



Тайны Эльбрусской вулканической области

А.Л. СОБИСЕВИЧ,
член-корреспондент РАН

Л.Е. СОБИСЕВИЧ,
доктор технических наук Институт физики Земли
им. О.Ю. Шмидта РАН



Приэльбрусье – это высокогорье в верховьях рек Баксана, Малки и Кубани, примыкающее к Эльбрусу. К чудесным творениям природы относится Баксанское ущелье, подъезжая к кото-

рому мы видим горные цепи с вершинами высотой более 4 тыс. м, покрытыми снежно-ледовыми шапками, входящие в Главный Кавказский хребет. Здесь подняли высоко в небо скальные башни красавица Шхельда и двурогая Ушба; ярко сверкает на солнце громада Донгузоруна, а чуть дальше высятся величественные Дыхтау и Ирикчат. Но над всем этим районом, конечно, господствует Эльбрус. Две его величественные белые главы невольно притягивают к себе взоры путешественника, вызывая неописуемый восторг. Слово “Приэльбрусье” в каждом, посетившим этим мес-



та, вызывает свои особенные ассоциации, но у многих оно связано с Эльбрусом, с попыткой покорения его вершин и разгадкой тайн этого удивительного района.

ЭЛЬБРУС – ЭТО ВУЛКАН

Сказочная красота долин и ущелий Приэльбрусья очаровывает своим величием. Однако она в одно мгновение может измениться, показав свою обратную сторону. Сегодня мы знаем, что Эльбрус – это активный вулкан, который своей громадой нависает над южными регионами России.

Вулканы делятся, в зависимости от степени активности, на действующие, спящие и потухшие. Действующим принято считать вулкан, который извергался в исторический период времени или в голоцене (эпоха четвертичного периода, длящаяся последние 12 тыс. лет). Есть еще и понятие “активный”. Так, если вулкан имеет фумаролы (трещины или отверстия, располагающиеся в кратерах, на склонах и у подножия вулканов – источники вулканических газов), то некоторые ученые относят его к активному, а некоторые – к потухшему. Спящими считаются недействующие вулканы, на которых возможны извержения, а потухшими – на которых они маловероятны (например Кара-Даг в Крыму – потухший около 150 млн лет назад).

Эльбрус – двуглавый вулкан, расположившийся в Боковом хребте, соединяется с Главным Кавказским хребтом перемычкой

Хотютау. С вулканической постройки Эльбруса “стекают” многочисленные ледники, общая площадь которых – около 139 км².

ЭЛЬБРУССКАЯ ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ОБЛАСТЬ

На территории России нередко проявления современного вулканизма, в том числе и в отдельных районах Северного Кавказа. Научные исследования в южных регионах России приобрели более активный характер в начале нынешнего столетия. Ученые понимали, что на территории России, вблизи жизненно важных и густонаселенных ее центров существует объект с новейшими и современными проявлениями вул-

канизма – Эльбрусская вулканическая область.

В центре этой области находится гора Эльбрус – двухвершинный вулкан, образовавшийся около 700 тыс. лет назад. Его вулканическая постройка представляет собой массив округлой формы с поперечниками – у основания – около 18 км и 1,2–1,5 км – на высоте 5300 м; выше поднимаются два сросшихся вулканических конуса.

Работы ученых ИФЗ РАН, ИГЕМ РАН и других институтов Российской академии наук свидетельствуют о том, что Кавказ следует отнести к “активным” регионам планеты Земля. Исследование условий формирования его геологических структур, в том чис-



Двухвершинный стратовулкан Эльбрус (Северный Кавказ). Западная вершина имеет высоту 5642,7 м, Восточная – 5614 м. Расстояние между вершинами – 1450 м, а перемычка между ними (седловина) находится на отметке 5376 м. Фото Д.В. Лиходеева.



Ледники Эльбруса “стекают” по его склонам. Фото Д.В. Лиходеева.

