

Результаты научных исследований

УДК 551.235+551.21

**О ВЛИЯНИИ ИЗВЕРЖЕНИЙ В КАЛЬДЕРЕ АКАДЕМИИ НАУК  
И ВУЛКАНА КАРЫМСКИЙ 1996-2000 гг. НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ  
(РЕЛЬЕФ, ВОДОЕМЫ, РАСТИТЕЛЬНОСТЬ)**

**В. И. Андреев, Г.А. Карпов, М.А. Магуськин, В.М. Мирошников**

*Институт вулканологии ДВО РАН, 683006, Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийта, 9;  
e-mail: karpovga@kcs.iks.ru*

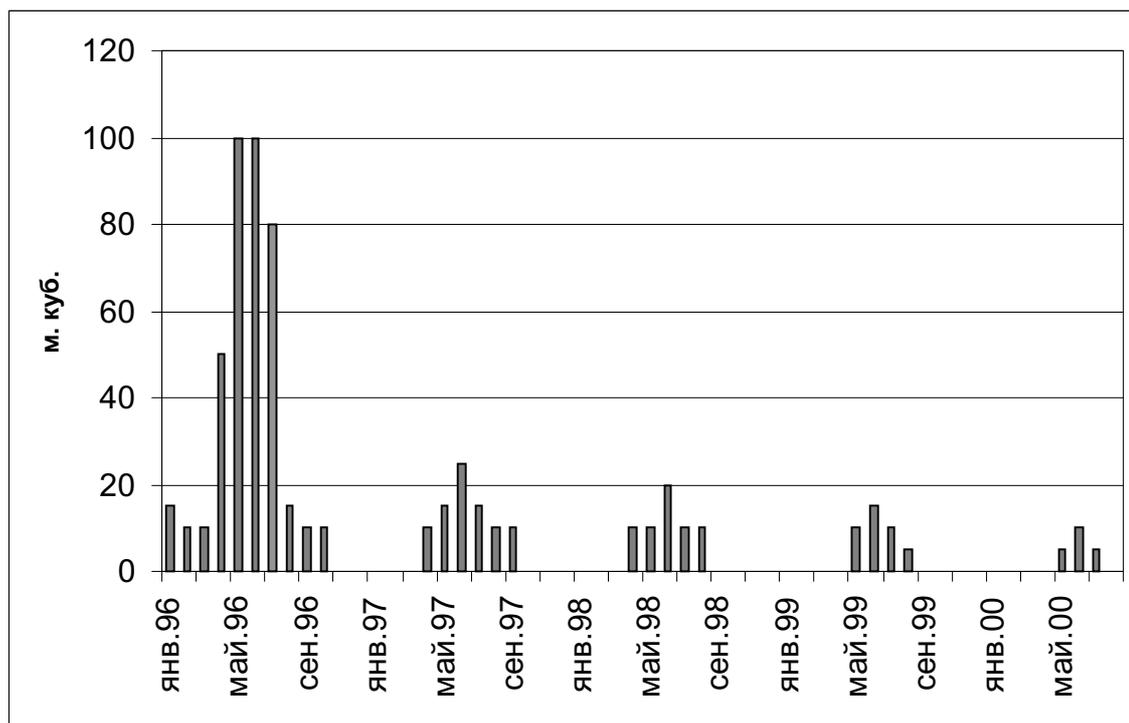
Субаквальное извержение в кальдере Академии Наук, продолжавшееся в течение одного дня, сопровождалось сейсмической активизацией и оползнями, не прекращавшимися несколько лет. Два мощных лахара: первый, сопровождавший извержение, второй, возникший через 4 месяца, вынесли в долину реки Карымской около  $10^6$  м<sup>3</sup> преимущественно тонкого вулканического материала, значительная часть которого отложилась в наиболее широких и пологих частях долины. Переотложение пепла, выпавшего на земную поверхность, продолжалось в течение нескольких лет и приводило в ряде случаев к существенной контрастности в мощности пепла на близко расположенных участках. Небольшие пеплопады, постоянно происходившие здесь и ранее в течение сотен лет, способствовали локальному формированию сравнительно мощных почвенно-пепловых горизонтов. Вследствие деформаций земной поверхности обозначились контрастные зоны, в которых активизировались или ослабли гидротермальные проявления. Рыхлый вулканогенный материал вблизи Карымского вулкана уплотнялся, проявлявшееся наиболее заметно в местах, где было меньше крупных монолитных фрагментов. Толщи литифицированных вулканогенно-осадочных отложений в южном секторе кальдеры вулкана Карымский и отложения гейзеритов средней мощностью ~ 1 м вокруг источников Академии Наук, экранировали и локализовали выходы термальных источников.

**Введение.** Фреато-магматическое извержение, произошедшее в кальдере Академии Наук 02.01.1996 г., было уникальным по грандиозным подводным взрывам, продолжавшимся в течение одних суток, и по интенсивному воздействию на окружающую среду, проявившемуся местами на расстоянии в десятки километров от центра извержения и продолжавшемуся в течение нескольких лет после окончания извержения. В связи с одновременно начавшимся извержением Карымского вулкана, обозначился ряд различных изменений окружающей среды, обусловленных обоими извержениями или одним из них и сопутствующей этим явлениям сейсмотектонической активизацией. Наиболее заметные изменения природной среды, вызванные

извержениями, представляют, очевидно, не только научный, но и практический интерес. Отметим наиболее заметные изменения в порядке уменьшения их значимости.

**ОПОЛЗНИ, ОБВАЛЫ**

Во время извержения и после его окончания в кальдере Академии Наук с начала 1996 г. в радиусе ~ 10 км от центра извержения, на площади ~ 200 км<sup>2</sup> заметно активизировались оползни и обвалы на крутых (20-30°) склонах долин и распадков, занимающих ~ 10% исследованной территории. Эти обрушения захватили около 10% сравнительно крутых склонов. Обрушения (большой частью оползни) захватывали кустарниковую и



**Рис 1.** Гистограмма распределения материала, смещенного оползнями в течение 5 лет. Объемы смещенного материала показаны как качественные оценки. Их минимальные величины означают лишь незначительные подвижки на склонах.

