмотря на сравнительно скучные данные об этом, они весьма показательны (табл. 5). Химический состав льда и снега в среднем соответствует хлоридно-сульфатно-натриевому типу с минерализацией 65 мг/л воды. Количество хлора довольно велико – 13 мг/л, и, как свидетельствует В.Л. Блинова, в отдельных образцах достигает 18 мг/л, а в одном из образцов свежевыпавшего снега составило даже 38,29 мг/л. Все это

дало ей основание отнести хлор к продуктам атмосферного происхождения, принесенным «с морем вместе с осадками» [Оледенение Эльбруса, 1968, с. 209]. Странным является то обстоятельство, что никаких хлор в таком количестве атмосферными осадками не приносится.

Воды более 120 пресных источников Приэльбрусья и прилегающих территорий, являющиеся несомненным продуктом атмосферных осадков, содержат хлор в количестве не более 10 мг/л и в среднем около 4 мг/л. По этому параметру воды точно соответствуют среднему содержанию хлора в атмосферных осадках над океаном. Но осадки над океаном относятся к хлоридно-натриевым, а пресные воды естественных источников Приэльбрусья – к гидрокарбонатным с переменным катионным составом, приобретенным в результате взаимодействия с атмосферой воздуха и вмещающими породами. 21 источник пресных вод Приэльбрусья содержат хлор в количестве 10–15 мг/л. И эти воды тоже относятся к гидрокарбонатным с переменным составом катионов. Дальнейшее обогащение вод пресных источников хлором до 20–60 мг/л (их насчитывается всего 9) происходит с увеличением сульфатов в соответствии с составом и типом вмещающих их пород. Это обычно песчаники юры или карбона с заметным сульфидным обогащением. Таким образом, из 152 обследованных пресных источников Приэльбрусья воды 122 относят-

