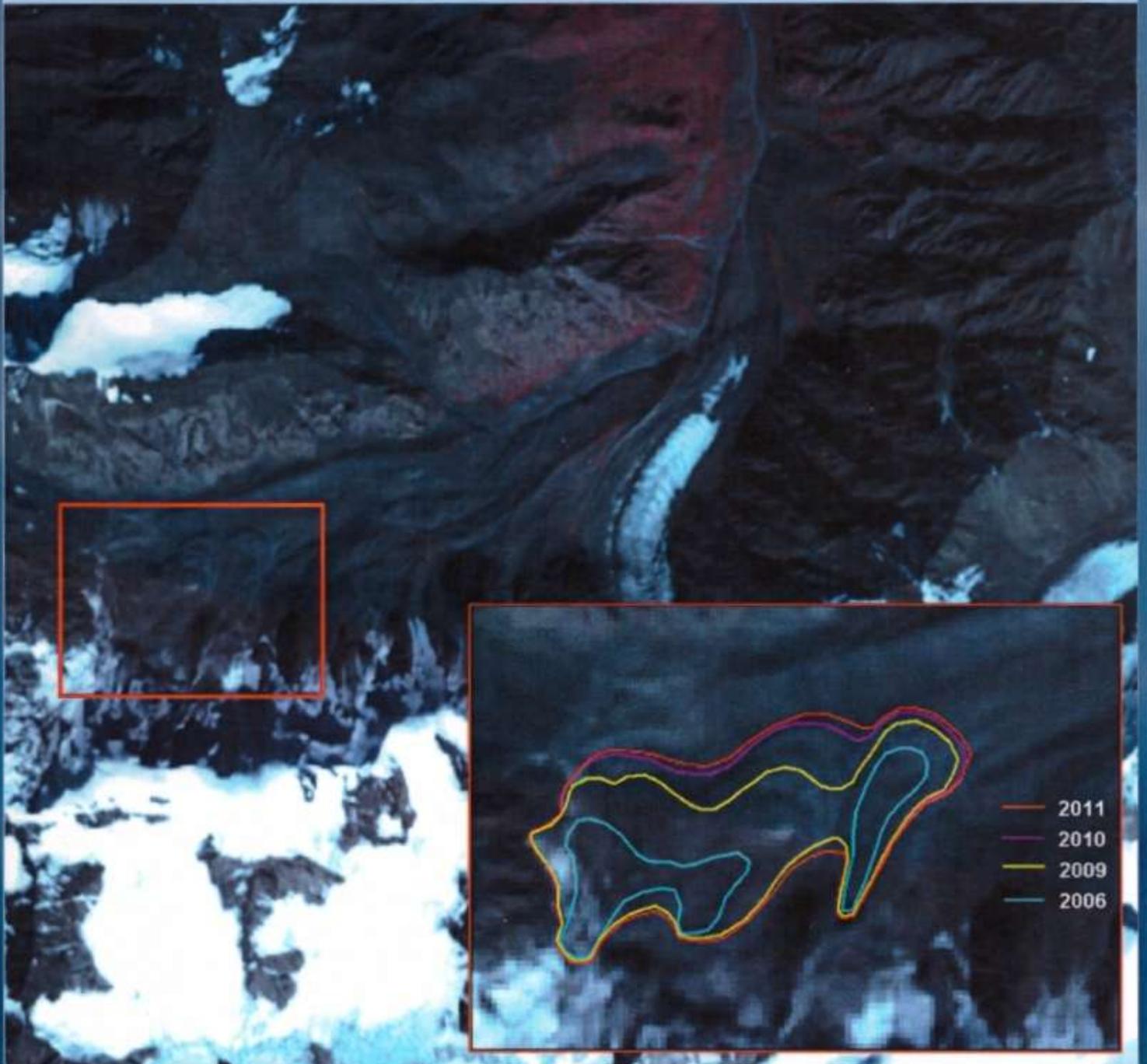


ISSN 2221-3198

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

№ 3/2012



СОДЕРЖАНИЕ

- Котляков В.М., Осокин Н.И., Рототаева О.В., Носенко Г.А.**
ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕДНИКА
КОЛКА ПОСЛЕ КАТАСТРОФЫ 2002 ГОДА 3
- Васьков И.М.**
ЛОКАЛЬНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ ЭКЗО-
ГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА БАЗЕ ИНТЕГРИРОВАННОГО
АНАЛИЗА ДАННЫХ ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ СИСТЕМ
МОНИТОРИНГА (ГЕОЛОГИЧЕСКОГО, СЕЙСМИЧЕСКОГО,
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО И ДР.)..... 13
- Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Докучаев А.Я., Лексин А.Б.**
ПЕРЕОТЛОЖЕННЫЕ ВУЛКАНИТЫ СВИТЫ РУХС-ДЗУАР:
ПРОБЛЕМА МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПАЛЕОВУЛКАНИЧЕСКО-
ГО ИСТОЧНИКА ИХ СНОСА (СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ, КАВКАЗ)..... 21
- Заалишвили В.Б., Мельков Д.А.**
ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА СХОДА ЛЕДНИКА КОЛКА
20 СЕНТЯБРЯ 2002 Г. И ЕГО МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЕ ПРО-
ЯВЛЕНИЕ ПО ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ СОВРЕ-
МЕННЫХ РЕГИСТРАЦИОННЫХ СИСТЕМ 29
- Овсюченко А.Н., Рогожин Е.А., Зайцева Н.В., Лукашова Р.Н.**
РОГОЖИН АНДИЙСКИЕ СЕЙСМОДИСЛОКАЦИИ В ДАГЕ-
СТАНЕ: ОПЫТ ДИСТАНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ
СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОМ РАЙОНИРОВАНИИ ВОСТОЧ-
НОГО КАВКАЗА 45