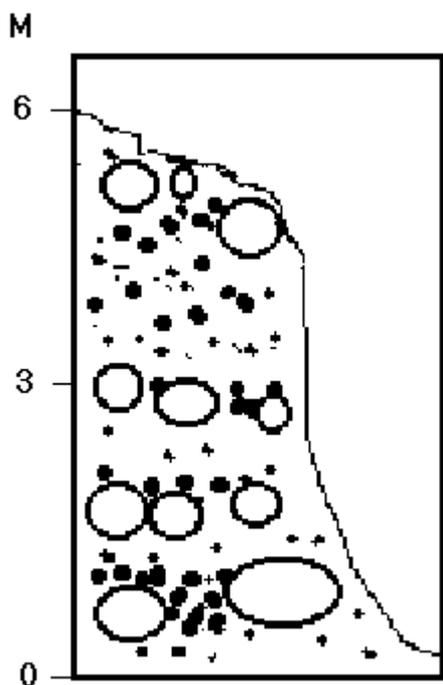
травянистую растительность и вместе с подстилающим грунтом смешали её вниз по склону на расстояние до нескольких десятков метров. В ряде случаев оползни сопровождалась камнепадами и обвалами. Размеры средних оползней по площади составляли первые сотни м<sup>2</sup>, мощность ~ 0,5-1,0 м, объём до 100 м<sup>3</sup>, среднее смещение по высоте - обычно в пределах 100 м, на склонах кальдер местами немного больше. Первые оползни и обвалы были зафиксированы в начале извержения в январе 1996 г. и, возможно, предвещали его. В апреле того же года такие обрушения заметно усилились и достигли максимальной активизации в мае-июне 1996 г., т. е. через четыре месяца после максимума сейсмической активизации (Гордеев и др., 1998). Обрушения рыхлых почвенно-пирокластических образований на склонах продолжались в течение нескольких последующих лет. Причем в холодное время года их практически не было, а с началом теплого времени они возобновлялись, достигая максимумов в июне-июле. За 5 лет, прошедших с начала извержения, общий объём материала, смещенного вниз по склонам, составил ~ 500 м<sup>3</sup> (рис. 1).

Главный практический вывод, сделанный по полученным данным, в том, что смещения грунтов

на склонах продолжаются и после сейсмотектонического события довольно продолжительное время, и могут представлять реальную опасность в течение нескольких лет.

### **ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДВИЖНОГО ВУЛКАНОГЕННОГО МАТЕРИАЛА ФРЕАТО-МАГМАТИЧЕСКОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ**

Во время фреато-магматического извержения в кальдере Академии Наук 02.01.96 г. объём изверженных пород составил не менее  $40 \times 10^6$  м<sup>3</sup> (Федотов, 1997). В северном секторе Карымского озера, расположенного в кальдере Академии Наук, в результате извержения сформировался полуостров Новогодний, примыкающий с севера к центру извержения - кратеру Токарева, южная половина кромки которого находится под водой, а северная часть кромки образует подковообразный залив со слабо возвышающимся берегом. Извержение сопровождалось мощными базисными волнами и лахаром, прошедшим по реке Карымской. В 3 км ниже истока, в месте расширения долины реки Карымской, в южном секторе кальдеры вулкана Карымский,- в так



**Рис. 2.** Схематический разрез отложений фреатомагматического извержения. Исток р. Карымской, правый борт. Гранулометрический состав изверженного материала в разрезе показан размером условных значков от самых мелких-дресвы, до самых крупных-вулканических бомб.

называемой «котловине», мощность лахара превышала 3 м.

Сформировавшийся во время извержения полуостров Новогодний своей северной частью перекрыл исток вытекающей из Карымского озера реки Карымской, вследствие чего уровень воды озера стал подниматься со скоростью нескольких сантиметров в сутки, а русло реки на протяжении 3 км вниз от истока стало сухим. Через 4 с лишним месяца 11.05.96 г. над перекрытым в истоке руслом реки возник небольшой ручеек, контролируемый трещиной субмеридианального направления. В течение трех дней его расход был в пределах 10 л/сек, затем, 15.05.96 г. в 13 ч. местного времени, расход ручейка резко возрос и, спустя 3 ч., достиг

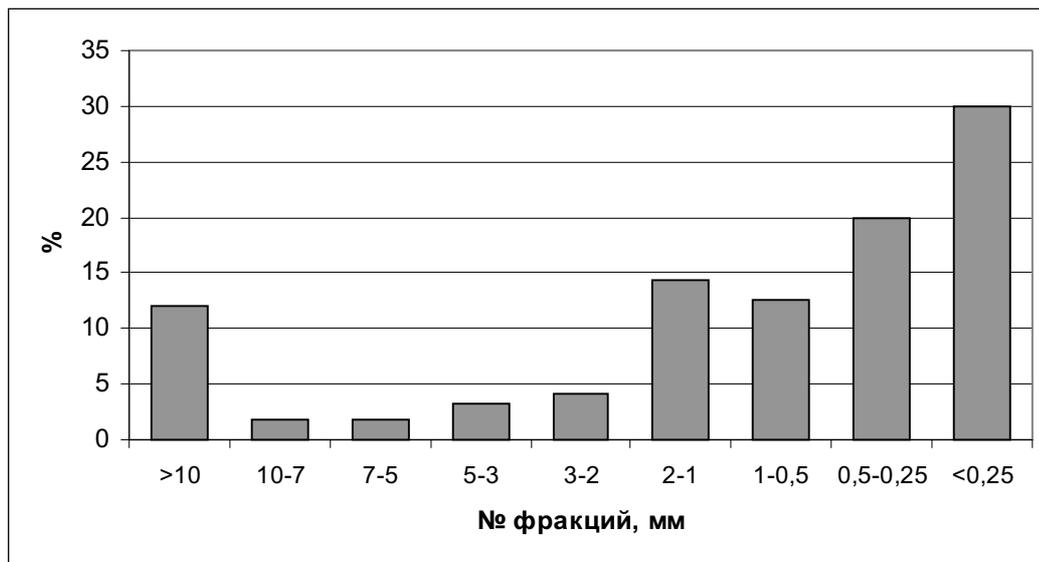
10-12 м<sup>3</sup>/сек. Еще через 5-7 ч. расход реки Карымской в истоке составлял уже не менее 300 м<sup>3</sup>/сек., что сопоставимо с расходом в нижнем течении реки Камчатки, самой большой на полуострове. В течение следующего дня уровень озера, средний диаметр которого составляет 4 км, понизился на 2 м., а в последующие 5 дней ещё на 2, 3 м.. В 3-4 км ниже истока реки Карымской, в котловине, ограниченной ниже по течению сужением долины – прижимом, уровень воды поднялся более чем на 5 м и медленно опускался в течение недели. Через месяц расход в истоке реки Карымской был в 2-3 раза больше обычного в это время года и составлял 4-6 м<sup>3</sup>/сек.

Прорыв естественной плотины в истоке реки Карымской образовал обрывы, в которых обнажился разрез рыхлых отложений фреатомагматического извержения мощностью до 6 м. В этих обрывах обнажались рыхлые породы, сложенные преимущественно дресвой, гравием и галькой. В разрезах наблюдалось ~ 15 слоев с плохо выраженными границами и 4 слоя, вместе с поверхностным, сложенные вулканическими бомбами размером до 1 м, редко больше (рис. 2).