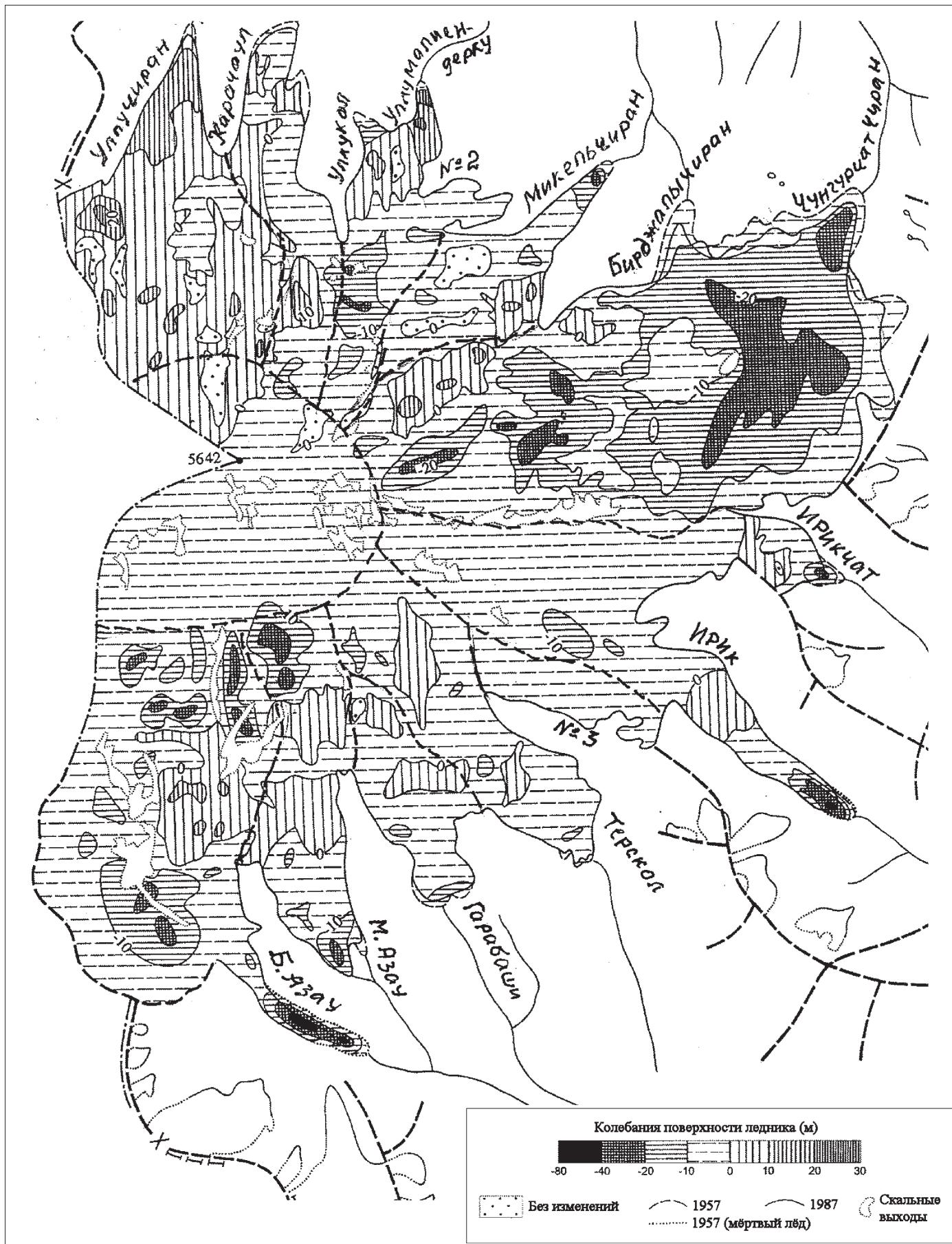


Рис. 11. Изменение ледников Эльбруса за период 1957–1987 гг. (составил Е.А. Золотарев)
[Природные процессы..., 2004] с нашими добавлениями

Таблица 5. Химический анализ льда, снега и речной воды Эльбруса [Оледенение Эльбруса, 1968]

Ионы	Лед и снег, ледники Гарабаши, Ирик			Речная вода, реки Гарабаши, Терскол, Ирик		
	Среднее из 4 анализов			Среднее из 3 анализов		
	мг/л	мг-экв./л	экв.%	мг/л	мг-экв./л	экв.%
Na+K	28,81	1,253	88,6	71,45	3,107	89,5
Ca	2,31	0,116	8,2	4,31	0,216	6,2
Mg	0,57	0,045	3,2	1,79	0,149	4,3
Сумма	31,69	1,414	100,0	77,55	3,472	100,0
Cl	12,96	0,370	48,9	10,53	0,235	13,8
SO ₄	11,83	0,246	32,6	52,28	1,074	63,2
HCO ₃	8,51	0,140	18,5	22,57	0,390	23,0
Сумма	33,30	0,756	100,0	85,38	1,699	100,0
Общая минерализация	64,99			162,93		

ся к наименее измененным атмосферными осадками, более всего соответствующим среднему типу атмосферных осадков этого региона.

Можно предположить, что Эльбрус не является каким-то особым исключением и в виде атмосферных осадков хлор поступает на его поверхность в среднем в количестве 4 мг/л, а содержащиеся в таблице 5 данные (12,96 мг/л) скорее всего относятся к частному случаю. Тогда становится объяснимым и феномен меньшего, чем в этом частном случае, содержания хлора в водах рек, изливающихся из-под ледников (10,53 мг/л). Кстати, в воде реки Баксан, которая питается талыми водами не только от Эльбруссских водотоков, но главным образом от иных источников, содержание хлора много меньше (1,4 мг/л), как, впрочем, и в других реках Северного Кавказа (2,2–8,1 мг/л), чем в эльбруссских водотоках.

Следовательно, повышенные содержания хлора в эльбруссских ледниках едва ли возможно связать с привносом его атмосферными осадками морского происхождения. Этому противоречат и характерные коэффициенты. Так для вод морского генезиса отношение ионов натрия к хлору составляет 0,85, магния к кальцию – 5,6. На Эльбрусе эти отношения совершенно иные, свойственные континентальному типу вод: натрий/хлор – 3,38 (лед и снег), 13,22 (воды рек) и магний/кальций – 0,39 (лед и снег), 0,69 (воды рек).

