

УДК 550.34+551.21

DOI: 10.23671/VNC.2016.4.20898

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА КАЗБЕКСКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ЦЕНТРА

© 2016 В.Б. Заалишвили¹, д.ф.-м.н., проф., М.Г. Бергер¹, д.г.- м.н., проф.,
И.Н. Малиев¹, к.ф.-м.н., Д.А. Мельков¹, к.т.н.,
А.С. Кануков^{1,2}, к.т.н., В.Д. Макиев¹

¹Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002,
г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru;

²Владикавказский филиал Финансового университета при правительстве Российской Федерации, Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Молодежная, 7

Создана система инструментального мониторинга вулканических проявлений в районе Казбекского вулканического центра, включающая 4 сейсмические станции Геофизического института – филиала ВНЦ РАН на Кармадонском параметрическом полигоне и 2 станции сейсмологической службы Грузии. Обмен инструментальными данными позволит выявить целый ряд важных характеристик вулкана Казбек и значительно повысит безопасность жизнедеятельности за счет адекватной оценки риска и прогноза вулканической деятельности.

Ключевые слова: инструментальный мониторинг, вулканические процессы, Казбек.

Одними из наиболее опасных и катастрофических по своим последствиям эндогенных геологических процессов являются вулканические во всем многообразии форм их протекания, сопровождающиеся прорывом на земную поверхность различного по фазовому составу и агрегатному состоянию материала ювенильного (глубинного) происхождения, а также выносом и отбросом застывшего ранее (резургентного) материала и пород вулканической «рамы», не имеющих вулканического состава и происхождения.

Такие прорывы (т.е. пространственное размещение мест вулканических проявлений) в современную геологическую эпоху всегда носят сосредоточенный локальный характер, даже в случаях, подобных аномально крупному Большому трещинному Толбачинскому вулканическому извержению 1975–1976 гг. на Камчатке.

В наиболее вероятных местах их возможной локализации концентрируются, естественно, и наиболее значительные по интенсивности признаки, предвещающие (и, соответственно, предвещающие) вулканические извержения – их предвестники, выявление которых исключительно важно для прогноза извержений и минимизации их негативных последствий.

С учетом имеющихся данных по современным вулканическим извержениям Камчатки и других районов современного вулканизма к числу важнейших типов предвестников вулканических извержений (ПВИ) относятся следующие аппаратурно измеряемые параметры (их количественная характеристика и динамика их изменения).

1. Сейсмические (включая выделение и изучение различных типов низкочастотного сейсмического дрожания).

2. Газовые (эманационные).
3. Геотермические.
4. Геодезические (особенно – наклонометрические).

При этом даже в наиболее благоприятных для вулканического прогноза и инструментально наиболее подготовленных для этого случаях (аппаратурно наиболее обеспеченных) конкретное время извержения может оказаться неспрогнозированным, как это случилось, например, в случае одного из крупнейших в XX веке сверхгигантского направленного извержения (взрыва) вулкана Сент-Хеленс 18 мая 1980 г. на северо-западе США (штат Вашингтон). Одна из основных причин этого – непродолжительное сейсмическое затишье перед извержением.

Поэтому важнейшими условиями успешности вулканического прогноза являются использование как можно более широкого комплекса наблюдений и непрерывность проведения наблюдений в рамках каждого из методов этого комплекса.

Необходимо разграничивать также ПВИ от обычных для областей современного и новейшего вулканизма флуктуаций в динамике поствулканических явлений, в том числе значительных по масштабам, наблюдаемых, в частности, в начале нынешнего столетия в Казбекско-Джигарайском районе Казбекской неовулканической области. Одним из проявлений и результатов именно поствулканических процессов явилась, в частности, Колкинская (Кармадонская, Геналдонская) ледниковая катастрофа 20 сентября 2002 года, носившая, по заключению М.Г. Бергера, характер направленного взрывоподобного внезапного газодинамического выброса ледника и имевшая целый ряд весьма специфических предвестников, частично совпадающих с вулканическими (например, локальные поднятия поверхности в эпицентральной области).

По данным полевых геофизических исследований выявлены гравитационные, термальные, электрические, реологические аномалии, которые могут являться признаками вулканической активности [Богатиков и др., 2002; Арбузкин и др., 2004; Копаев, Гурбанов, 2004; Корниенко и др., 2004]. Но подобными аномалиями могут характеризоваться и зоны дробления, насыщенные высокоминерализованными термальными растворами и существенно графитизированные первично-осадочные образования и др. Необходимо также отметить, что имеются такие интерпретации геофизических данных, на основании которых для горы Казбек вообще не находится признаков вулкана [Шемпелев, Невский, 2013; Заалишвили и др., 2015], что, однако, не отменяет необходимости развития инструментального мониторинга возможных опасных вулканических проявлений.