ле уточнение причин повышенной сейсмичности, активизации молодого вулканизма и других пока не разгаданных природных процессов, отражают главные направления в этой области, которые ученые сегодня изучают. На Кавказе удастся наблюдать следы интенсивных неотектонических движений, крупные изостатические аномалии (гидростатически равновесное состояние земной коры, при котором менее плотная земная кора средней плотностью $2,8 \text{ г/см}^3$ как бы “плавает” в более плотном слое верхней мантии – астеносфере), высокий тепловой поток на фоне все возрастающей сейсмичности и проявлений магматизма.

Собственно магма – источник продуктов вулканизма. Это – расплав, образующийся в мантии или в пределах земной коры при определенных значениях температур и давлений. Подъем магматических расплавов к поверхности, всплывание вещества приводит к образованию магматичес-

ких очагов. Вулканизм и сейсмичность – генетически связанные процессы. Пробуждение вулкана, как правило, сопровождается рядом явлений – всплеском сейсмической и геоакустической активности, преимущественно это – слабые сейсмические события, возникающие при движении магмы к поверхности и сопровождающие непосредственно извержение.

За последние 10 тыс. лет Эльбрус извергался по меньшей мере восемь раз. Примерно 1800 лет тому назад вулкан успокоился и с тех пор “дремлет”. Результаты наблюдений с использованием самых современных геофизических инструментальных методов свидетельствуют о том, что слабая сейсмическая активность в районе вулканической постройки связана, в основном, с движением ледников. Однако вероятность новых вулканических проявлений, в том числе и катастрофического масштаба, разумеется, исключать нельзя. Как это ни пара-

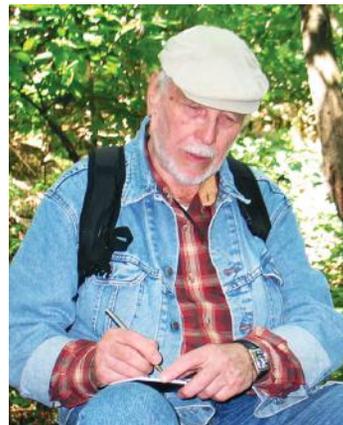
доксально, но вулканологическая изученность Северного Кавказа, несмотря на достижения в части познания отдельных вулканических объектов на его территории, все еще не дает основания для сколько-нибудь определенного предсказания о месте, времени и масштабе вероятных катастрофических событий эндогенной природы. Несмотря на то, что развиваемые учеными подходы к такому многомерному явлению, как вулканизм, многочисленны, разнообразны и тщательно изучены, но они не способны воссоздать целостную картину процесса, если не установлена взаимосвязь между всеми исследуемыми вопросами новейшего вулканизма на Северном Кавказе.

Такую целостную картину и попытались построить ученые ИФЗ РАН в конце 1990-х и начале 2000-х гг. Это было тяжелое время: финансирование полевых работ практически прекратилось, но жажда новых открытий и потребность в непрерывных научных исследованиях стала определяющей. Группа ученых нашего института, возглавляемая ведущим вулканологом, доктором геолого-минералогичес-

ких наук Ю.П. Масуренковым, развернула масштабные полевые работы на Северном Кавказе. Следуя учению о вулканических центрах, развиваемому Юрием Петровичем, в Эльбрусской вулканической области удалось выделить пять таких геологических объектов, последовательно сформировавшихся в течение ближайших 8 млн лет. Наиболее древний из них – Пятигорский вулканический центр – более всего соответствует заключительной стадии развития, с характерными проявлениями гидротермальной активности. Современная мантийная флюидно-магматическая система Пятигорья “перекладывает” основную свою функцию – выноса тепловой энергии глубин на подземные воды и на собственные газОВО-жидкие теплоносители, передавая им тепло магматических расплавов.

Вулканолог, ведущий научный сотрудник ИФЗ РАН доктор геолого-минералогических наук Ю.П. Масуренков на склонах лакколита Бештау. Пятигорский вулканический центр. Фото С.М. Долова.