Высокое содержание хлора в водах эльбруссских рек мы связываем с воздействием на них и подошву ледников глубинных эманаций, так как заимствоваться из пород кристаллического фундамента или вулканических пород хлор в таком количестве и, главное, соотношении с другими химическими компонентами не может. Наши опыты взаимодействия воды с теми и другими породами [Масуренков и др., 1965] обнаружили существенное отличие водорасстворимого комплекса этих пород и вод эльбруссских рек (табл. 6, рис. 12). Различия состоят в минерали-

зации и типе вод: воды эльбруссских ледников и рек значительно более хлоридны, сульфатны, обогащены щелочами и более минерализованы. О происхождении сульфатов во льду и реках Эльбруса расхождений во мнениях, по-видимому, нет. Это воздействие на эльбруссский ледяной панцирь и талые воды его подошвы глубинных эманаций. Иными способами обогатить ледниковую толщу и воду ее подошвы до концентраций в десятки и сотни миллиграммов на литр, повидимому, невозможно. Следы присутствия сульфатов в конденсате водяных паров, отобранных на высоте около 5500 м в гротах фирнового покрова западного склона восточной вершины Эльбруса были обнаружены нами в августе 1961 года в количестве 150 мг/л [Масуренков, Пантелеев, 1962]. При отрицательной температуре воздуха вне гротов на поверхности фирнового поля ($-3\text{--}4^{\circ}\text{C}$) внутри гротов, воронок и лабиринтов она составляла от $+15^{\circ}\text{C}$ до $+18^{\circ}\text{C}$. Содержание водяных паров в отобранных пробах в большинстве случаев соответствовало их упругости при данной температуре. Однако две пробы газа были резко пересыщены паром (25,9 и 46,3 мг/л) в то время как плотность насыщенного пара при той же температуре составляет соответственно 12,8 и 15,0 мг/л. Такое отсутствие межфазного равновесия указывает на достаточно резкое охлаждение газа вблизи от выхода его на поверхность [Масуренков и др., 1965].

Присутствие подобных тепловых, газовых и гидротермальных аномалий под ледяным покровом вулкана можно считать не только возможным, но и установленным, что, в частности, иллюстрирует приведенная выше фотография (рис. 9). По свидетельству В.П. Некрасова и ряда других альпинистов аналогичные каналы, колодцы, гроты с выделяющимся из них теплом и газом либо с сернистым, либо сероводородным запахом на Эльбруссских ледниках встречаются нередко. Эти термо- и газопроявления могут быть