Характерной особенностью пород разреза является дефицит тонких, менее 0.3 мм, фракций. Гранулометрический состав пепла отобранного в 500 м к северу от кратера Токарева 2.05.96 г. из прослая мощностью в 10 см в снежной толще показан на рисунке в таблице 1 и на рисунке 3. Пепел, связанный, очевидно, большей частью с извержением в кальдере Академии Наук, и в меньшей - с извержением в Карымский, отобранный между этими центрами извержений 21.01.96 г. (Муравьев и др. 1997), существенно отличался по гранулометрическому составу от пеплов, извергнутых в Карымский в 1998-2000 г, а также ранее в 1962-65 гг. (Иванов, 1970), как и от типичных пеплов Ключевской группы вулканов, (Гущенко, 1965). В пеплах перечисленных наземных извержений, в том числе в Карымский, доля тонких фракций составляла не менее 50 %, а в пепле извержения в кальдере Академии Наук тонких фракций было значительно меньше- 30% (табл. 1)

**Таблица 1.** Гранулометрический состав пепла, отобранного 02.05.96 г в 500 м к северу от центра извержения в кальдере Академии Наук.

Параметр	Фракции, мм								
	> 10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	< 0.25
Размер, мм									
Содержание, %	12.1	1.8	1.8	3.2	4.1	14.4	12.6	20	30



**Рис. 3.** График гранулометрического состава пепла, отобранного в кальдере Академии Наук 2.05.1996 г., в 500 м к северу от кратера Токарева в снежной толще из прослоя мощностью 10 см.

По С. А. Федотову (1997), извержение в кальдере Академии Наук близко к суртсейскому типу. Очевидно, при извержениях такого типа, в частности при извержении в кальдере Академии Наук, значительная часть тонкого материала задерживалась в воде.

В 3-4 км ниже истока реки Карымской, в котловине, на площади (800 x 400 м) после схода майского 1996 г. лахара остался слой вязких отложений мощностью не менее 1 м. Русло реки Карымской в 200 м к северо – востоку от конуса Лагерного сместилось на несколько десятков метров



**Рис. 4.** Протяженный вал, отложенный лахарами 1996 г. в устье реки Карымской. Июль, 2000 г.

**Таблица 2.** Распределение подвижного материала на участках длиной по 6 км в долине реки Карымской, протяженностью 36 км.

Параметр	Объем млн. м <sup>3</sup>					
	2	1	1	0.5	0.5	5
Удаленность участков от истока реки, км	0 – 6	6 – 12	12 - 18	18 – 24	24 - 30	30 – 36

к северо – западу на протяжении 400 м. Возникла протока от реки Карымской к озеру Теплому, вследствие чего это озеро стало проточным, а в котловине образовался остров размером 200 х 400 м (рис. 4). Максимальная мощность вязких отложений, оставленных майским лахаром в русле реки Карымской, достигала 2 м, и фактически русло на

Во время прохождения лахаров скорость течения в верховьях р. Карымской достигала 3-5 м/сек, возможно, и больше. Весьма вероятно, на пологих и относительно широких участках долины, также как и в котловине, скорость течения уменьшалась, отлагались более или менее



**Рис. 5.** Линза фирна, разделяющая отложения январского и майского лахаров 1996 г. Июль, 2000 г.

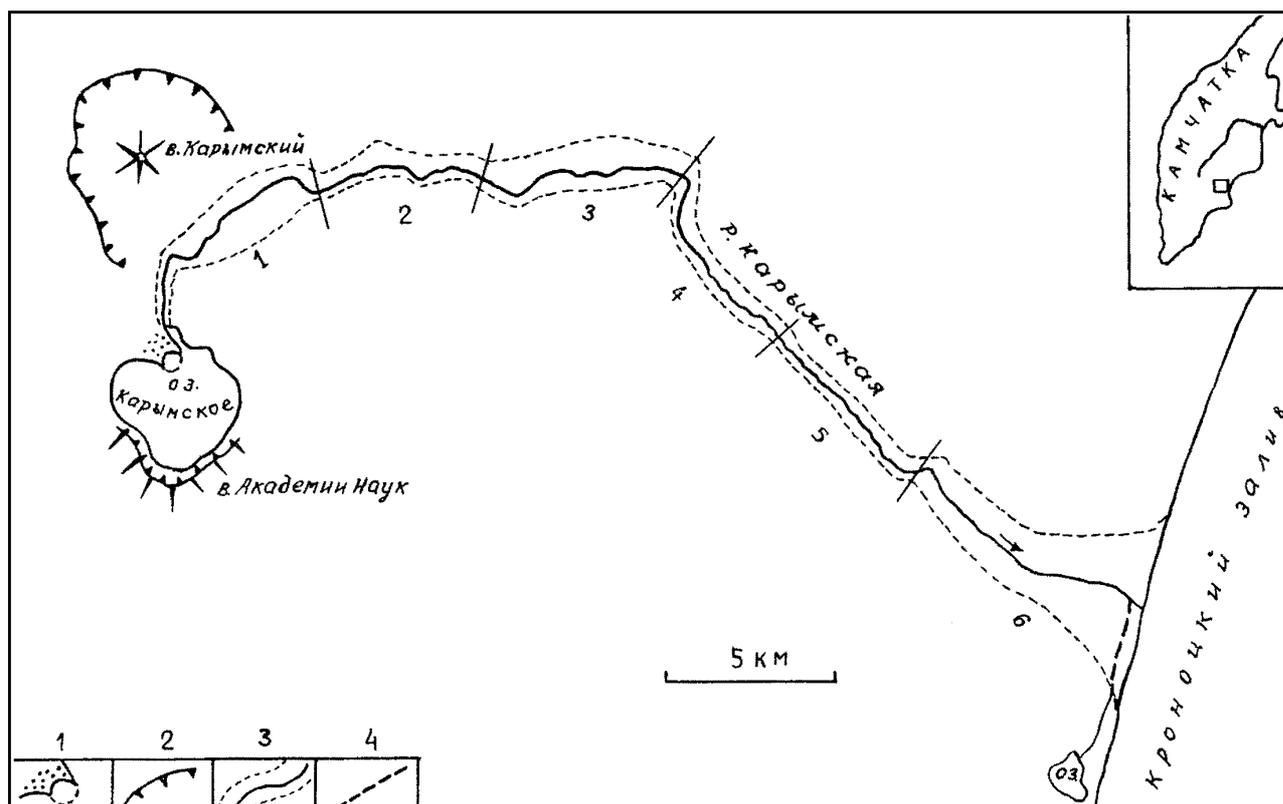
протяжении 400 м было перекрыто. Вследствие чего новое русло сместилось от своего первоначального положения.