Вулканы имеют в своем основании, как минимум, один магматический очаг. Объемы магматических очагов могут быть значительными – до сотен кубических километров. От очага к поверхности простирается магмовод – протяженная трещина, или вулканический канал; иногда образуются побочные каналы, “ответственные” за формирование дополнительных центров извержения. При этом расплавленная горная порода в магматических очагах может находиться в стабильном состоянии и никак себя не проявлять – тогда ученые говорят: вул-



кан “дремлет”. В случае застывания магматических пород в пределах земной коры формируются интрузивные или плутонические горные породы. Подобные структуры, внедрившиеся в земную кору и застывшие в ней в прошлые геологические эпохи, нередко обнажены в результате эрозии в настоящее время. Например: лакколиты Пятигорска – своего рода несформировавшиеся вулканы, субвулканические тела. При определенных условиях (наличие разрывных нарушений в земной коре, интенсивное омывание очага глубинными флюидами) магма, внедряясь в ослабленные зоны земной коры, достигает земной поверхности и изливается в



Сотрудники экспедиции ИФЗ РАН – А.Б. Чулков, А.Л. Собищев и Ю.П. Масуренков на маршруте. Пятигорский вулканический центр. Фото С.М. Долова.



Извержение вулкана Пинатубо на Филиппинах, произошедшее 10 июня 1991 г.

виде лавы, а значительная часть растворенных в ней газов поступает в атмосферу. Это и есть вулканическое явление или вулканизм.

Движущей силой извержения являются газы, растворенные в магме. В случае если возникает трещина или другие условия для спонтанной дегазации расплава, это приводит к тому, что магма буквально вскипает. Происходит вспенивание магматического расплава, а уменьшение давления при подъеме к поверхности усиливает этот процесс подобно цепной реакции. Тот же эффект мы наблюдаем, когда открываем банку с газированной жидкостью, которую предварительно энергично встряхнули. Вулканические продукты (в особенности газовая составляющая) определяют “стиль извержения” и, в соответствии с ним, различные формы вулканических построек.

Наибольший интерес в научном плане представляет Эльбрусский вулканический центр: гидротермальные процессы, определяемые и провоцируемые деятельностью периферического магматического очага, можно наблюдать на земной поверхности – тепловые аномалии и многочисленные источники углекислых минеральных вод.

Выполненные исследования показали, что количество выделяемого из очага тепла пока еще несоизмеримо с его накоплением за счет мантийного питания. Поэтому вулкан остается потенциально опасным из-за вероятности извержений. Прогноз основан на выявленной закономерности, определяющей место, время и длительность вулканических событий в процессе “миграции” центров тектоно-магматической активности в Эльбрусской вул-

канической области. Согласно установленным закономерностям, ожидаемая продолжительность вулканизма в этой области может составлять еще порядка миллиона лет, что свидетельствует о возможности возобновления деятельности Эльбруса в будущем.

МОЖНО ЛИ
СПРОГНОЗИРОВАТЬ
ВУЛКАНИЧЕСКОЕ
ИЗВЕРЖЕНИЕ?

Катастрофические извержения вулканов относятся к разряду трудно, но все же предсказуемых стихийных бедствий. К счастью, это довольно редкое явление в жизни одного поколения людей. Человеческая память сохранила грозные события прошлого. Ими были:

- крупное извержение вулкана Санторин в Эгейском море, сопровождавшееся образованием кальдеры размером 7,5–11 км (датированное 1645–1600 гг. до н.э.); вызвало цунами высотой до 100 м, уничтожившее минойскую цивилизацию Крита;
- сильное извержение Везувия в 79 г. н.э., погубившее Помпеи и Геркуланум;
- грандиозное извержение вулкана Тамбора в Индонезии, произошедшее

10 апреля 1815 г.; оно унесло жизни около 92 тыс. людей; на месте исчезнувшей вершины вулкана образовался огромный кратер диаметром 6,0 × 6,5 км и глубиной до 700 м;

– гигантская катастрофа 26–27 августа 1883 г., сопровождавшаяся взрывом вулкана Кракатау в Индонезии;

– 21 мая 1902 г. произошло катастрофическое извержение вулкана Мон-Пеле на о. Мартиника; погибло 30 тыс. жителей Сен-Пьера;

– катастрофа 30 апреля 1980 г. – взрыв вулкана Сент-Хеленс в США;

– извержения вулканов Безымянного на Камчатке в 1955–1956 гг., Эль-Чичона в Мексике (29 марта и 3–4 апреля 1982 г.), Пинатубо на Филиппинах (10–15 июня 1991 г.) и Серро-Хадсон в Чили (в августе–октябре 1991 г.).