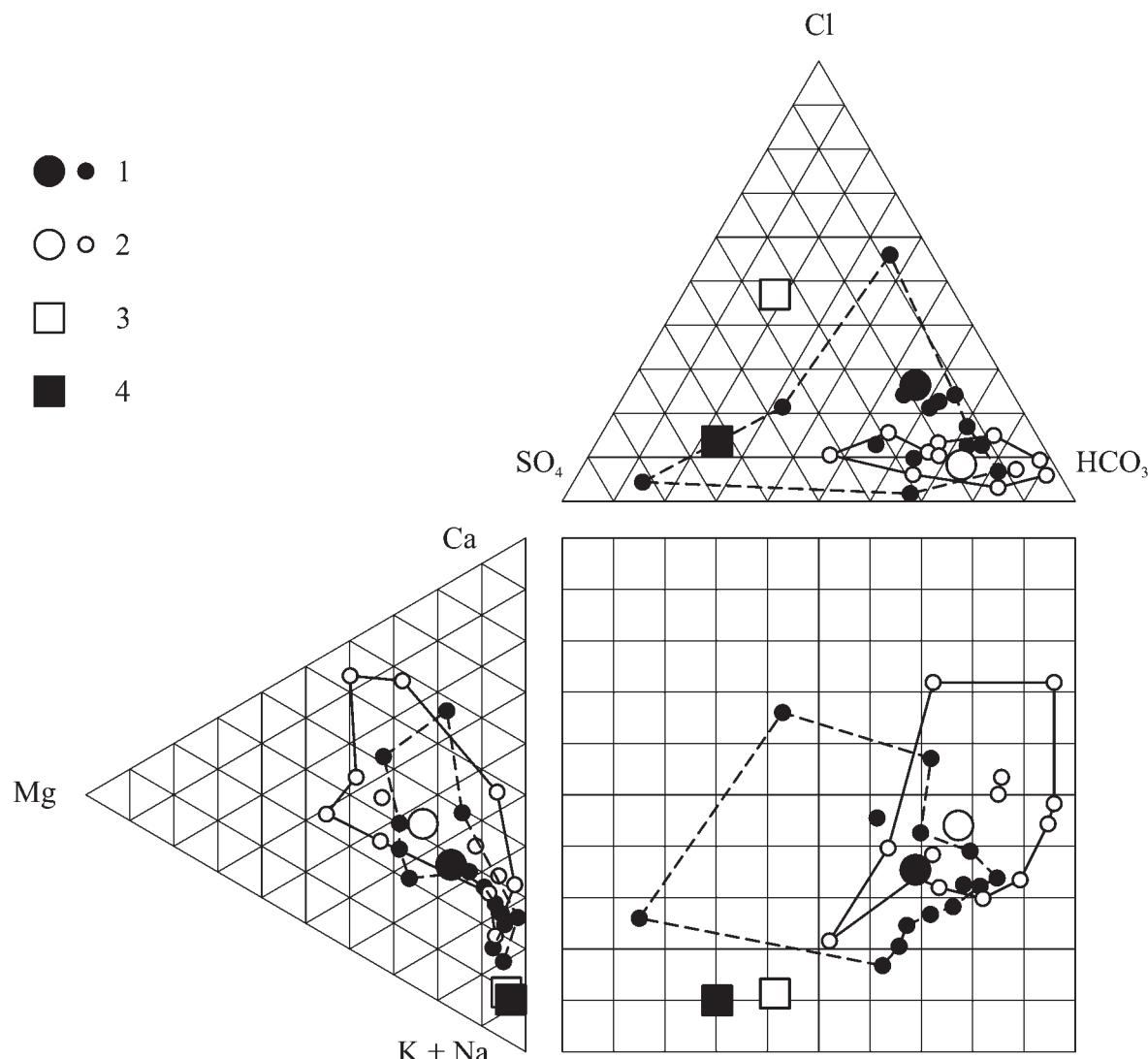


Рис. 12. Диаграмма химического состава водорастворимого комплекса вулканических пород Эльбруса, кристаллических пород его фундамента, льда и снега его ледников и воды рек, питающихся его ледниками (из [Масуренков и др., 1965] с добавлениями). 1 – лавы Эльбруса, в том числе среднее значение; 2 – породы фундамента, в том числе среднее значение; 3 – ледники, среднее значение; 4 – реки, среднее значение

Таблица 6. Химический состав водных вытяжек из вулканических пород Эльбруса и кристаллических пород фундамента вулкана [Масуренков и др., 1965]

Ионы	Вулканиты Эльбруса			Породы кристаллического фундамента		
	Среднее из 13 анализов			Среднее из 13 анализов		
	мг/л	мг-экв./л	экв. %	мг/л	мг-экв./л	экв. %
Na+K	10,0	0,435	56,7	6,8	0,296	44,7
Ca	4,3	0,215	28,0	4,5	0,225	33,9
Mg	1,4	0,117	15,3	1,7	0,142	21,4
Сумма	15,7	0,767	100,0	13,0	0,663	100,0
CL	6,2	0,177	23,1	2,4	0,069	10,4
SO ₄	7,0	0,146	19,1	4,8	0,100	15,1
HCO ₃	27,0	0,443	57,8	30,1	0,493	74,5
Сумма	40,2	0,766	100,0	37,3	0,662	100,0
Общая минерализация	55,9			50,3		

подобны и окружающим Эльбрус некоторым источникам углекислых минеральных вод.

Расположенные в непосредственной близости от вулкана (у его подножий) источники минеральных вод можно разделить на три группы по объему выносимого ими тепла и хлора.