Кроме тонкой взвеси, образовавшей мощный слой вязких отложений, лахаром были принесены многочисленные обломки легкой пористой пемзы, большей частью окатанные, имеющие форму гальки и валунов размером до 1 м. Объем взвеси, принесенной в котловину майским лахаром, составил не менее 1 млн. м<sup>3</sup>. Естественно, еще большая часть взвеси была унесена дальше, вниз по течению.

значительные объемы осадков, и изменялось положение русла реки.

По наблюдениям в июле 2000 г., в приустьевой части положение русла реки существенно изменилось, по сравнению с показанным на топографической карте масштаба 1:100000. Река спрямила русло, а лиман, показанный на карте, превратился в протяженный залив.

На левом берегу, в 300 м выше устья, образовался вал высотой до 4 метров и протяженностью ~ 150 м, с пологими северным, восточным, западным и



**Рис. 6.** Схема распределения отложений лахаров на участках долины реки Карымской. 1-центр извержения-Кратер Токарева, 2-границы кальдер, 3-границы, показывающие ширину долины реки, 4-Бывшее русло реки в устьевой части, показанное на топографической карте масштаба 1: 100000

**Таблица 3.** Распределение тонких фракций пепла в прибрежной зоне у северного берега озера Карымское. Измерения 1998-99 гг.

Параметр	Расстояние от берега, м							
	+3	+2	-2	-4	-6	-8	-10	-200
Высота относительно уреза воды, м	+0.5	+0.3	-0.3	-0.6	-1.0	-1.4	-1.8	-55
Мощность пепла, мм	2	2	17	21	26	29	24	5

обрывистым южным, обращенным к реке, склоном. На момент наблюдений этот обрывистый склон был весьма неустойчив и обваливался в воду при подходе к нему (рис. 4). В обрыве, в 1.2 м выше уреза воды, обнажился слой фирна, мощностью в 0.4 м и протяженностью в 4 м (рис. 5). На поверхности вала находились хорошо окатанные пемзовые валуны и галька, размером до 0.1 м, подобные принесенным майским лахаром в котловину, расположенную в 3 км ниже истока р. Карымской. Очевидно, вал представляет собой отложения лахаров, а линза фирна, - остатки захороненного в 1996 г. снежника, медленно тающего в течение 4 лет и всё это время являвшегося границей раздела

между первым январским и вторым майским лахарами.

Отложения, слагающие вал, представляют собой сортированный песок, средними окатанными фрагментами пемзы, и более тонкий материал, без признаков слоистости. Общее количество подвижного материала, преимущественно взвеси, вынесенной январским и майским лахарами, по нашей оценке, составило  $\sim 10 \times 10^6 \text{ м}^3$ . В значительной мере, в эту взвесь ушел тонкий пепел, отсутствующий в разрезе и на поверхности полуострова Новогоднего. Его отложение в долине реки Карымской определялось скоростью водного потока и конфигурацией ложа долины.



**Рис 7.** Гистограмма распределения подвижного материала, отложенного лахарами, в долине реки Карымской. Оценка объемов сделана с учетом полевых измерений и топографических параметров долины реки.

полевых и лабораторных определений рН воды в озере Карымском и соответственно в выте-

Для удобства подсчета отложений лахаров, долина реки Карымской, общей протяженностью ~ 36 км, разбита на 6 приблизительно равных отрезков, характеризующихся определенными геоморфологическими параметрами, обусловившими распределение отложенного материала (табл. 2, рис. 6).

При выходе лахаров в устьевую часть, на уровень лимана, их скорость резко снизилась, вследствие чего и возник протяженный вал. Причем, судя по неустойчивому положению вала в 2000 г., после схода январского и майского лахаров в 1996 г. активное преобразование рельефа в устье реки Карымской продолжается и сейчас, по прошествии 5 лет после схода лахаров. Значительная часть тонкого материала была вынесена в океан и образовала прибрежную отмель – банку, исследование и документация которой, вероятно, найдет отражение в лоции. Вероятное распределение подвижного материала (взвеси), вынесенного лахарами из кальдеры Академии Наук и отложенного в долине реки Карымской, показано в табл. 2 и на графике (рис. 7).

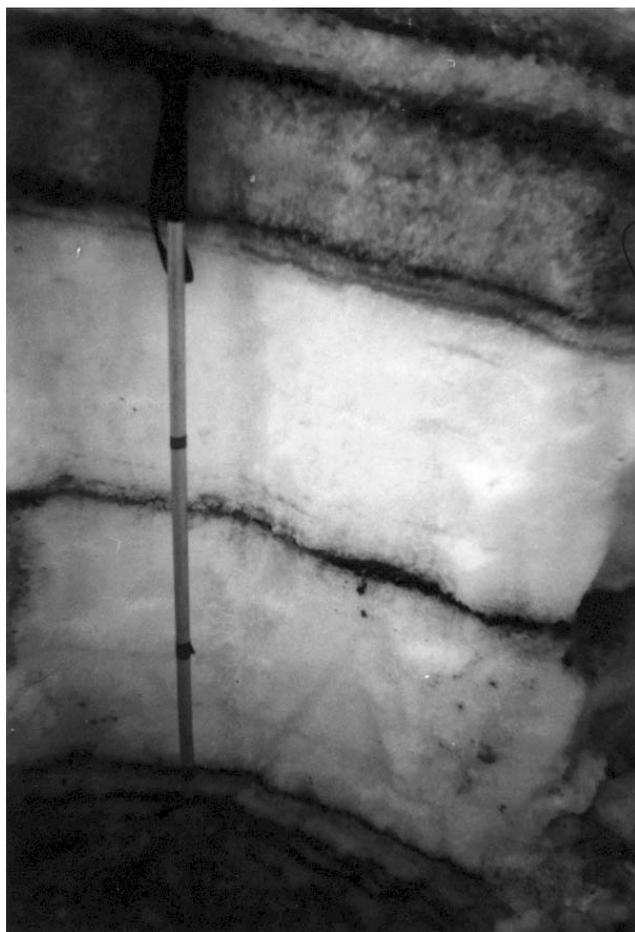
Какая-то часть минеральной нагрузки была растворена в водах лахаров, а после их схода - в водах реки. По данным предыдущих исследований (Вакин и др., 1998), в июле 1996 г. через 2 месяца после майского лахара, на выходе реки Карымской из котловины минерализация была 1.4 г/л, при рН ~ 4. При смешении этой кислой воды с морской большая часть минеральной нагрузки, вероятно, выпадала в осадок, подобно тому, как это происходило в устье р. Юрьевой, о. Парамушир (Зеленов, 1972). Причем, растворенный материал продолжал поступать в реку Карымскую и осаждался в её устьевой части в течение нескольких лет и после схода лахаров. По данным

кающей из него р. Карымской, не превышал 4-5. Можно оценить количество растворенного в воде вещества, вынесенного из гидротермальных систем кальдер Академии Наук и вулкана Карымского за 5 лет, в течение которых произошло извержение в кальдере Академии Наук и продолжалось извержение вулкана Карымского. Данные для оценки: средний расход на отметке 597 м 5 м³/сек, минерализация в этом месте (Вакин и др., 1998) - ~ 1.3 г/л, отсюда следует, что за 5 лет было вынесено ~ 1000000 т растворенных в воде компонентов. Следует подчеркнуть, что эта оценка весьма приближительна и нуждается в ряде поправок.