НАШИ ГОСТИ

- Маммадли Т.Я.**
ГЛУБИННЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОЧАГО-
ВЫХ ЗОН ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНА 54

ДИСКУССИИ И ОБСУЖДЕНИЯ

- Бергер М.Г.**
О ПРИЧИНАХ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ОТВАЛОВ НА ЛЕД-
НИК КОЛКА ПЕРЕД ЕГО КАТАСТРОФИЧЕСКИМ ВЫБРО-
СОМ 20 СЕНТЯБРЯ 2002 ГОДА И НЕКОТОРЫХ КОЛИЧЕ-
СТВЕННЫХ ОЦЕНКАХ ВЕЛИЧИНЫ ЭТИХ ОТВАЛОВ 65

CONTENTS

| | |
|---|----|
| Kotliyakov V.M., Osokin N.I., Rototaeva O.V., Nosenko G.A. DYNAMICS OF GLACIER KOLKA RECOVERY PROCESSES AFTER THE CATASTROPE OF 2002..... | 3 |
| Vaskov I.M. LOCAL FORECASTING OF HAZARDOUS EXOGENOUS PRO- CESSES ON THE BASES OF INTEGRATED ANALYSIS OF DATA OF OPERATING MONITORING SYSTEMS (GEOLOGI- CAL, SEISMIC, HYDROMETEOROLOGICAL, ETC.)..... | 13 |
| Gazeev V.M., Gurbanov A.G., Dokuchaev A.Ya., Leksin A.B. REDEPOSITED VOLCANICS OF RUKHS-DZUAR SUITE: PROBLEMS OF LOCATION OF PALEOVOLCANIC SOURCE OF THEIR MIGRATION (NORTH OSSETIA, CAUCASUS)..... | 21 |
| Zaalishvili V.B., Melkov D.A. FEATURES OF PROCESS AND MACROSEISMIC EVIDENCE OF GLACIER KOLKA FALL 20 SEPTEMBER 2002 ON IN- STRUMENTAL DATA OF MODERN OBSERVATION SYSTEMS..... | 29 |
| Ovsyuchenko A.N., Sc., Rogozhin E.A., Zaitseva N.V., Lukashova R.N. ANDIAN SEISMODISLOCATIONS IN DAGESTAN: EXPERI- ENCE OF REMOTE INVESTIGATIONS IN SEISMOTECTONIC ZONING OF EAST CAUCASUS..... | 45 |

OUR GUESTS

| | |
|--|----|
| Mammadli T.Y. SEISMOGENIC ZONES OF AZERBAIJAN AND THEIR DEPTH STRUCTURAL FEATURES | 54 |
|--|----|

DISCUSSIONS, DISPUTES

| | |
|---|----|
| Berger M.G. ABOUT REASONS OF INTENSIFICATION OF ROCKFALLS ON GLACIER KOLKA BEFORE ITS CATASTROPHIC DIS- CHARGE ON 20 SEPTEMBER 2002 AND SOME QUANTITA- TIVE ESTIMATIONS OF THESE FALLS VOLUMES | 65 |
|---|----|

УДК 551.32

ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕДНИКА КОЛКА ПОСЛЕ КАТАСТРОФЫ 2002 ГОДА

© 2012 В. М. Котляков, академик РАН, Н. И. Осокин, к.г.н., О. В. Рототаева,
к.г.н., Г. А. Носенко, к.г.н.

Институт географии РАН, Россия, 119017, Москва, Старомонетный переулок,
дом 29. Институт географии РАН, e-mail: igras@igras.ru

Изучена динамика восстановления ледника Колка после катастрофы 2002 года. В ходе маршрутных работ выполнялись GPS наблюдения, фотосъемка с реперных точек, получены данные автоматических датчиков температуры, и пр. После схода ледника в 2002 г. существенно изменились температурные условия в его бассейне, продвижение границ возрождающегося ледника в цирке Колки за 10 лет после катастрофы происходило неравномерно.

Ключевые слова: ледник Колка, температурный режим, динамика восстановления

Ледник Колка явился виновником Кармадонской катастрофы 2002 года. Преждевременный срыв пульсирующего ледника и образование высокоскоростного ледово-водно-каменного селя было явлением совершенно особого типа, вызванным целым комплексом внешних факторов и не имеющим аналогов в мире по своему масштабу и специфике развития процесса. Характер подвижки ледника Колка в 2002 г. отличался от описанной ранее подвижки [Рототаев К. П. и др., 1983]. В первые годы после Кармадонской катастрофы Институтом географии РАН основное внимание уделялось поиску причин катастрофы и восстановлению картины событий [Котляков В. М. и др., 2003, Haerberli W. et al., 2004, Котляков В. М. и др., 2008]. В настоящее время наибольший интерес вызывает вопрос о возможности восстановления ледника в цирке Колки. Впервые наземные исследования проводились нами в июне и сентябре 2003 г. Позже в июле и сентябре 2006, а также в сентябре 2009, 2010, 2011 и 2012 гг. обследовалась долина Геналдона и ледниковый бассейн Колка-Майли. Наибольший интерес для нас представляли наблюдения в цирке ледника Колка за процессами формирования нового ледникового тела. В ходе маршрутных работ выполнялись GPS наблюдения, фотосъемка с реперных точек, получены данные автоматических датчиков температуры, и пр.