Существуют легенды, что в давние времена для предотвращения извержений жители Никарагуа бросали в жерло вулкана молодых девушек. Этот пугающий древний обычай ушел в прошлое. Ученые сегодня могут достаточно точно определить форму, размеры и глубину залегания магматических очагов активных вулканов и с помощью современных приборов “держать руку на пульсе” опасного природного явления. Вулканы сегодня вполне предсказуемы: специалистам не-

обходимо всего лишь правильно расставить вокруг вулкана, объединив в единую систему инструментального мониторинга, научные приборы. Далеко не на всех вулканах такие системы установлены.

Основанная в 1841 г. старейшая вулканологическая обсерватория “Везувiano” (Неаполь, Италия; <http://www.ov.ingv.it/ov/>), куда стекаются сведения от сети сейсмостанций, гравиметрических и GPS-пунктов наблюдений. Здесь обрабатываются данные о количестве и составе газов в фумаролах, о данных дистанционного зондирования; можно сказать, что малейшее движение магмы под вулканом не остается незамеченным.

Подобный проект российские ученые пытаются сделать и на Эльбрусе. Ближайшая к Эльбрусу сейсмостанция расположена в 20-ти км и при всем желании мы не можем “услышать” те самые слабые землетрясения, которые происходят в окрестности магматического очага. Да и недостаточно одной сейсмостанции, ведь в горах происходит большое количество слабых землетрясений, связанных с движением ледников. Эти сигналы можно отличить от вулканических землетрясений, только определив их глубину, а для этого нужно установить несколько сейсмостанций вокруг вулкана. Изучая

тайны Эльбруса, российские ученые создают надежные, оснащенные современными приборами, технологии; их использование поможет предупредить о катастрофическом извержении жителей Кавказа.

Сотрудники нашей лаборатории обратили внимание на вулканическую тематику с началом цикла экспедиционных работ на Северном Кавказе. Лаборатория традиционно занималась изучением пространства упругих волн в различных слоистых средах, в том числе – в геофизической среде – с присутствием неоднородностей, с различными включениями. Магматический очаг вулкана – пример такого включения. Возникла идея попробовать применить нашу теорию к вулкану Эльбрус. Коллеги-физики помогли нам организовать геофизический эксперимент в штольне Баксанской нейтринной обсерватории Института ядерных исследований РАН.

СЕВЕРО-КАВКАЗСКАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

Не так давно на научно-просветительском форуме “Ученые против мифов”, авторы статьи пытались разрушить некоторые “страшилки” о “супервулканах” и обратились к залу с вопросом: «Как хорошо мы знаем Землю? Насколько глубоко мы проникли в недра планеты?»?



Лаборатория на отметке 3,9 км в штольне Баксанской нейтринной обсерватории РАН в Баксанском ущелье. Измерительные постаменты с установленными геофизическими информационно-измерительными комплексами; это такие приборы как сейсмометры различных типов, кварцевые наклонометры и гравиметр конструкции доктора технических наук Д.Г. Гриднева; магнитные вариометры, температурные станции и вспомогательное оборудование. Северо-Кавказская геофизическая обсерватория. Фото С.М. Долова.

Приятно удивило то, что рядовые слушатели форума называли значения от 10 до 50 км – то есть в пределах земной коры. Правильный ответ: 12,5 км, Кольская сверхглубокая скважина – пока непревзойденное достижение советских времен.

Баксанская нейтринная обсерватория – также величайшее достижение периода расцвета фундаментальной науки в СССР; это уникальный научный объект, созданный иск-

лючительно для проведения фундаментальных исследований в области ядерной физики, физики элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий, включая физику нейтрино (Земля и Вселенная, 2011, № 1). Обсерватория представляет собой подземный комплекс, образованный вокруг двух горизонтальных тоннелей, пройденных “Метростроем” в массиве горы Андырчи в Баксанском ущелье. Именно в подземных лабораториях нам и удалось установить геофизические приборы – сейсмометры, наклонометры, магнитометры – и провести серию

экспериментов. Сейчас все инструменты работают в автоматическом режиме, а данные мы получаем посредством вездесущего интернета.