#### **ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ (И ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ) ПИРОКЛАСТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ИЗВЕРЖЕНИИ КАРЫМСКОГО ВУЛКАНА В 1996-2000 ГГ.**

Одним из критерием оценки объемов взрывных продуктов является прирост высоты вулканического конуса. (Андреев и др., 1999). Во время последнего извержения 1996 г. максимальная скорость увеличения высоты Карымского вулкана была зафиксирована с мая по октябрь 1998 года и составила 10.8 м. Этот прирост высоты (или мощности) был обусловлен отложением преимущественно рыхлого пирокластического материала, большая часть которого выпадала на конус. От центра к периферии мощность и размеры фрагментов рыхлого изверженного материала уменьшались.

У подножия конуса вулкана прирост рыхлого пирокластического материала: бомб, обломков, шлаков, пепла во время последнего извержения,



**Рис. 8.** Прослойки пепла в снежной толще, в 3,6 км к югу от вулкана Карымский.

начавшегося в 1996 г., не превышал по мощности 0.5-1.0 м. в год. За пределами кальдеры Карымского вулкана отлагался исключительно пепел. Весной, в снежной толще, можно было видеть более или менее равномерно распределенные прослойки пепла (рис. 8). В апреле – мае 1999 г. в котловине, таких прослоев было 12. Общее количество пепла в снегу, на расстоянии 3.6 км к югу от центра извержения, в мае 1999 г. составило  $3 \text{ кг/м}^2$ , а в 10 км, у источников Академии Наук соответственно  $0.5 \text{ кг/м}^2$ . В мае 2000 г. в тех же точках было соответственно 1 и  $0.2 \text{ кг/м}^2$ .

Принимая во внимание продолжительность снежного периода в исследуемом районе (октябрь – май), можно считать, что в радиусе  $\sim 3 \text{ км}$  от Карымского вулкана, за пределами его кальдеры, при активном извержении за год выпадало примерно  $5-10 \text{ кг/м}^2$  пепла, что при объемном весе пепла  $1.5 \text{ г/см}^3$  составляло мощность в пределах 3-6 мм в год.

В ряде случаев подвижный рыхлый материал после извержения и первого выпадения на земную поверхность продолжал перемещаться. На склонах

перемещение происходило, в основном, под действием силы тяжести: в виде обвалов, камнепадов, осыпей. Захороненные продуктами извержений прослойки снега и фирна способствовали образованию оползней, вызывая в ряде случаев солифлюкцию.

Ветер активно перемещал и дифференцировал подвижный материал во время извержения, а также какое-то время после его окончания. Этот процесс весьма наглядно проявился на полуострове Новогоднем. Как отмечалось выше, тонкие фракции извержения в кальдере Академии Наук были в значительной мере вымыты и вынесены паводками весной 1996 г. В то же время, Карымский вулкан продолжал извергаться, и пепел постоянно выпадал на полуостров Новогодний с интенсивностью первых  $\text{кг/м}^2$  (или мощностью в первые мм в год) в течение последующих 4 лет.

В июле 1998 г. на поверхности Новогоднего полуострова тонкий пепел уже практически отсутствовал или был снесен в глубокие трещины и узкие промежутки между более крупными фрагментами. В то же время, в прибрежной зоне озера на глубине 0.5 – 2.0 м тонкий пепел сформировал вязкий слой мощностью до 10 см. Ловушки - накопители, установленные на берегу и на дне озера, показали, что в течение года с июля 1998 г. по июль 1999 г. в прибрежной зоне озера, на глубине 0.5-1.5 м, на расстоянии 1-10 м от берега пепла накопилось значительно больше, чем на берегу на расстоянии 1-10 м от уреза воды. При этом, максимальная мощность пепла была на глубине 1.3-1.5 м (на расстоянии в 5-7 м от берега). С увеличением глубины и расстояния от берега мощность пепла уменьшалась. В центральной части кратера Токарева, на глубине  $\sim 50 \text{ м}$  в 200 м от берега, за год пепла скопилось всего в 1.5-2 раза больше, чем на берегу.

В течение 6 лет после извержения в кальдере Академии Наук уровень озера продолжал снижаться. Осенью 2002 г. на северном берегу озера в 2-3 м. выше уреза воды обнажилась протяженная зона шириной  $\sim 5 \text{ м}$ , сложенная тонким пеплом.

Распределение тонких фракций пепла в прибрежной зоне Карымского озера показано в таблице 3 и на рис 9.

Из приведенных данных следует, что перемещение пепла в ряде случаев продолжается после его первого выпадения на земную поверхность. Мощность пепла, в связи с его перемещением и переотложением после извержения, может варьировать более, чем на порядок, например, в водоеме и на его берегу.



**Рис. 9.** Изменение мощности пепла при удалении от берега озера. В таблице 2 и на рисунке знак “+” означает превышение над урезом воды озера при удалении от озера на берег, знак “-” означает до 2 м глубину, а далее знак - означает расстояние от берега к центру озера.

Полученные данные могут быть использованы при реконструкции палеоизвержений, мощность отложений которых, как следует из наших данных, весьма заметно варьирует в связи с различными условиями отложения и переотложения, показанными на примере Карымского озера и его берегов.

#### ИЗМЕНЕНИЕ РЕЖИМА КАРЫМСКИХ ИСТОЧНИКОВ В СВЯЗИ С ИЗВЕРЖЕНИЯМИ 1996 Г.

Ранее высказывались утверждения об изменении режима Карымских термальных источников вследствие отложения лахаров, вызванных извержениями в кальдере Академии Наук (Белоусов и др., 1997).