После катастрофического разрушения и выброса ледника из цирка 20 сентября 2002 г. вдоль правого борта в нижней части склона осталась полоса ледового обрыва; бывшие крутопадающие притоки ледника Колка оказались «отрезанными» и лишенными своих языков. Они потеряли и значительную часть своего питания, т.к. обвалы, предшествовавшие катастрофе, привели к исчезновению мощных наметенных карнизов и фирново-ледовых полей у гребня хребта над правым бортом ледникового цирка. С начала 1970-х годов, когда площадь этих полей с висячими языками составляла 1,28 км², за последующие 30 лет до 2002 г. она почти не изменилась.

Однако в настоящее время продолжают процессы постоянного метелевого переноса снега с юга и юго-запада, с Майлийского плато и верховьев ледника Суатиси через гребень в цирк Колки; в тыловой части цирка накапливается лавинный

снег – все это дает питание бывшим притокам ледника Колка. Из них в наилучших условиях, очевидно, оказались ледники, получающие питание с участка гребня, где находились в 1970-е годы висячие ледники № 11-13 (рис.1). Здесь гребень полого снижается, и сюда устремляются потоки ветрового переноса снега вдоль южного отрога Джимарайского массива.

Наиболее крупный из прежних притоков № 13, потерявший «надежную опору» после схода Колки, первым начал продвигаться вниз уже в 2003 г. Вероятно, причиной его быстрой реакции было не только поступающее питание, но и сползание масс льда, накопленных в этой боковой мульде на склоне еще до подвижки. По наблюдениям в сентябре 2006 г., язык нового ледника выдвинулся поперек днища цирка уже далее его середины, по направлению к левой морене Колки (рис. 2). По визуальным оценкам толщина льда близ крутого выпуклого фронта активно наступающего нового ледника составляла не менее 20-25 м. Все тело ледника, особенно в его верхней части, находившейся на склоне, было разбито многочисленными глубокими трещинами. На поверхности – большое количество разнообломочного каменного материала, поступившего со склона, что было всегда характерно и для самого ледника Колка.

В самом тылу цирка начинал формироваться второй участок накопления льда на ложе, хотя здесь процесс имеет еще значительно меньший масштаб по сравнению с выдвиганием правого притока. Источник накопления снега и льда – огромный лавиносбор на склоне г. Джимарай-Хох. Здесь и во времена существования ледника Колка находился его узкий юго-западный исток с наиболее высокой верхней отметкой – 3850 м, на 400 м выше начала ледника в цирке. Из года в год лавины постоянно сходили по крутым кулуарам, собирающим снег со всей скальной стены массива от вершины до подножья, и значительную площадь в верховье ледника всегда занимал перелетовывающий снег обширного лавинного конуса. Именно здесь в настоящее время накапливается новый фирново-ледовый массив.

После «ухода» ледника в тыловой части днища под стеной Джимарайского массива остались две хорошо выраженные «ступени», заваленные мореной – очевидно, остаток льда ледника Колка. Сюда же после катастрофы ещё в течение года достаточно интенсивно продолжал поступать материал обвалов горной породы. Эти моренные ступени теперь начинают закрываться новым льдом.

По нашим наблюдениям в первых числах июля 2006 г., как и в последних числах июня 2003 г., на ложе ледника уже стоял весь зимний снег, не обнаружено крупных снежников. Остатки лавинного снега находились лишь в тыловой части цирка. Рельеф ложа по сравнению с 2003 годом заметно не изменился, муравьиные кучи и валы сгладились, но были еще хорошо видны. Не обнаружено озер, луж, а также поверхностного стока. Очевидно, что сток проходит в толще моренных отложений.

К середине сентября 2009 г. фронт основного нового выдвинувшегося ледника окончательно пересек ложе и достиг подножья левого моренного вала Колки. Поверхность языка заметно выровнялась. Значительная часть льда сместилась в его концевую часть, высота фронта достигала 25-30 м при ширине около 200 м. На крутых его откосах наблюдались частые обрушения, сползания морены, вызванные летним таянием и движением льда. В тыловой части цирка значительно расширился второй участок нового формирования льда на ложе, хотя процесс здесь все еще не так ярко выражен по сравнению с выдвиганием правого притока. Накопление льда хорошо заметно в рельефе новообразующегося массива, поверхность которого

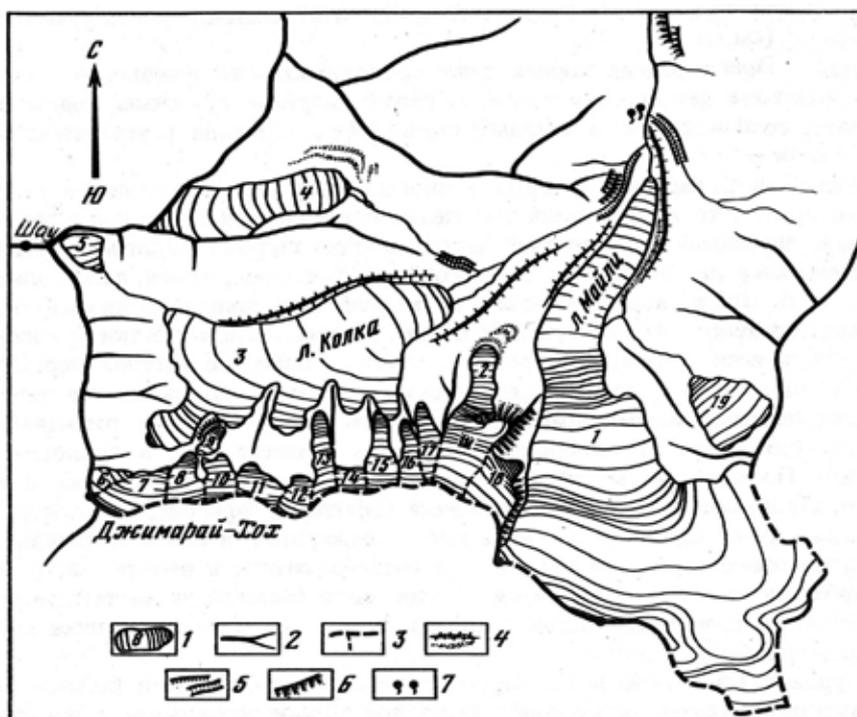


Рис. 1. Ледники верховьев р. Геналдон, 1 – ледник и его условный номер, 2 – линии хребтов и отрогов, 3 – ледоразделы, 4 – моренные валы, 5 – обрывы, 6 – скальные уступы, 7 – минеральные источники.