Первое место среди геофизических методов мониторинга вулканической активности занимает сейсмический метод. Существует важное различие между крупными вулканическими извержениями и тектоническими землетрясениями. Эксплозивным вулканическим извержениям чаще всего предшествуют извержения меньшего масштаба, но даже эти небольшие извержения обычно предваряются различными сейсмическими сигналами, анализ которых позволяет осуществлять заблаговременный прогноз. Ни одно крупное извержение вулкана, находившегося даже под временным наблюдением за последнюю половину XX века, не обошлось без предсказания о нем за недели или даже за месяцы, исходившего от групп наблюдения за вулканами [Ротери, 2004].

Локальная сеть сейсмических цифровых станций первого поколения на территории Республики Северная Осетия-Алания была организована и начала функционировать в 1998–1999 гг. при поддержке МЧС РФ [Заалишвили и др., 2013]. В 2002 году указанной сетью был зарегистрирован катастрофический сход ледника Колка

[Заалишвили, Мельков, 2012]. В дальнейшем на территории республики одновременно функционировало 7–8 сейсмических пунктов наблюдений: во Владикавказе (в здании Геофизического института), в Ардоне (в подвальном помещении на окраине города), Чиколе (в здании местной администрации), Заманкуле (в подвале частного дома), Фиагдоне (в здании больницы), Кармадоне (в здании гостиницы, с июня 2015 года – в подвале пятиэтажного кирпичного здания в селении Кани), Дигоррии (в помещении альплагеря «Комы-Арт») и Цее (на сейсмостанции) – соответственно коды станций VLD, ARD, CIK, ZAM, FIG, KAR, DIG, CEY. Крайне необходимая сейсмостанция в пункте Кармадон (KAR) была включена в сеть 8 сентября 2003 г. после почти двухлетнего бездействия. На всех пунктах наблюдения была установлена регистрирующая аппаратура Альфа-Геон.

Координаты пунктов сейсмологических наблюдений Кармадонского параметрического полигона приводятся в таблице 1.

Таблица 1

Координаты пунктов сейсмологических наблюдений Кармадонского параметрического полигона

№ пп	Пункт наблюдения	Региональный код станции	Широта (северная) ϕ, N гмс	Долгота (восточная) λ, E гмс	Высота над уровнем моря h, m
1.	Ардон	ARD	$43^{\circ} 11.47'$ 43.191	$44^{\circ} 16.73'$ 44.27	400
2.	Цей*	CEY*	$42^{\circ} 47.26'$ 42.787	$43^{\circ} 54.03'$ 43.90	1900
3.	Чикола	CIK	$43^{\circ} 11.79'$ 43.196	$43^{\circ} 55.36'$ 43.922	540
4.	Фиагдон	FIG	$42^{\circ} 49.93'$ 42.832	$44^{\circ} 18.41'$ 44.306	1300
5.	Кармадон	KAR	$42^{\circ} 50.33'$ 42.838 с июня 2015г.: $42^{\circ} 50' 43.5''$ 42.8454	$44^{\circ} 30.21'$ 44.503 с июня 2015г.: $44^{\circ} 30' 31.1''$ 44.5086	1480
6.	Дигорское ущелье*	ROS*	$42^{\circ} 53.98'$ 42.899	$43^{\circ} 36.33'$ 43.605	1920
7.	Владикавказ	VLD	$43^{\circ} 01.21'$ 43.02	$44^{\circ} 39.84'$ 44.66	700
8.	Заманкул*	ZAM*	$43^{\circ} 20.85'$ 43.347	$44^{\circ} 24.46'$ 44.407	500
9	Колка	KLK	$42^{\circ} 44' 33.53''$ 42.7427	$44^{\circ} 27' 40.29''$ 44.4612	2970

*С 04.07.2006 станция не функционирует в связи с передачей оборудования в СОФ ГС РАН