Аппаратурные комплексы обсерватории регистрируют “дыхание” магматических структур и определяют “степень готовности” вулкана к извержению. Это – надежные отечественные измерительные системы; они созданы выдающимися российскими учеными.

Кроме того, при изучении проблем вулканизма, сейсмичности и других природных процессов, связанных с катастрофами на Северном Кавказе, ученые ИФЗ РАН применяют новейшие геолого-геофизические и геодезические технологии, а также космические методы наб-



Изобретатель и создатель уникального поколения кварцевых геофизических инструментов, установленных на Северном Кавказе, доктор технических наук Д.Г. Гриднев в рабочих помещениях Северо-Кавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН. Фото В.Н. Корягина.

А.Л. Собисевич (ИФЗ РАН) и В.В. Казалов (Баксанская нейтринная обсерватория РАН) устанавливают сейсмологическую аппаратуру в лаборатории, на отметке 1,5 км, в штольне Баксанской нейтринной обсерватории РАН. Фото Л.Е. Собисевича.



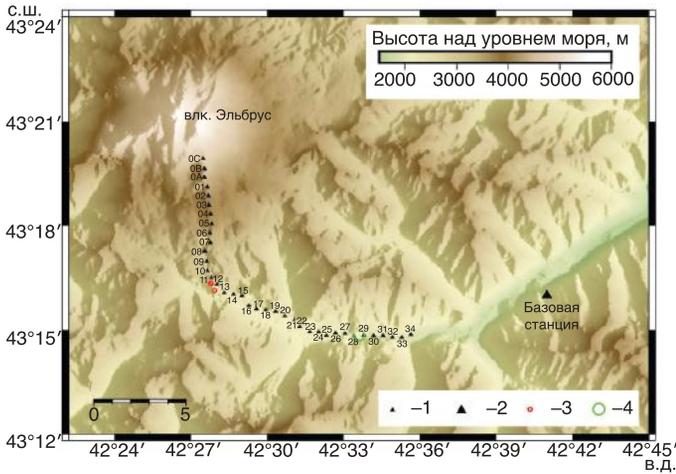
людений. При этом в процессе изучения того или иного явления особое место отводится проблемам изучения неотектоники; обнаружению следов различных типов катастрофических событий, связанных с прошлой активностью вулкана; датированию последних извержений, произошедших в историческое время с целью определить частоту их повторяемости, что очень важно при прогнозе возможности возобновления вулканической активности. Анализ геофизических полей (гравитационного, теплового, сейсмического,

электромагнитного и других) позволяют получить информацию о глубинной внутренней структуре вулканической постройки (магматического очага и магматической камеры) и о динамических процессах, зарождающихся и развивающихся в геофизической среде, окружающей вулканический центр или будущий сейсмический очаг. Наибольшую важность представляет информация о гравитационных и сейсмических полях.

Многолетние исследования проводились в соответствии с широким спектром задач, ответы на которые помогут в предупреждении развития катастрофических событий на Северном Кавказе. Удалось показать, что в районе расположения вулкана Эльбрус, помимо современных датировок возраста лав, определения периодов максимальной вулканической активности, частоты ее повторяемости и объемов изверженного материала, других геологических, геодезических, геохимических и сейсмологических исследований, необходимо провести уточняющие гео-



Проверка готовности сейсмологической аппаратуры на одном из постаментов Северо-Кавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН; перед проведением полевых работ в Баксанском ущелье и на вулканической постройке Эльбруса. Фото Л.Е. Собисевича.



Профиль геофизических работ в 2015 г. в Баксанском ущелье и на склонах Эльбруса. Цифрами обозначены: 1 – точки измерений; 2 – базовая станция; 3 – отмеченные в ходе эксперимента поверхностные температурные аномалии; 4 – область сосредоточенной флюидной активности (“Поляна Нарзанов”). (Из статьи Д.В. Лиходеева и др. “Исследование глубинного строения вулкана Эльбрус методом микросейсмического зондирования” // Вулканология и сейсмология, 2017. № 6. С. 28–32.)