Рис. 2. Продвижение языка нового ледника на днище цирка Колки, август 2006 г.
Фото Д. А. Петракова

повысилась и представляет собой крупные бугры, засыпанные мореной и разбитые трещинами. Таким образом, продолжается процесс заполнения льдом ложа ледника. В средней и нижней его части постоянно происходит и второй процесс – абляция мертвого льда под мореной. После катастрофы уже летом 2003 г. на днище начали развиваться термокарстовые процессы.

В настоящее время формированию многочисленных воронок и провалов вдоль обоих бортов ложа способствуют талые воды, причем весь сток в цирке превратился в подземный. Мелкие ручьи, обильно стекавшие с правого склона, уже через несколько десятков метров исчезают под мореной. Наиболее крупные термокарстовые воронки глубиной до 15 м развиваются ближе к левому борту, где под мореной проходит сток талых вод от продвинувшегося фронта молодого ледника. Здесь, судя по глубине провалов, толщина погребенного льда может достигать 10 и более метров. Поперечный вал в нижней части цирка, состоящий из льда и камней, прежде называвшийся «ригелем», уже в 2006 г. по сравнению с 2003 г. понизился в центральной части примерно на 10 метров, но у левого края еще сохранялись останцы льда, прикрытые мореной. При обследовании в 2009 г. льда здесь уже не обнаружено.

Ниже «ригеля» талые воды выходят из-под рыхлой толщи на высоте 2890 м несколькими ручьями. Самый значительный из них ближе к правому борту имел расход воды около 1 м³/сек на момент посещения в конце сентября 2009 г. Расход воды в реке Колка недалеко от слияния с р. Майли, измеренный в сентябре 2006 г., составлял 6-8 м³/сек. Это указывает на достаточно интенсивное таяние льда в цирке – на его склонах и в толще морены.

В сентябре 2009 г. на ложе перед фронтом ледника (на высоте 3100 м) и на левой боковой морене (3135 м) были установлены термометрические автоматические датчики для определения температурного режима в цирке при новых изменившихся условиях. Датчики помещались на горизонтальных открытых участках среди камней и были защищены от прямой солнечной радиации. Срочные измерения температуры продолжались в течение года.

По наблюдениям в середине сентября 2009 года, ледовые массы формирующихся тыловых ледников уже тогда сомкнулись своими краями на ложе, образовав единое тело с трехлопастным нижним краем неравномерной высоты и сложной конфигурации. В сентябре 2010 г. общая масса льда выше главного правого потока (№ 13) еще более расширилась, ее левая граница примкнула вплотную к подножью левой морены Колки.

Передовой фронт общего ледового тела принадлежит по-прежнему основному активно наступавшему в прошлые годы притоку. Но его продвижения за год практически не произошло. Язык этого ледника в 2010 г. подвергся на участке днища цирка значительному абляционному выравниванию, трещиноватый характер его поверхности, наблюдавшийся ранее, исчез. Моренный покров стал более равномерным и полностью закрыл поверхность языка. Высота фронта 30, местами 35 м, по всему периметру язык окаймлен шлейфом осыпей моренного материала, чего не было в прошлом году. Ширина языка составила 300 м, абсолютная высота нижней точки 3170 м.

Наиболее интенсивное накопление льда в средней и тыловой частях общего ледникового тела привело к повышению его поверхности, разбитой многочисленными трещинами, до 3300 м. В средней части заметно несколько ступеней – валов, округлых в плане и постепенно уменьшающихся вверх по склону; вероятно, они

образуются из-за неравномерного поступления льда. Моренный материал на них отличается иным составом обломков с более светлой окраской. Здесь внизу у левого края теперь вовлечен в общее накопление льда остаток ступени погребенного льда.

В тыловой части левее массива нового льда, разорванного трещинами, под склоном горы Джимарай-Хох располагается полоса фирнового поля, которое питается лавинными выбросами снега. Ширина фирна в правой его части составляет лишь несколько десятков метров, тогда как в левой, ближе к моренной гряде, достигает 400-500 м. Здесь находятся два крупных лавинно-обвальных конуса высотой до 50 м, поверхность фирна усыпана глыбами камней и щебнем, что подтверждает большую лавинную активность в этой части цирка Колки. Средний уклон фирнового поля от 0 до 10-15 градусов, он увеличивается с севера на юг, в направлении главного поступления снега.

По результатам GPS съемки осенью 2010 г. общая длина всего ледникового массива достигла 1300 м.

Развитие термокарстовых процессов на днище идет менее активно, чем в первые годы после катастрофы, чему способствует, вероятно, увеличение толщины моренного чехла и формирование устойчивой дренажной сети под мореной. Все же мы отметили укрупнение некоторых провалов в центральной части вдоль линии подземного дренажа талых вод; термокарст развивается и в скоплениях мертвого льда на месте бывшего «ригеля».