В сентябре 2003 года согласно Договору между Северо-Кавказским Горно-Металлургическим Институтом (Технологический Университет) (Владикавказ), Центром «ГЕОН» Министерства природных ресурсов России (Москва) и Центром геофизических исследований (ЦГИ ВНИЦ РАН и РСО-А) был создан «Кармадонский параметрический полигон». При этом существующая локальная сеть наблюдений РСО-А явилась основой сейсмологической сети полигона. Начало фактическому функционированию полигона положила организация пункта наблюдений «Кар-

мадон» в сентябре 2003 года. Основным назначением вновь создаваемой локальной сети «Кармадонский параметрический полигон» являлось изучение и прогноз опасных геологических процессов в виде эндогенных (вулканическая деятельность, землетрясения и т.д.) и экзогенных процессов (сход лавин, ледников, оползней и т.д.). Более того, сеть должна была позволить изучать природно-техногенные события в их органической взаимосвязи.

Естественно одной из основных задач являлось развитие инструментальных наблюдений непосредственно в верховьях реки Геналдон. В 2011 году был разработан проект организации пункта инструментальных наблюдений непосредственно в районе ложа ледника Колка. 27 апреля 2012 г. при поддержке ГУ МЧС РФ по РСО-А в район ложа ледника Колка было заброшено оборудование и позднее группой альпинистов под руководством О.Н. Рыжанова на высоте 2970 метров над уровнем моря выполнен монтаж и запуск сейсмической станции, которая стала функционировать, таким образом, 19 мая 2012 г. (рис. 1, код станции KLK).

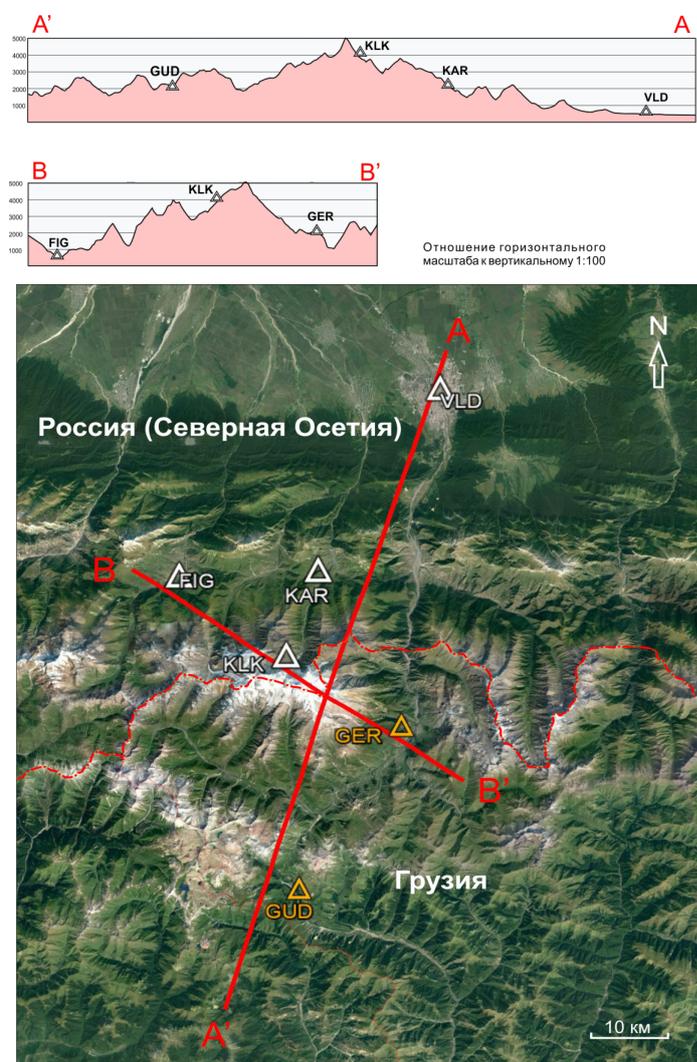


Рис. 1. Расположение сейсмических станций: KLK – Колка, FIG – Фиагдон, KAR – Кармадон, VLD – Владикавказ, GER – Гергети, GUD – Гудаури

17 мая 2014 года произошел обвал массы льда и горных пород в районе Девдоракского ледника. Зона отрыва находится на восточном склоне Казбека, в области питания правой ветви ледника Девдорак, на высоте 4400-4500 м. Обвал прошел

правее (южнее) основного Девдоракского ледопада, и упал на язык ледника. Далее имела место трансформация обвала в «лавинообразный поток» или «каменно-ледовую лавину» [Черноморец, 2014]. Образовавшийся завал перегородил устье реки Терк, что привело к образованию подпрудного озера. Опасность прорыва, угрожающая г. Владикавказу сохранялась вплоть до момента, когда Терек заполнил деривационный тоннель и уровень воды начал снижаться.