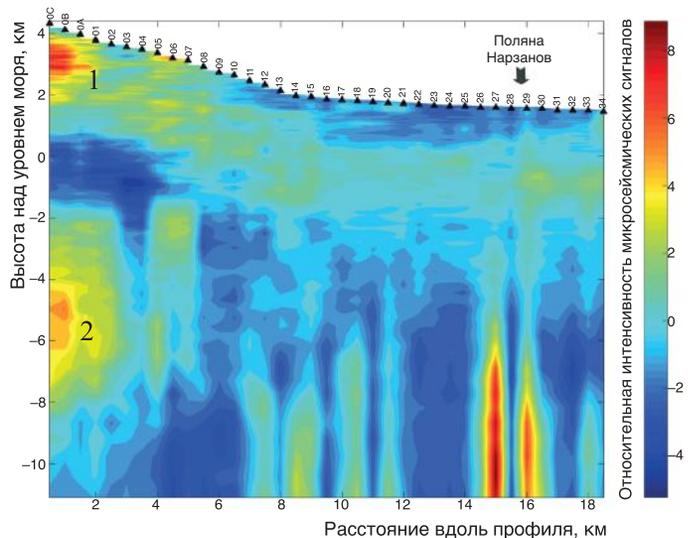
физические наблюдения – для того, чтобы определить относительное положение, размеры и динамику (скорость всплывания)

магматической камеры (очаги расплавленных пород, сформированные в литосфере). При этом необходимо обратить особое внимание на изучение динамических (резонансных и других) характеристик глубинного магматического очага. Эти и другие тайны Эльбрусского вулканического центра ученым постепенно удастся разга-

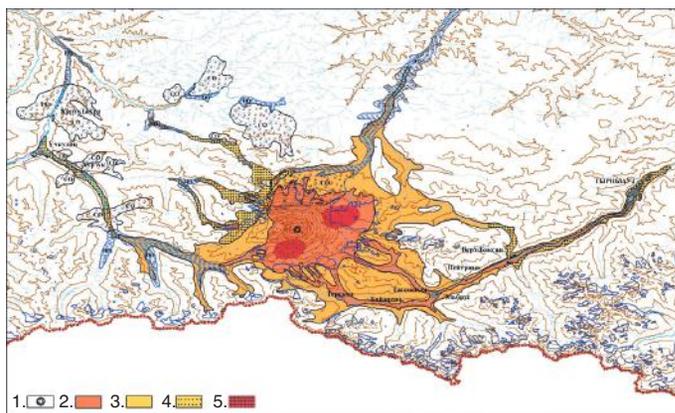
дать и использовать в задачах прогнозирования крупных природных катастроф в регионе.

Проведенные работы заставили Эльбрус начать открывать свои тайны: выделены локальные неоднородности литосферы, потенциально связанные с магматическим очагом и

Вертикальный геофизический разрез вдоль профиля, выполненного в 2015 г. по методу микросейсмического зондирования, позволяющего оценить глубинное строение вулкана Эльбрус. “Теплыми” тонами показаны относительно низкоскоростные области, пространственно совпадающие с контурами периферических элементов флюидно-магматической системы (1, 2). Над геофизическим разрезом показан профиль высот измерительных пунктов; условная система координат дана в соответствии с профилем. (Из статьи Д.В. Лиходеева и др. “Исследование глубинного строения вулкана Эльбрус методом микросейсмического зондирования” // Вулканология и сейсмология, 2017. № 6. С. 28–32.)



Карта сценариев проявления вулканической опасности Эльбруса. (Собисевич А.Л. / Избранные задачи математической геофизики, вулканологии и геоэкологии. Т. 2. Северо-Кавказская геофизическая обсерватория. Создание, анализ результатов наблюдений. М. : ИФЗ РАН, 2013. 512 с.)



магматической камерой вулкана Эльбрус. Установлено, что в этих областях земной коры имеют место аномально пониженные значения поля тектонической раздробленности; они рассматриваются как потенциальный магматический очаг, служивший в историческом прошлом “поставщиком” материала для извержений вулкана. Исследования глубинного строения вулкана с помощью различных геофизических методов позволили впервые уточнить относительные положения магматического очага и магматической камеры внутри вулканической постройки.