В 2010 году отмечена активизация еще одного из прежних правых притоков ледника Колка. На расстоянии около 500 метров ниже фронта нового ледника к ложу спускается боковой ледник (бывший № 15, см. рис.1). Поверхность его языка в виде плоского конуса заметно повысилась и покрылась трещинами, заваленными каменным материалом, что указывает на перемещение масс льда в сторону днища.

Осенью 2010 г сняты показания автоматических датчиков температуры, поставленных год назад.

После схода ледника в 2002 г. существенно изменились температурные условия в его бассейне вследствие ряда причин. На днище цирка абсолютная высота поверхности понизилась на 50-100 м до уровня прежнего ложа ледника Колка, исчезло охлаждающее влияние ледникового тела, на месте которого оказался сплошной моренный покров, значительно нагревающийся в летнее время. Над левым краем нового формирующегося ледника поднимается на 200 м (на 50 м по высоте) крутой склон черной боковой морены, обращенный на юг, что создает дополнительный нагрев приледникового воздуха и усиливает таяние.

По данным измерений на ложе, отрицательные средние суточные температуры установились 27 сентября 2009 г. и сохранялись до середины мая 2010 г. (рис. 3). Период минимальных значений (до $-13,0$ °C) температуры здесь наблюдался с конца ноября до середины декабря, в дальнейшем она возросла до начала таяния снежного покрова. На месте установки датчиков на ложе (3100 м) прогрев снежной толщи до 0 °C впервые отмечен 09 мая 2010 г., а окончательный сход снежного покрова произошел 5-6 июня. Средняя годовая температура здесь составила $-0,7$ °C. Период отрицательных температур продолжался 252 дня при среднем значении $-4,5$ °C, а длительность теплого периода в 2010 г. составила не менее 113 дней.

Наши измерения на левой боковой морене показали положительную среднюю годовую температуру поверхности на высоте 3135 м. (Значительный нагрев поверх-

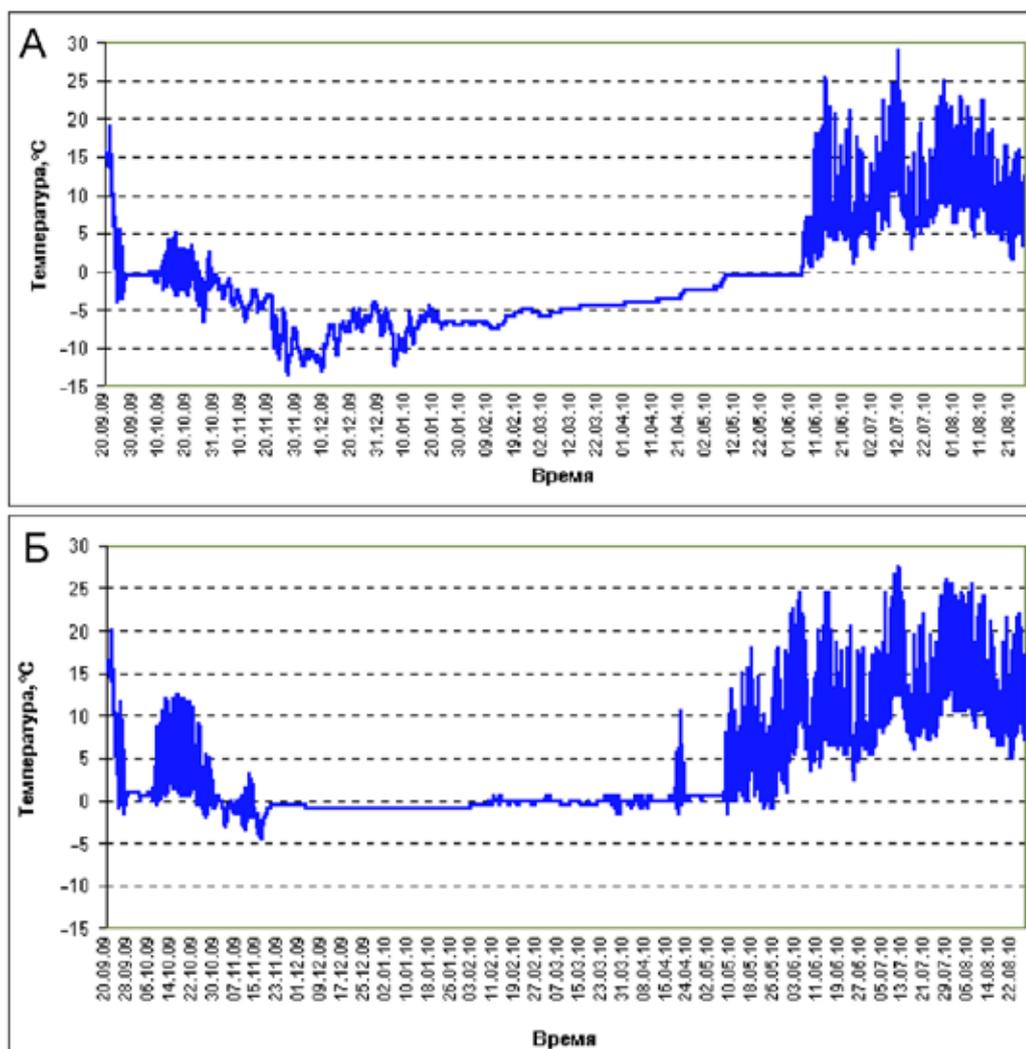


Рис. 3. Ход средних суточных температур 2009/2010 гг. по измерениям: А – на днище цирка, 3100 м; Б – на морене, 3135 м.