Первая, самая значительная, представлена источниками, которые выносят на поверхность значительное количество тепла и хлора. Это известные источники Джилы-су или Тохтар-нарзан (№ 16 – нумерация источников здесь и далее по «Углекислые минеральные воды...», 1963) и так называемый Холодный нарзан (№ 17) на р. Битюк-Тюбе у северо-западных подножий Эльбруса, выносящие хлора соответственно 7,8 и 5,0 кг/сутки. Их температура на поверхности по разным данным составляет от 15,2 °С до 21 °С. При пересчете (методика изложена в [Масуренков и др., 1965; Масуренков и др., 2010]) на состояние источников до поверхностного разбавления талыми ледниковыми водами приведенная температура составила 34–37 °С. К этой группе относится и Малкинские источники Джилы-су (№ 72, 73, 74) у северного подножия Эльбруса. Последний из них является холодным после поверхностного разбавления, но приведенная температура равна 39 °С, а количество выносимого хлора составляет 5 кг/сутки. Рекордным по выносу хлора является источник под № 125, расположенный в группе источников Баксан-бashi на правом берегу р. Баксан в 7 км выше устья р. Адыл-су (юго-восточное подножие Эльбруса). Его приведенная температура равна 31 °С, а вынос хлора составляет 48,2 кг/сутки.

Вторую группу может охарактеризовать источник Чучкурский травертиновый (№ 41), который при низкой температуре выносит немалое количество хлора, а именно 7,45 кг/сутки.

Представителем третьей группы служит Терскольский источник (№ 122) – южное подножие Эльбруса. Выносит он ничтожное количество хлора, но имеет высокую приведенную температуру, равную 103 °С.

Действуя в течение тысячелетий эти и подобные им источники, возможно, присутствующие под ледниковыми покровами Эльбруса, способны к существенным преобразованиям в термическом режиме и химизме ледников.

Таким образом, таяние и формирование химического состава эльбруссских ледников осуществляется при существенной роли термического и флюидного режима вулкана. Динамика оледенения и гидрологического режима Эльбруса и мониторинг гидрогеохимических превращений в системе лед – вода – газ содержат информацию о флюидно-магматическом состоянии недр и прогнозе извержений.

ЛИТЕРАТУРА

Масуренков Ю.П. Плотность теплового потока и глубина залегания магматического очага под вулканом Эльбрус// Бюл. вулканологических станций. 1971. № 47. С. 79–82.

Масуренков Ю.П., Клименко А.И., Пахомов С.И. Эволюция и современное состояние вулкана Эльбрус // Четвертичный вулканизм некоторых районов СССР. М.: Наука, 1965. С.57–78.

Масуренков Ю.П., Пантелеев И.Я. Современная деятельность вулкана Эльбрус // Докл. АН СССР. 1962. Т. 142, № 6. С. 1369–1371.

Масуренков Ю.П., Собисевич А.Л., Комкова Л.А., Лавёрова Н.И. Флюидно-магматические системы Северного Кавказа. М.: ИФЗ РАН, 2010. 280 с.

Масуренков Ю.П., Собисевич А.Л., Лиходеев Д.В., Шевченко А.В. Тепловые аномалии Северного Кавказа // Докл. РАН. 2009. Т. 428, № 5. С. 667–670.

Михаленко В.Н., Кутузов С.С., Лаврентьев И.И., Кунахович М.Г., Томпсон Л.Г. Исследования западного ледникового плато Эльбруса: результаты и перспективы // Материалы гляциологических исследований 2006. Вып. 99, С. 185–190.

Михаленко В.Н., Кутузов С.С., Нагорнов О.В., Тюфлин С.А., Лаврентьев И.И., Марченко С.А., Окопный В.И. Стратиграфическое строение и температурный режим фирново-ледяной толщи на западном плато эльбруса // Статья помещена в настоящем сборнике.

Оледенение Эльбруса / Под ред. Тушинского Г.К. М.: Изд-во МГУ, 1968. 345 с.