Весь процесс движения лавинообразного потока зарегистрирован сейсмическими станциями Кармадонского параметрического полигона Колка, Кармадон и Владикавказ, а также сейсмической станцией Гудаури Геофизической службы Грузии (рис. 2). Выделяются основные этапы процесса, аналогичные сходу ледника Колка 20 сентября 2002 г. [Заалишвили, Мельков, 2012].

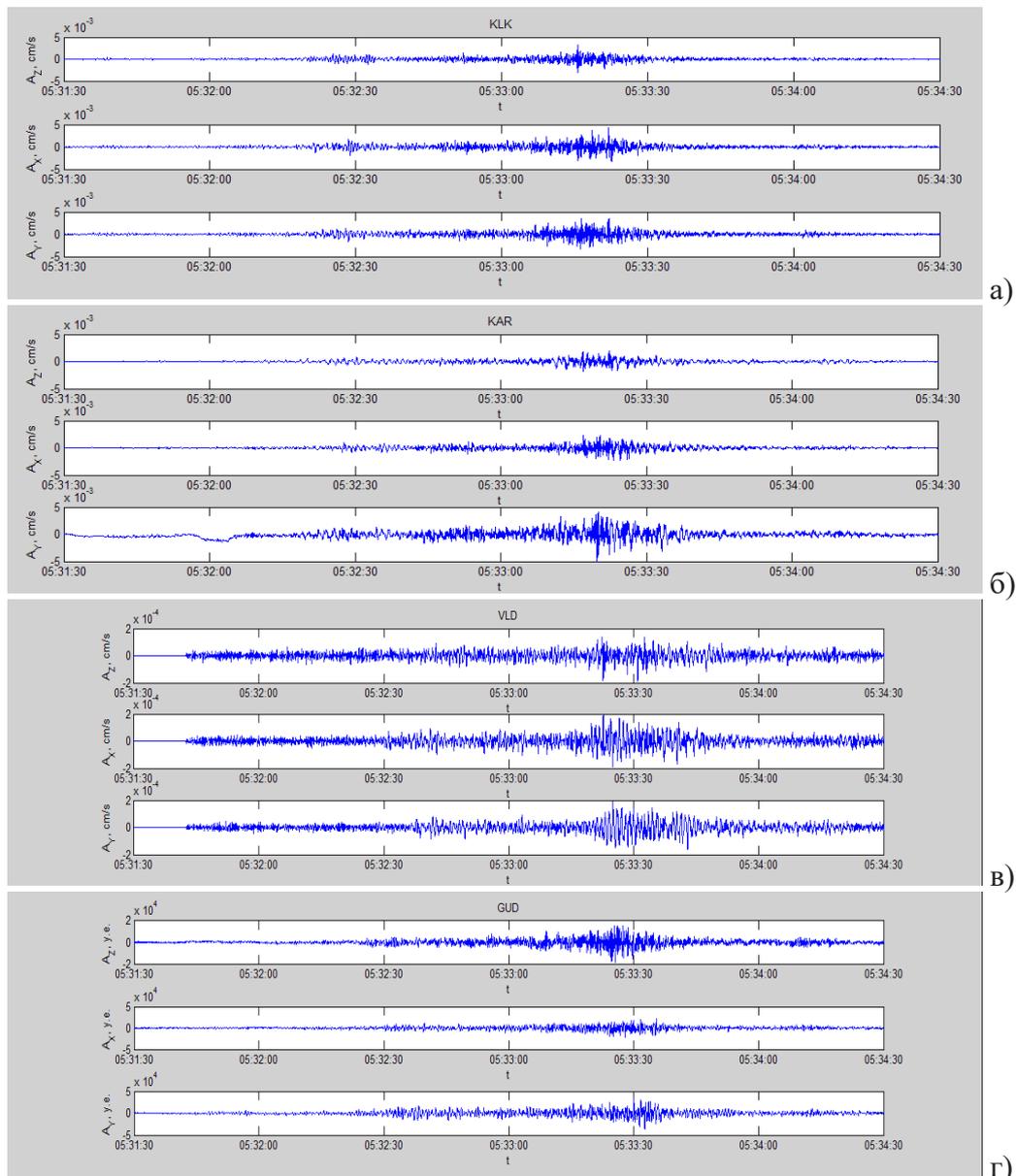


Рис. 2. Сейсмические записи процесса движения лавинообразного потока 17 мая 2014 г.: а) Колка (код станции KLK); б) Кармадон (код станции KAR); в) Владикавказ (код станции VLD); г) Гудаури (GUD)

Таким образом, показаны возможности сети регистрировать геодинамические процессы различной природы (оползни, обвалы, сходы, селей, лавин). Дальнейшее

изучение спектрально-временных особенностей проявления которых позволит разработать способы классификации и определения основных параметров (локализация, оценка выделившейся энергии).