ности морены объясняет быстрое исчезновение крупной гряды льда, оставшейся за ней в ложбине после катастрофы, в течение одного-двух лет). Снежный покров на морене сошел весной 2010 г. на 1,5 месяца раньше, чем на днище, – уже 18 апреля. Средняя температура здесь в зимний период также оказалась существенно выше, чем на ложе: около $-1,0$ °С. Сравнение температур показывает, что ложе ледника выхолаживается зимой значительно больше, это задерживает процесс таяния мертвых льдов.

Подобные измерения проводились ранее, в 2004/2005 году на левом борту цирка на высоте 3250 м [Nuggel, 2009]. Средняя годовая температура скального грунта здесь составила $-2,2$ °С, причем датчики были заглублены на 10 см в толщу каменного материала. При сравнении данных необходимо также учитывать рекордно высокие температуры воздуха летом 2010 г. на всей Европейской части России; при этом в высокогорье Кавказа (по данным метеостанции Терскол) средняя температура каждого из летних месяцев с июня по сентябрь превышала норму за полувековой период наблюдений на 2 °С.

По измерениям в сентябре 2010 г., суммарный расход воды в ручье Колка на выходе его из-под морены ниже «ригеля», в середине дня после непогоды составлял в среднем около $1,5 \text{ м}^3/\text{сек}$.

При наблюдениях в цирке на этот раз особенно привлекала внимание чрезвычайная активность камнепадов, в основном в тыловой его части на соединении правого гребня с массивом Джимарай-Хох. Частые обвалы камней и льда не прекращались в период нашего посещения. Там же были хорошо видны локальные участки на стенах, где зарождались камнепады и черные потёки талой воды, причем они совершенно совпадали с теми, что мы наблюдали в 2002-2003, 2006 и 2009 гг. По всей вероятности, это постоянство указывает на эндогенную природу процессов, не затихающих в районе ледника Колка и связанных с вулканическим аппаратом Казбека.

В сентябре 2011 г. в тыловой части цирка высота ледника у скал горы Джимарай-Хох составляла 3350-3400 м. Правая часть ледника заметно выше левой; на фирновом поле множество крупных камней, образовавших «ледниковые грибы» высотой до 60-80 см, что косвенно указывает на величину летнего таяния.

В средней части ледникового тела точки GPS-съемки зафиксировали продвижение его фронта еще на несколько десятков метров. Вектор движения здесь направлен в сторону моренного вала, ледник за год и окончательно закрыл последний участок мертвого льда в тылу цирка. Край ледника надвинулся на подножье моренного вала, поднявшись на 25-30 м.

Нижняя фронтальная часть всего нового ледника осталась по-прежнему стабильной. В отличие от верхних частей ледника, здесь поверхность языка становится близка к горизонтальной. Фронт ледника заметно распластался в правой его части за минувший год, прежде всего за счет оползания и накопления морены у его основания.

Таким образом, продвижение границ возрождающегося ледника в цирке Колки за 10 лет после катастрофы происходило неравномерно. В первые четыре года (до 2006 г.) доминировало выдвигание прежнего правого притока Колки, затем оно сменилось накоплением льда под огромным лавиносбором на склоне массива Джимарай-хох в тыловой части цирка при стабилизации границ общего ледникового тела. За последние три года (2010-2012 гг.) ледник почти не расширил свою площадь, продолжая увеличиваться в объеме в средней и верхней части (рис. 4).

Одним из последних источников информации о размерах нового ледника являются космические снимки ASTER от 20 сентября 2011 г., позволяющие проводить площадные и высотные измерения. Дешифрирование границ формирующегося ледника выполнено с использованием программы GLIMSVIEW по изображениям, синтезированным из трех каналов (0,52-0,6 нм, 0,63-0,69 нм и 0,78-0,86 нм) с геометрическим разрешением 15 м. Снимки прошли предварительную обработку в архиве NASA LP DAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center), где они были орторектифицированы в картографической проекции UTM WGS 84 с использованием программного обеспечения PCI OrthoEngine. Положение границ в 2006, 2009 и 2010 годах было восстановлено по данным наземных GPS-съемок и цифровых фотосъемок (рис. 5).

Площадь ледника соответственно составила: в 2006 г. – $0,17 \text{ км}^2$, в 2009 г. – $0,4 \text{ км}^2$, 2010 г. – $0,57 \text{ км}^2$ и 2011 г. – $0,6 \text{ км}^2$. По предварительным осторожным оценкам, объем ледника порядка 10 млн м^3 . В таком случае это 7,6% объема ледника Колка, измеренного в 1988 г. [Никитин С. А. и др., 2005].



Рис. 4. Ледник Колка 22 сентября 2012 г. (фото Р.А. Чернова)