Природные процессы на территории Кабардино-Балкарии / Под ред. акад. Н.П. Лавёрова. М.: ИГЕМ РАН, 2004. 438 с.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ю.Г. Гатинский, Д.В. Рундквист, Г.Л. Владова, Т.В. Прохорова</i> СЕЙСМО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ГЛАВНЕЙШИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ РОССИИ И БЛИЖНЕГО ЗАРУБЕЖЬЯ	13
<i>В.И. Осипов, Н.И. Фролова, С.П. Сущев, В.И. Ларионов</i> ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО И ПРИРОДНОГО РИСКА ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	28
<i>В.И. Величкин, Б.П. Власов, М.В. Шумилин</i> ОСНОВНЫЕ ПРОМЫШЛЕННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЫВШЕГО СССР И РОССИИ	49
<i>С.А. Дмитриев, В.И. Величкин, Б.И. Омельяненко</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ЖИДКИХ ОТХОДОВ НИЗКОГО И СРЕДНЕГО УРОВНЕЙ РАДИОАКТИВНОСТИ	64
<i>В.И. Величкин, В.И. Мальковский, Н.Н. Тарасов, Ю.П. Диков</i> АНАЛИЗ УСЛОВИЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ В РАЙОНЕ ОЗЕРА КАРАЧАЙ (ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ)	77
<i>Б.И. Омельяненко, В.И. Величкин, С.В. Юдинцев</i> ПОВЕДЕНИЕ АКТИНИДОВ В УСЛОВИЯХ ДОЛГОСРОЧНОГО ХРАНЕНИЯ И ЗАХОРОНЕНИЯ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА	86
<i>С.В. Юдинцев, Б.И. Омельяненко</i> ГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ИЗОЛЯЦИИ ТЕХНЕЦИЯ	99
<i>И.Н. Солодов, А.К. Лисицын</i> ПОЛИЭЛЕМЕНТНЫЕ ЭКЗОГЕННЫЕ ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРАНА: ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ И МЕТАЛЛЫ, ИЗВЛЕКАЕМЫЕ СЕРНОКИСЛОТНЫМ ПОДЗЕМНЫМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕМ	109
<i>В.А. Петров, В.В. Полуэктов, Р.М. Насимов, А.А. Бурмистров, С.И. Щукин, Й. Хаммер</i> ИЗУЧЕНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА УРАНОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ В ГРАНИТАХ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ОЯТ	124
<i>В.М. Котляков, Л.Н. Васильев, М.Ю. Москалевский</i> БАЛАНС МАССЫ АНТАРКТИЧЕСКОГО ЛЁДНИКОВОГО ПОКРОВА	139