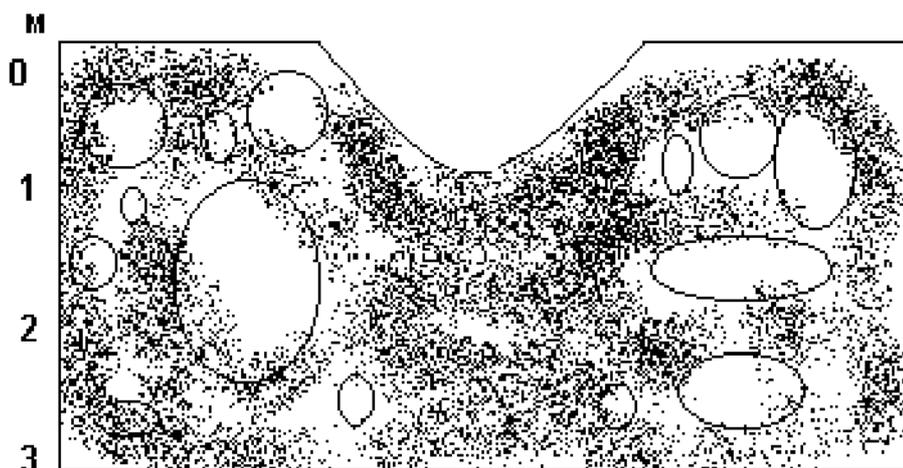
После извержения в кальдере Академии Наук 2.01.96 г. уплотнение, литификация рыхлых, вязких осадков продолжалась в течение последующих лет. При этом, вода выходила из вязкой толщи с образованием множества мелких, иногда теплых источников. Большинство таких источников пересохло в течение 1996 г. В плане некоторые группы новых источников, появившихся в 1996 г. в южной части кальдеры Карымского вулкана часто были расположены прямолинейно, в субмеридианальном направлении (рис.10).

В одном из термальных источников на левом берегу р. Карымской, защищенном от взвеси деревянной постройкой-гидропостом, сохранившимся после двух лахаров, до извержения в течение многих лет стабильно сохранялась температура  $\sim 35^{\circ}\text{C}$ . В апреле – мае 1996 г. температура этого источника изменялась несколько раз от 7 до  $38^{\circ}$ , в 1997 – 1998 гг. по

замерам в июле, октябре  $37-21^{\circ}\text{C}$ , в 1999-2000 гг. в тоже время года  $7-10^{\circ}\text{C}$ .

Остыли также многочисленные источники, расположенные в радиусе  $\sim 20$  м от копированного источника и показанные предыдущими исследователями (Пилипенко, 1989). В нескольких десятках метров к западу и к югу от гидропоста, где режим грифонов с  $T 38-43^{\circ}\text{C}$  сохранился без видимых изменений, возникли новые источники с такими же температурами и дебитом в пределах 1 л/сек. В 100 м к югу от этих грифонов, на правом берегу р. Карымской, в 20 м к северу от устья ручья Гнилая протока в 1997 г. возник новый, сравнительно мощный, с расходом 7 л/сек термальный источник с  $T 39^{\circ}\text{C}$  и ряд источников с  $T 33-35^{\circ}\text{C}$  - в русле ручья Гнилая протока. В начале извержения 1996 г. в озере Тепло прекратил свое существование самый мощный термальный источник с  $T$  до  $45^{\circ}\text{C}$ , бурлящий от обильного выделения газа, и возникло несколько небольших новых источников с  $T 35^{\circ}\text{C}$  в 50 м к югу от этого озера. Этот мощный источник, прекративший свое существование в 1996 г, отличался от остальных мелких термальных источников высоким содержанием радона в фумарольных газах ( $>3000$  Бк/м<sup>3</sup>), варьирующим при изменении режима вулканической активности. (Фирстов, Чирков, 1978). В многочисленных мелких и средних по дебиту термальных источниках как сохранившихся после извержения, так и возникших впервые в южном секторе кальдеры Карымского вулкана, (котловине), содержание радона было сравнительно низким, в пределах 1000 Бк/м<sup>3</sup>, и не коррелировалось с изменениями режима вулканической деятельности. Главные





**Рис 11.** Схематическое изображение разреза просадки. Условные обозначения см. на рис 2.

Воздействие химического и термического ожогов на растительность было сходным. Температура и концентрация поверхностно-активных веществ были достаточны для омертвления коры кустов и их засыхания, но недостаточны для возгорания и обугливания.

2,6 г/см<sup>3</sup>. По соотношению удельного и объемного весов исследуемый пирокластический материал близок к полученным экспериментально воздушно-сухим смесям, состоящим из неокатанных минеральных частиц. После нескольких десятков циклов гидратации – дегидратации этот материал приобретал большую просадочность (Трофимов и др., 2000). Вероятно, и в естественных условиях большая разница объемного и удельного весов является главной причиной просадок.

Гидратация и дегидратация способствовали этим явлениям, а локальность просадок объясняется горизонтальной неоднородностью рыхлых пород. Просадки, по нашим наблюдениям, обычно возникали там, где в вертикальном разрезе толщи преобладали наиболее тонкие и пористые разновидности пород (рис. 11).

### **ВЛИЯНИЕ ИЗВЕРЖЕНИЙ НА РАСТИТЕЛЬНОСТЬ**

Растительность на бортах озера (ольховый, реже кедровый стланик и ивы), захваченная базисными волнами, погибла, и её завалы встречаются местами по берегам Карымского озера и в долине реки Карымской. В долине реки и на её берегах значительная часть кустов, залитая водами весеннего лахара, засохла и частично возродилась лишь через три - пять лет. Причем этот эффект наблюдался не только в котловине, в 3-5 км от истока реки, но и в устьевой части, в 30 км от истока.

Очевидно, воздействие кислых вод лахара было подобно химическому ожогу, усиленному абразивным воздействием взвеси. В ближайшей к центру извержения зоне, в кальдере Академии Наук, был возможен и термический ожог, отмеченный ранее (Муравьев и др. 1997).

Тонкий налет пепла, постоянно образуемый Карымским вулканом в радиусе ~ 15 км в течение 5 лет извержения, способствовал ускоренному таянию снега и увеличению активного вегетативного периода растительности в этой зоне. Накопление тонкого материала в водотоках и водоемах могло способствовать их заиливанию и заболачиванию, стимулирующему развитие некоторых видов растительности. Сравнительно мощные (до 1 м) горизонты темных почв (пепло-почвенно-гумусовых горизонтов) в верховьях реки Правой Жупановой могут быть косвенным подтверждением положительного влияния умеренного по интенсивности продолжительного выпадения пепла на большинство видов растительности (в пределах нескольких мм до 1 см в год). По (Брайцева и др. 1989) в последние 500 лет вулкан сохранял активность, близкую к современной. Такие продолжительные, умеренные по интенсивности, пеплопады формировали особый вид почв, где перегнившие растительные остатки - гумус равномерно перемешивались с пеплом. Образование таких почв происходило гораздо быстрее, чем, например, черноземов в Моздокской степи, где мощные отложения черноземов накапливались со скоростью в первые десятки мм в год (Рубилин и др., 1980).