Владикавказский прогнозный геодинамический полигон

Точное измерение формы вулканов позволяет определить постепенные перемены, которые приводят к катастрофическим событиям. Такое поднятие — один из распространенных признаков предстоящего извержения, однако, хотя наземные деформации могут дать много полезной информации о вулканических процессах, они служат ненадежным признаком для предсказания извержений, если не подкреплены сейсмическими или другими данными [Ротери, 2004].

Характеристики современных движений и деформаций являются одними из основных при исследовании развития геодинамических процессов геологической среды. Развитие Северо-Кавказской деформационной сети позволило создать надежную систему контроля за современными движениями и деформациями земной коры.

Северо-Осетинская сеть пунктов GPS, фактически, можно рассматривать некоторым расширением Северокавказской геодинамической сети, которая включает пункты GPS созданные и использованные для измерений по разным проектам предыдущих эпох.

Первая эпоха измерений GPS относится к июлю-августу 1991 г., когда сотрудниками ИФЗ АН СССР совместно с американскими специалистами были выполнены измерения по Международному проекту Кавказ-1991 (Галаганов О.Н. и др. 2007).

С целью развития Северо-Кавказской региональной сети стационарных станций наблюдения спутников GPS/ГЛОНАСС в 2008 г. в здании Геофизического института по Договору с ГАИШ МГУ и ВНИЦ РАН и PCO-A была заложена стационарная станция «Владикавказ» (код станции VLAD), которая, таким образом, работает в указанном режиме с 2008 г.

В результате совместных работ с ИФЗ РАН была разработана предварительная концепция создания и развития Северо-Осетинской геодинамической сети, проведена рекогносцировка возможных мест размещения пунктов GPS дискретных измерений и разработана конструкция знака пункта GPS, устанавливаемого на зданиях и сооружениях. На нескольких пунктах исследуемой территории, включающей г. Владикавказ, были выполнены GPS измерения синхронно с работой на базовом пункте с постоянной регистрацией спутниковых сигналов, что можно считать исходной эпохой геодинамических исследований с использованием спутниковых технологий в зоне Владикавказского глубинного разлома

Гравиметрические измерения

Долгосрочные гравиметрические наблюдения позволяют выявить вариации гравитационного поля, вызванные изменением уровня магмы в системе подводящих каналов вулкана. Уменьшение силы гравитационного поля может быть вызвано либо увеличением высоты наблюдательной станции, либо уменьшением плотности вещества внутри вулкана; увеличение — уменьшением высоты наблюдательной станции, либо увеличением плотности нижележащего вещества. Для различия между этими возможностями принято проводить дифференциальное измерение GPS [Ротери, 2004].

Гравиметрический пункт «Владикавказ» заложен в 2008 году. Географические координаты: широта 43.04639N, долгота 44.67736E, геодезическая высота 684м. Идентификационное название (4-Char. ID) – VLAD. Расположен в специально построенном одноэтажном здании Геофизического института. Марка заложена в постаменте размером 122x120 см высотой 120 см, установленном на мощной толще (до 500 м) галечников. Марка находится на 7 мм ниже поверхности поста-мента.

Для целей инструментального вулканического мониторинга могут быть также эффективно применяются мониторинг электромагнитных полей и температурный мониторинг. Изменения электромагнитных свойств вулкана могут быть связаны с размагничиванием горных пород при нагревании, перепадами внутренних напряжений, потоками жидкости или химическим изменением минералов из-за фу-марольной активности. Температура на поверхности вулкана возрастает по мере подъема магмы, поэтому термальный мониторинг — один из ценных инструмен-тов наблюдения, однако тепло распространяется в земле так медленно, что даже при неглубоких интрузиях магмы проходит довольно много времени, прежде чем их присутствие ощущается на поверхности. При термальных исследованиях удоб-нее направить усилия на места сосредоточения тепла, таких, как палеофумаролы и вторичные жерла, разогретые прохождением горячих газов. Здесь возрастание тем-пературы обычно отражает увеличение скорости дегазации или повышение тем-пературы газа; и то и другое может быть признаком поступления новых порций раскаленной магмы на неглубокий уровень [Ротери, 2004].