<i>Ю.Я. Мачерет, А.Ф. Глазовский, И.И. Лаврентьев</i> ВОДА В ПОЛИТЕРМИЧЕСКИХ И ТЕПЛЫХ ЛЕДНИКАХ	152
<i>В.Н. Михаленко, С.С. Кутузов, О.В. Нагорнов, С.А. Тюфлин, И.И. Лаврентьев, С.А. Марченко, В.И. Окопный</i> СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ФИРНОВО-ЛЕДЯНОЙ ТОЛЩИ НА ЗАПАДНОМ ПЛАТО ЭЛЬБРУСА	180
<i>Ю.П. Масуренков, А.Л. Собисевич</i> ЭЛЬБРУССКОЕ ОЛЕДЕНЕНИЕ – ИНДИКАТОР ГЕОТЕРМИЧЕСКОГО И ФЛЮИДНОГО СОСТОЯНИЯ ВУЛКАНА	189
<i>А.Н. Хименков, Г.З. Перльштейн, Д.О. Сергеев, А.Н. Власов, В.П. Мерзляков, Ю.В. Халилова</i> ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ РИСКА ОПАСНЫХ ПРОЦЕССОВ В КРИОЛИТОЗОНЕ	205
<i>Е.В. Коротеева, Е.И. Вейсберг, Н.Б. Куянцева, С.А. Лесина</i> ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДИНАМИКУ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ВОСТОЧНЫХ ПРЕДГОРИЙ ЮЖНОГО УРАЛА	213
<i>А.Ю. Кудеярова</i> ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНЫХ СОРБЦИОННЫХ БАРЬЕРОВ ПРИ ЗАФОСФАЧИВАНИИ КИСЛЫХ ПОЧВ	223
<i>И.В. Галицкая, И.А. Позднякова, Л.С. Томс</i> МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ПРОГНОЗА И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОПРИРОДНЫМ ГЕОХИМИЧЕСКИМ РИСКОМ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ	239
<i>Л.С. Кучмент, А.Н. Гельфан</i> СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ И ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ МАШТАБОВ И РИСКА КАТАСТРОФИЧЕСКИХ НАВОДНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА	252
<i>В.В. Адушкин, П.П. Фирстов</i> ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛОЗИВНЫХ ПРОЦЕССОВ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ И ИХ ПРОЯВЛЕНИЕ В ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ В АТМОСФЕРЕ	264
<i>А.Ю. Озеров</i> МЕХАНИЗМ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ФОНТАНИРОВАНИЯ БАЗАЛЬТОВЫХ ВУЛКАНОВ (ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ И ПРИРОДНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ)	279
<i>О.В. Руденко, А.Л. Собисевич, Л.Е. Собисевич</i> О ФИЗИКЕ АКУСТИЧЕСКИХ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ И МЕДЛЕННЫХ ВОЛНАХ В ГРАНУЛИРОВАННОЙ ФЛЮИДОНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ	299
<i>В.Н. Николаевский</i> ОЧАГ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ – СОБЫТИЯ И ПРЕДВЕСТИКИ УДАРА	316
<i>Б.В. Левин, Г.В. Шевченко, В.М. Кайстренко, Т.Н. Ивельская, Т.К. Пинегина, Н.Г. Разжигаева</i> ПРОБЛЕМА ЦУНАМИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ (ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ АСПЕКТ)	332
<i>В.А. Семенов, И.И. Мохов, М. Латиф</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В РЕГИОНАХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ	355

<i>Ю.Н. Авсюк, А.Л. Собисевич</i>	
ПРИЛИВНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЯ – ЛУНА – СОЛНЦЕ	
И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЗЕМЛИ	373
<i>В.Ч. Хон, И.И. Мохов</i>	
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА К ИЗМЕНЕНИЮ ОРБИТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ	
И КОНЦЕНТРАЦИИ АНТРОПОГЕННЫХ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ	392
<i>В.М. Григорьев, Л.В. Ермакова, А.В. Мордвинов, Ю.А. Наговицын, А.Г. Тлатов,</i>	
<i>В.Г. Иванов, Е.В. Милецкий, Е.Ю. Наговицына, А.И. Хлыстова, С.А. Язев</i>	
ВОЗНИКНОВЕНИЕ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА СОЛНЦЕ, ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО ГЛОБАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ	
В 11-ЛЕТНЕМ ЦИКЛЕ И НА ДЛИТЕЛЬНОЙ ШКАЛЕ ВРЕМЕНИ	399
<i>С.И. Сороко, В.П. Рожков, Е.Г. Сергеева, С.С. Бекшаев, С.С. Андреева, И.В. Николаев</i>	
ОСОБЕННОСТИ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ	
И ГЕМОДИНАМИКИ МОЗГА У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ	
В УСЛОВИЯХ ЕВРОПЕЙСКОГО И ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО СЕВЕРА	413

Научное издание

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И КАТАСТРОФЫ

В 2 томах

Том 2

ГЕОЛОГИЯ УРАНА, ГЕОЭКОЛОГИЯ, ГЛЯЦИОЛОГИЯ

*Печатается по решению Научного совета Программы
фундаментальных исследований президиума РАН № 4*

Ответственный составитель д.ф.-м.н. Собисевич Алексей Леонидович

Технический редактор В.И. Горбенко
Компьютерная верстка К.А. Мордвинцев
Корректор С.Б. Суслова

Подписано в печать 05.09.11. Формат 60×90/8
Гарнитура Таймс. Бумага мелованная. Печать офсетная
Усл. печ. л. 54. Тираж 200 экз.

ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН
123995 ГСП-5, Д-242, Москва, ул. Б. Грузинская, 10

Отпечатано в типографии издательства «ПРОБЕЛ 2000»
109544 Москва, ул. Рабочая, 91