Феномен чрезвычайно быстрого формирования пеплово-почвенно-гумусового горизонта, обладающего темным цветом и повышенной мощностью в условиях субарктического климата Камчатки, известен (Соколов, 1973). Очевидно, наиболее оптимальные условия для быстрого образования такого горизонта имеются, в частности, в одном из исследованных пунктов, в верхнем течении р. Правая Жупанова. Главными из этих условий являются: постоянные с интервалом в 1-15 лет сравнительно небольшие по

мощности, в пределах 1-2- см пеплопады в течение последних 500 лет. Причем, центр извержения - в. Карымский отделен от р. Правой Жупановой вулканом Двор, задерживающим крупные фракции изверженного пирокластического материала. Благоприятны для быстрого образования гумуса невысокие абсолютные отметки ~200-300 м, березовый лес на бортах реки, небольшой общий уклон долины в пределах 2° и её заболоченность. Если допустить, что рельеф, водотоки и активность Карымского вулкана были стабильны в течение последних 500 лет (периода последней активизации в. Карымского по (Брайцева и др., 1989)), то образование почвенно-гумусового горизонта в верховьях реки Правая Жупанова шло со средней скоростью примерно 2 мм в год. Это приблизительно в 10 раз быстрее, чем формирование черноземов в Моздокской степи, в гораздо более благоприятных климатических условиях.

#### **ВЕРТИКАЛЬНАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ В ЗОНАХ ТЕРМОПРОЯВЛЕНИЙ И СВЕДЕНИЯ О ФОРМИРОВАНИИ ТОЛЩ ГЕЙЗЕРИТОВ**

С целью поиска мощного термального источника, наблюдавшегося на Теплом озере более 35 лет до извержения 1996 г. и исследования вертикальной термической зональности в апреле 2001 г. было проведено бурение. Бурение осуществлялось шнековым мотобуром диаметром 6 см с измерением температуры в забое через каждые 0.5 м.

В месте бывшего термального источника, на дне озера Теплого, в квадрате 20 х 20 м по сетке через 4 м 13 апреля было пробурено 24 скважины глубиной 1.5 м.

Грунт до глубины ~ 1 м представлял пески и гравий с заметной примесью тонкого алевритового материала и пемзовой гальки. Глубже 1 м в разрезе, в тонком илистом субстрате наблюдались включения гальки представленной плотными андезитами; очевидно, на этой глубине до извержения 1996 г. находилось дно Теплого озера, захороненное при извержении отложениями лахаров.

Температура воды в озере была 6° С, в скважинах на глубине 1 м - 10° С, на забое, на глубине 1.5 м – от 14 до 16° С.

На восточном берегу, в 10 м от берега озера под снегом, глубиной 1.2 м, среди засохших кустов и прошлогодней осоки пробурено 3 скважины на глубину 1.5 м до плотной андезитовой гальки. Температура на забое 27° С.

На западном берегу Теплого озера, в 10 м к юго-востоку от протяженного, слегка сглаженного обрыва, на берегу маленького озера с выходами слабых термальных источников с Т до 35° С, пробурены две скважины, глубиной до 0.3 м; температура на забое 40° С.

По состоянию на 15-20 апреля 2001 г. средняя мощность снегового покрова на правом берегу реки Карымской от устья Гнилой протоки до ручья Лагерного, достигала 2 м, в то же время в зоне, прилегающей к левому берегу р. Карымской, на протяжении ~ 1 км, от Теплого озера до Нарзанного ручья, толщина снегового покрова была приблизительно в три раза меньше, а на правом берегу, в зоне ограниченной Гнилой протокой, вдвое меньше. В некоторых местах, например, вблизи групп грифонов (холмиков со слабыми, в пределах 0.5 л/сек, термальными источниками) и местами на левом берегу Гнилой протоки и по берегам Теплого озера снег в середине апреля отсутствовал.

На юго-западном берегу Карымского озера, у Западной группы термальных источников Академии Наук, в толще, сложенной преимущественно гейзеритами, на площади размером ~ 60 х 20 м с уклоном порядка 15° было пробурено 4 скважины глубиной 0.4-1.6 м. Средняя мощность толщи гейзеритов на участке по данным бурения составляла ~ 1 м. В толще встречались обломки и валуны прочных вулканических и субвулканических пород в пределах 20% по объему. Максимальная видимая мощность толщи гейзеритов, обнаженных базисными волнами извержения 1996 г., достигала 6 м. В обнажениях и скважинах толщи гейзеритов были слоисты, причем, особенно хорошо была видна слоистость в шестиметровой толще. Шуменко и др. (1980), исследовавшие гейзериты Камчатки и Исландии, выделили плотные натечные разновидности гейзеритов, формирующиеся с поверхности и травертиноподобные пористые разновидности, образующиеся в результате перекристаллизации первичных гейзеритов. Обычно наслоение гейзеритов происходит на поверхности вокруг гейзера или термального источника. В 1997-98 гг. в пещере, расположенной в середине шестиметрового обнажения гейзеритов на выходе горячих (с Т ~ 100° С) парогазовых струй образовывались ажурные тонкостенные (тоньше 1 мм) пузыри, сложенные кремнистым материалом, то – есть приращение кремнистых отложений происходило внутри толщи. По наблюдениям 1996-2002 гг. рост отложений гейзеритов вокруг гейзеров, возникших в 1996 г., происходил со скоростью не более 1 мм в год. Следовательно, шестиметровая

гейзеритовая толща начала формироваться не менее 10000 л. н., что не противоречит определениям абсолютного возраста пород Карымского вулканического центра, в частности вулканитов из кальдеры Академии Наук (Карымский вулканический центр, 1980).

Температура поверхности толщи в местах бурения не превышала 10<sup>0</sup>С. На глубине 0.8-1.6 м температура была 80-100<sup>0</sup>С. В забое скважин, прошедших толщу гейзеритов была глина смешанная с гейзеритом.

Снег на Западной и Восточной группе источников и вокруг них, в радиусе примерно 40 м, отсутствовал, в то время как на склонах кальдеры и берегах озера на удалении больше 100 м от источников мощность снежной толщи была порядка 2 м.

Данные бурения показали, что температурный градиент на глубине немного более одного метра, в районе термальных источников в южном секторе кальдеры Карымской составляет до 30<sup>0</sup>С/м, а в толще гейзеритов у Западной группы источников Академии Наук до 90<sup>0</sup>С/м. Вероятно, теплопередача в районах источников осуществляется как кондуктивным, так и конвективным путем.

В южной части кальдеры вулкана Карымского, в котловине, в зоне термальных источников экраном являются литифицированные, уплотненные алювиальные, делювиальные и лахаровые отложения. На этой территории преобладает кондуктивный теплоперенос. Воды источников в котловине слабо минерализованы, их температура и радиоактивность средние.