Теоретическая оценка резонансных особенностей магматических образований вулкана Эльбрус может быть выполнена при условии, что очаг в первом приближении полостью соответствующей конфигурации и размера в слоистой структуре и заполнен вязкой жидкостью. По результатам изучения строения магмати-

ческого очага и магматической камеры, с учетом механико-математического моделирования резонансных особенностей магматических образований и данных натурных наблюдений, подтверждено, что в пределах Эльбрусского вулканического центра есть “живые” магматические образования. Определены характерные размеры магматического очага и магматической камеры вулкана; выполнены оценки глубины залегания ее верхней границы, они уточнены и с помощью других геофизических методов (гравиметрии и магнитотеллурического зондирования). Проведенные исследования легли в основу принципиально нового “резонансного” метода контроля динамических процессов в магматических структурах вулканов центрального типа – когда изменение основной резонансной частоты магматической камеры свидетельствует о повышении внутри нее давления

в результате активного поступления магмы и выделения летучих.

Анализ геологической, геоморфологической, гляциологической и геофизической обстановок в районе вулканической постройки показал, что, независимо от места нахождения эруптивного центра, силы и типа возможного извержения Эльбруса, его активность может сопровождаться (помимо образования палящих туч) выделениями вулканических газов и другими явлениями, включая каменно-ледовые обвалы, сейсмодислокации, катастрофические лахары, образование подпрудных озер и наводнения.

Таким образом, разработка и освоение геофизических технологий мониторинга природных процессов в Эльбрусской вулканической области позволили ученым ИФЗ РАН на новом уровне подойти к проблеме изучения физических механизмов опасных природных процессов и на этой основе опреде-



Одна из инструментальных станций Северо-Кавказской геофизической обсерватории с установленными на ней феррозондом, магнитовариационной станцией ИЗМИРАН и кварцевыми наклономерами конструкции Д.Г. Гриднева (ИФЗ РАН). Фото А.Л. Собисевича.

лить сценарии развития возможных катастроф. Для вулканов – это карты вулканической опасности (можно сказать “зоны поражения” на различных расстояниях от конкретного вулкана).

Как вулкан себя проявит? Будет ли это взрыв с выбросом пепла в атмосферу? Сформируются ли пирокластические потоки (“палящие тучи”) – смесь раскаленных вулканических газов, пепла и обломков, средняя скорость движения которых по склонам достигает 80 км/ч, или же это будет “спокойное” излияние лавы? На эти вопросы наука сегодня отвечает, опираясь на знания о глубинном строении магматической питающей системы, о составе вулканических продуктов и об истории извержений. Эти знания позволяют строить системы аппаратного контроля (или мониторинга) вулканов.

С учетом рекреационного потенциала Приэльб-

русья развитие фундаментальных научных исследований в Эльбрусской вулканической области и совершенствование приборной базы Северо-Кавказской геофизической обсерватории, представляются первоочередными задачами, решения которых будут способствовать научному, экономическому и социальному развитию и процветанию Северо-Кавказского региона в целом.

Следует признать, читатели, что мы живем в вулканически спокойное время. Но успокаиваться пока еще рано. Выполненный объем теоретических и экспериментальных работ является лишь первым этапом начавшихся системных и систематических исследований в Эльбрусской вулканической области. Обобщение всех современных представлений об Эльбрусе выявляет не только на его способность к катастрофическим извержениям,

но и обнаруживает, что нынешний “перерыв” в извержениях не является самым продолжительным.

Вулканизм – один из основных эндогенных процессов, формирующих облик нашей планеты и информирующих нас о состоянии ее недр. Будучи экстремальным по своей сущности, этот процесс способен реализовать сценарии катастрофических событий, чреватых тяжелейшими последствиями для человечества и окружающей среды.

Мы пока не можем управлять вулканизмом – обстоятельством непреодолимой силы – поэтому необходимо непрерывно искать и совершенствовать методы предсказания вулканических извержений и землетрясений. Не касаясь других научно-прикладных проблем вулканологии, подчеркнем, что прогресс в этой области напрямую зависит от развития фундаментальных научных исследований – в первую очередь, в части изучения глубинной природы вулканических и сейсмических процессов.