Выводы

Создана система инструментального мониторинга вулканических проявлений в районе Казбекского вулканического центра, включающая 4 сейсмические станции Геофизического института – филиала ВНИЦ РАН на Кармадонском параметрическом полигоне и 2 станции сейсмологической службы Грузии. Обмен инструментальными данными позволит выявить целый ряд важных характеристик вулкана Казбек и значительно повысит безопасность жизнедеятельности за счет адекватной оценки риска и прогноза опасных процессов.

Литература

1. Арбузкин В.Н., Фельдман И.С., Трофименко Е.А. Результаты первого этапа электроразведочных работ АМТЗ и МТЗ в Геналдонском ущелье // Вестник Влади-кавказского научного центра. – 2004. – Т. 4, №3. – С. 12–24.
2. Богатиков О.А., Нечаев Ю.В., Собисевич А.Л. Использование космических технологий для мониторинга геологических структур вулкана Эльбрус // Докл. РАН. – 2002. – Т. 387, №3. – С. 1–6.
3. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А. Особенности процесса схода ледника Кол-ка 20 сентября 2002 г. и его макросейсмическое проявление по инструментальным данным современных регистрационных систем// Геология и геофизика Юга Рос-сии. – 2012. – №3. С. 29–44.
4. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Невский Л.Н., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Кануков А.С., Шепелев В.Д. Мониторинг опасных природных и техногенных про-цессов на территории РСО-Алания// Геология и геофизика Юга России. – 2013. – №1. – С. 17–27.

5. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Невский Л.Н., Шемпелев А.С. Особенности геофизических полей над вулканическими постройками Северного Кавказа // Вулканонология и сейсмология. 2015. – №5. – С. 50–56.
6. Копаев А.В., Гурбанов А.Г. Гравиметрические исследования в Кармадонском ущелье: первые результаты // Вестник Владикавказского научного центра. – 2004. – Т. 4, №3. – С. 9–11.
7. Корниенко С.Г., Ляшенко О.В., Гурбанов А.Г. Выявление признаков очагового магматизма в пределах Казбекского вулканического центра по данным тепловой космической съемки // Вестник Владикавказского научного центра. – 2004. – Т. 4, №3. – С. 25–32.
8. Ротери Д. Вулканы. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2004. – 384 с.
9. Шемпелев А.Г., Невский Л.Н. Неудавшиеся вулканы Северного Кавказа // Геология и геофизика Юга России. – 2013. – №1. – С. 56–62.
10. Черноморец С.С. Новый «Казбекский завал» 17 мая 2014 года (Отчет о полевом обследовании 18-20 мая 2014 г.). МГУ им. М.В. Ломоносова, 2014. 20 с. URL:http://www.geogr.msu.ru/upload/news/Chernomorets_Devdorak_2014.pdf

DOI: 10.23671/VNC.2016.4.20898

INSTRUMENTAL MONITORING SYSTEM OF THE KAZBEK VOLCANIC CENTER DEVELOPMENT

© 2016 V.B. Zaalishvili¹, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof., M.G. Berger¹, Sc. Doctor (Geol.-Min.), prof., I.N. Maliev¹, Sc. Cand. (Phys.-Math.), D.A. Melkov¹, Sc. Cand. (Tech.), A.S. Kanukov^{1,2}, Sc. Cand. (Tech.), V.D. Makiev¹

¹Geophysical Institute of VSC RAS, Russia, 362002, Vladikavkaz, Markov street, 93a,
e-mail: cgi_ras@mail.ru;

²Vladikavkaz branch of the Financial University Under the Government of the Russian Federation, Russia, 362002, Vladikavkaz, Molodezhnaya str., 7

Is created the of the instrumental monitoring system volcanic manifestations in the region of Kazbek volcanic center, which includes 4 seismic stations of the geophysical institute of VSC RAS on the Karmadon parametric polygon and 2 stations of the Georgia seismological service.

The instrument data exchange will make it possible to reveal a whole series of the important characteristics of volcano Kazbek and will considerably increase safety of vital activity due to the adequate evaluation of volcanic activity risk and forecast.

Keywords: instrument monitoring, volcanic processes, Kazbek.