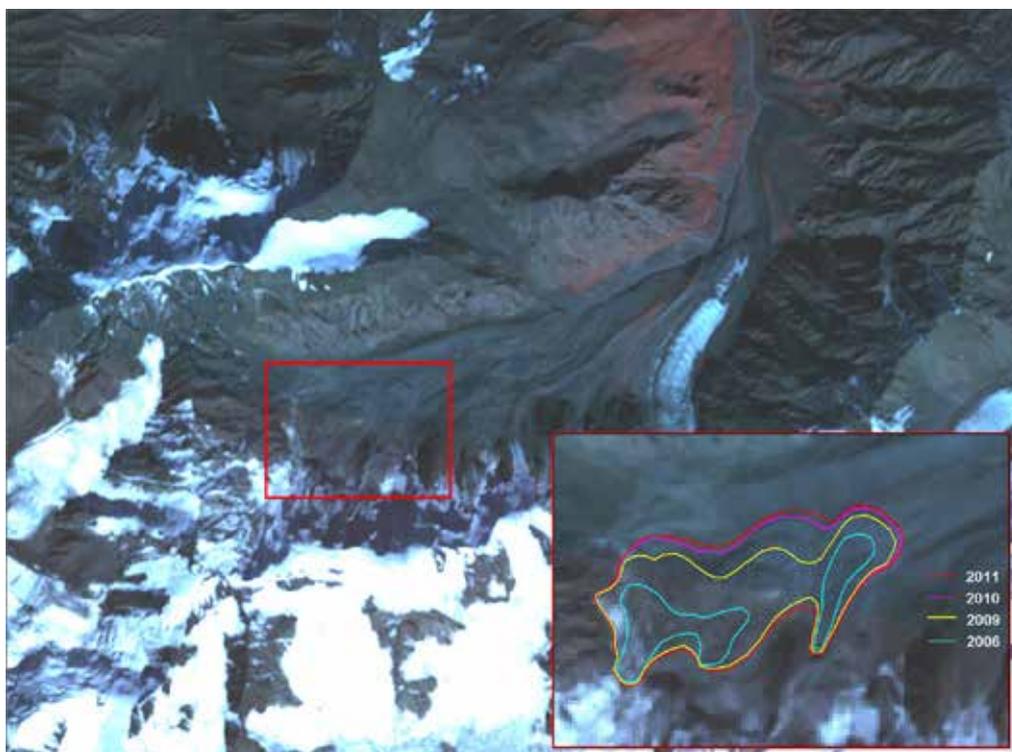


Рис. 5. Космический снимок ASTER от 20 сентября 2011 г.; изменение границ нового ледника в цирке Колки за годы наблюдений.

Заметные изменения за эти годы произошли на конце ледника Майли. Если в 2003 г. мы проходили вверх вдоль ущелья Колки по морене, то в 2006 году здесь путь оказался перекрыт ледовым откосом. Левый край фронта ледника Майли надвинулся влево на морену, поверхность его стала выше на 10-15 метров, была разбита трещинами, часть льда переваливала через моренный вал и сваливалась в ручей Колка. В 2009-2011 гг. здесь по-прежнему сохранялись крутые откосы майлийского льда, покрытые сползающим мокрым моренным материалом. В то же время нижняя часть фронта ледника в глубине долины Майли, на месте грота с выходом реки отступила на десятки метров по сравнению с 2003 годом. Мы считаем состояние ледника Майли в настоящий момент стабильным, он не проявляет признаков активности.

В заключении необходимо отметить: ледник Колка медленно, но возрождается. Для контроля за развитием всех процессов необходимы периодические наблюдения, как наземные, так и аэровизуальные с помощью вертолета. Перспективно также использование космических съемок высокого разрешения. Для расчетов накопления, таяния и баланса вещества вновь образующегося в цирке ледника, как и висячих ледников, нужны метеонаблюдения в ледниковой зоне Колка-Майли, что требует установки здесь (параллельно с поселком Кармадон) автоматической метеостанции. Метеорологический контроль должен сопровождаться высокоточным геодезическим.

Вся предыдущая история ледника Колки говорит о том, что периодически происходят катастрофические события в долине реки Геналдон. С большой вероятностью можно сказать, что она будет и в будущем. Необходимо повторное освоение этой территории проводить с учетом будущей ледниковой катастрофы.

Литература

1. Котляков В. М., Рототаева О. В., Десинов Л. В., Зотиков И. А., Осокин Н. И. Катастрофические последствия грандиозной подвижки ледника Колка на Северном Кавказе // Изв. АН, сер. геогр. 2003. №1. С. 45-54.
2. Котляков В. М., Асоян Д. С., Кононова Н. К., Осокин Н. И., Рототаева О. В. Особенности катастрофических природных процессов на северном Кавказе на рубеже XX-XXI вв. // Изменение окружающей среды и климата. Т. 3. Опасные природные явления на поверхности суши: механизм и катастрофические следствия. М.: ИГ РАН, 2008. С.190-209.
3. Никитин С. А., Веснин А. В., Осипов А. В. Результаты радиолокационного зондирования пульсирующих ледников Кавказа и Памира. // МГИ. 2005. Вып. 99. С. 151-153.
4. Рототаев К. П., Ходаков В. Г., Кренке А. Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. М.: Наука, 1983. 169 с.
5. Haeberli W., Huggel C., Kääh A., Zraggen-Oswald, S., Polkvoj, A., Galushkin, I., Zotikov I., Osokin I. The Kolka-Karmadon rock/ice slide of 20 September 2002: an extraordinary event of historical dimensions in North Ossetia, Russian Caucasus.// Journal of Glaciology, Vol. 50, No. 171, 2004 p.533-546.
6. Huggel C. Recent extreme slope failures in glacial environments: effects of thermal perturbation // Quaternary Science Reviews 28. 2009. P. 1119-1130.

DYNAMICS OF GLACIER KOLKA RECOVERY PROCESSES AFTER THE CATASTROPHE OF 2002

**V. M. Kotliyakov, academitian RAS, N. I. Osokin, Sc. Candidate (Geography),
O. V. Rototaeva, Sc. Candidate (Geography), G. A. Nosenko, Sc. Candidate
(Geography)**

Institute of Geography of RAS, Moscow, Russia, e-mail: igras@igras.ru

Dynamics of glacier Kolka recovery processes after the catastrophe of 2002 is investigated. During field works there were performed GPS measurements, photo survey from reference points, obtained data from temperature data loggers, etc. After the fall of glacier in 2002 temperature conditions in its basin had been significantly changed. In 10 years borders of recovering glacier were changed irregularly.