На участке расположения группы источников Академии Наук экран образован гейзеритовой толщей, локализирующей выходы термальных вод и пара. Нарастивание толщи происходит при сбросе части минеральной нагрузки поднимающимися газом-жидкими флюидами. Теплоперенос осуществляется большей частью конвективным путем, горячей парогазовой смесью, обладающей высокой радиоактивностью и минеральной нагрузкой.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Влияние извержения в кальдере Академии Наук и сопутствующей этому редкому явлению сеймотектонической активизации на окружающую среду многообразно и продолжительно. Активность оползней, продолжавших возникать через год и более после максимума сейсмической активизации, существенные изменения морского берега и шельфовой зоны на участке протяженностью не менее 1 км, продолжающаяся уже 5 лет перестройка выходов термальных источников и их режима, а

также другие менее значительные изменения природной среды, вызванные этим извержением, - все это следствия мощного катастрофического природного явления, заслуживающие исследования и в научном, и в утилитарном аспекте. Близкие аналоги подобных явлений, опасные в случаях их возникновения в населенной местности, могут случаться в результате других извержений, землетрясений, селей.

Как известно, положительное влияние вулканизма на окружающую среду проявилось через 15-20 лет после катастрофического извержения в. Безымянный, на нерестилище нерки в озере Азабачьем (Куренков, 1975). Очевидно, синхронные во времени и близкие в пространстве извержения в кальдере Академии Наук и вулкана Карымского дают ученым и практикам редкую возможность исследовать среди прочих и этот аспект последовательного и продолжительного влияния вулканизма на окружающую среду как на примере водной флоры и фауны озера и водотоков, так и в различных, по отношению к вулканам и извержениям, зонах наземной растительности и животного мира.

Авторы пользуются случаем выразить свою благодарность И.Ф. Делемену, А. Г. Маневичу, В.А. Рашидову за помощь в подготовке данной публикации.

#### Список литературы

*Андреев В. И., Иванов В. В., Карпов Г. А. и др.* О распределении изверженных пород вулкана Карымский во время его извержения в 1996-98 годах // Современный вулканизм и связанные с ним процессы. Петропавловск-Камчатский, 12-15 апреля 1999 г. С. 60-63.

*Белоусов А. Б., Белоусова М. Г., Муравьев Я. Д.* Голоценовые извержения в кальдере Академии Наук и возраст стратовулкана Карымский (Камчатка) // Докл. РАН. 1997. Т. 354. № 5. С. 648-652.

*Вакин Е. А., Пилипенко Г. Ф.* Гидротермы Карымского озера после подводного извержения 1996 г. // Вулканология и сейсмология. 1998. № 2. С. 3-28.

Вулканический центр: строение, динамика, вещество (Карымская структура) / под ред. Масуренкова Ю. П. М.: Наука, 1980. 298 с.

*Гордеев Е. И., Дроздин Д. В., Касахара М. и др.* // Сейсмические явления, связанные с извержениями в Карымском вулканическом центре

- в 1996 г. // Вулканология и сейсмология. 1998. № 2. С. 28-49.
- Гущенко И. И.* Пеплы северной Камчатки и условия их образования. М.: Наука, 1965. 143 с.
- Зеленов К. К.* Вулканы как источники рудообразующих компонентов осадочных толщ. М.: Наука, 1972. 215 с.
- Иванов Б. В.* Извержение Карымского вулкана в 1962-1965 гг. и вулканы Карымской группы. М.: Наука, 1970. 131 с.
- Куренков И. И.* Изменение биологической продуктивности озера под влиянием вулканического пеплопада // Круговорот вещества и энергия в озерных водоемах. Новосибирск, 1975. С. 127-130.
- Магуськин М. А., Федотов С. А., Левин В. Е., Бахтияров В. Ф.* Деформации земной поверхности в связи с сейсмической и вулканической активностью в Карымском вулканическом центре в январе 1996 г. // Вулканология и сейсмология. 1997. № 5. С. 97-113.
- Муравьев Я. Д., Федотов С. А., Будников В. А. и др.* Вулканическая деятельность в Карымском центре в 1996 г.: вершинное извержение Карымского вулкана и фреатомагматическое извержение в кальдере Академии Наук // Вулканология и сейсмология. 1997. № 5. С. 38-71.
- Пилипенко Г. Ф.* Гидротермы Карымского вулканического центра на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1989. № 6. С. 85-102.
- Рубилин Е. В., Козырева М. Г.* Как долго формируются почвы? // Почвоведение. 1980. № 1. С. 5-14.
- Соколов И. А.* Вулканизм и почвообразование. М.: Наука, 1973. 222 с.
- Трофимов В. Т., Соколов В. Н., Ветров А. С.* Новые экспериментальные данные к решению проблемы генезиса просадочности золотых лессовых пород // Докл. РАН. 2000. Т. 373. № 4. С. 513-516.
- Федотов С. А.* Об извержениях в кальдере Академии Наук и Карымского вулкана на Камчатке в 1996 г., их изучении и механизме // Вулканология и сейсмология. 1997. № 5. С. 3-38.
- Фирстов П. П., Чирков А. Н.* Радон в спонтанном газе термального источника вулкана Карымского (1966-1975 г.г.) // Бюл. вулканол. станций. 1978. № 54. С. 35-40.
- Шуменко С. И., Шевченко А. Я., Дёменко Д. П.* К нанопетрографии гейзеритов // Докл. АН СССР. 1980. Т. 251. № 2. С. 427-430.

## **Environmental Effect of the 1996-2000 Eruptions in the Akademii Nauk Caldera and the Karymsky Volcano (Relief, Pools, Plants)**

**V.I. Andreev, G.A. Karpov, M.A. Maguskin, V.M. Miroshnikov**

*The Institute of Volcanology, Far East Division, Russian Academy of Sciences, 683006, Petropavlovsk-Kamchatsky, Piip blvd., 9, Russia*

Submarine eruption in the Akademii Nauk Caldera, having continued for about one day, was accompanied by seismic activity and creeps that went on for several years. Two powerful lachars, one accompanying the eruption, the other having emerged four months later, brought to the Karymaskaya river valley about 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> of fine, mostly volcanic material, a considerable portion of which deposited at the broadest and flattest areas of the valley. Redistribution of the ash having settled onto the ground surface, lasted several years and led in some cases to a significant contrast of the ash thickness at neighboring areas. Moderate ash-falls, which had happened here for hundreds of years before, supported local formation of relatively thick soil-ash beds. Because of the earth surface deformation, contrast zones got distinguished, where geothermal manifestations livened up or faded. Loose volcanogenic material in the vicinity of the Karymsky volcano underwent compression that was the most notable in sites where there were fewer large monolithic fragments. The masses of lithified volcanogenic-sedimentary deposits in the southern sector of the Karymsky volcano caldera as well as those of geyserite deposits around the Akademii Nauk springs, whose thickness was about 1 m, screened and localized thermal spring discharges.