Keywords: glacier Kolka, temperature conditions, recovery dynamics

УДК 551.3

ЛОКАЛЬНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА БАЗЕ ИНТЕГРИРОВАННОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА (ГЕОЛОГИЧЕСКОГО, СЕЙСМИЧЕСКОГО, ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО И ДР.)

© 2013 Васьков И. М. к.г.-м.н.

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Россия 362021, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, e-mail: vaskov_im@mail.ru

В статье рассматриваются возможные направления локального прогнозирования опасных природных процессов на основе совместного анализа баз данных и режимной информации различных систем наблюдения и мониторинга геодинамики внешних оболочек Земли – литосферы, гидросферы, атмосферы. Сформулированы задачи и определены проблемы создания системы интегрированного анализа данных наблюдений и прогноза опасных природных процессов

Ключевые слова: системы наблюдений, мониторинга, энергия эндогенная и экзогенная, природная среда, энергетические поля, интегрированный анализ.

Геналдонская катастрофа 20 сентября 2002 года явилась событием мирового масштаба, но не только вследствие своей неповторимости, как природного явления. Основа её уникальности заключается в том, что произошла она в настоящее время на заселенной, легко доступной территории с развитыми системами наблюдений и мониторинга природной среды – геологического, сейсмического, гидрометеорологического. Данные обстоятельства и интенсивные исследования последствий катастрофы «по свежим следам», проведенные учёными России и мирового сообщества, позволили выявить причины её возникновения, характерные признаки подобных событий, произошедших в прошлом, в других долинах и регионах, а также место ледово-каменных обвалов в ряду опасных гравитационных процессов. Палеорекострукция гигантского события, прошедшего по долине реки Гизельдон около 8 тыс. лет назад [Васьков, 2011], блестяще подтвердилась результатами буровых работ при инженерно-геологических изысканиях [Запорожченко, 2011].

В результате десятилетних исследований выявлено генетическое единство перманентно развивающихся опасных гравитационных процессов и связь типов их проявления с современной геодинамикой, в общем, и горноклиматической зональностью, в частности.

В литературе, посвященной катастрофическим событиям природного характера, описано множество подобных событий, которые происходили неоднократно в других горных странах мира, испытывающих современный орогенез. При этом специалисты расходились во мнениях, при рассмотрении генетической сущности этих явлений. Так, например, Уаскаранские события 1962 и 1970 г. рядом исследователей, [Уолтхэм, 1982, Федоренко, 1988], отнесены к типу гигантских обвалов, други-

ми, [Виноградов, 1980, Херхеулидзе, 1972] к типу катастрофических селевых потоков. Тенденция рассмотрения каждой катастрофы этого ряда, как исключительного явления не связанного с геологической средой, а также её освещение с позиций одного научного направления, сохранилась и в настоящее время.

Однако, возрастающий экономический ущерб, связанный с интенсивной экспансией человека в горы, и частота воздействия опасных экзогенных процессов на объекты экономики северного склона Большого Кавказа и, главное, гибель людей обязывают научное сообщество искать новые пути прогнозирования природных катастроф. При этом «на выходе» основными прогностическими характеристиками должны быть место и время возможного события, интенсивность и размеры зоны поражения с оправдываемости прогнозов не менее 70%.

В результате изучения Геналдонской катастрофы был выявлен её генезис и связь с другими типами гравитационных процессов, признаки и основные параметрические характеристики, среди которых и энергетическая компонента высокоскоростного лавинообразного потока.

Отталкиваясь от современных представлений о главенствующей роли эндогенной энергии при горообразовании в зонах континентальной коллизии, каковой является Большой Кавказ в настоящее время, можно представить, как горизонтальное перемещение блоков земной коры в результате торошения поднимает их на тысячи метров выше уровня океана, что приводит к накоплению потенциальной энергии.

Воздействие экзогенной энергии на границе раздела земная кора – гидросфера – атмосфера, разрушает горные породы, высвобождённая потенциальная энергия переходит в кинетическую и реализуется в виде гравитационных процессов различных типов. Суммарные энергия и масса таких процессов настолько велики, что вмешательство Человека в их развитие не только бесполезно, но и крайне опасно, поэтому основным способом исключения человеческих жертв и снижения ущерба от природных катастроф является их прогнозирование по месту, времени, интенсивности, размерам и форме зон поражения.

Применяемые методики локального прогноза отдельных типов опасных процессов на основе только ограниченного набора общепринятых факторов (например, климатического и вещественного для прогноза оползней) до настоящего времени не дали положительных результатов. Попытка прогнозирования «пульсаций» ледника Колка, предпринятая К. П. Ротогаевым и другими в 1983 г. не подтвердилась последующим развитием событий. Временная последовательность обвалов на Девдоракском леднике не укладывается в ритмический ряд, обусловленный изменениями климатических параметров и, следовательно, на этом основании не может быть прогнозируема исходя из существующей теории пульсации ледников [Васьков, 2011].

Детальное изучение генезиса как Геналдонской катастрофы 2002 г., так и ей подобных, однозначно показало их связь с современной эндогенной геодинамикой и пространственную приуроченность массового проявления обвалов (в т.ч. и ледово-каменных), оползней, каменных глетчеров и т.д. к выходам на земную поверхность дизъюнктивов взбросо-надвигового характера. Причём современное пространственное положение и перемещение породных блоков этих структур носит «мозаичный» характер, что, по всей вероятности, отражает места выхода потоков эндогенной энергии на земную поверхность [Васьков, 2004, 2005, 2006, 2007а, 2007б, 2008, 2011].

Изменения окружающей среды, в т.ч. и вызываемые текущим орогенезом, отмечаются существующими сетями мониторинга – сейсмического, геологического и гидрометеорологического. И если, результирующие режимных гидрометеорологических наблюдений учитываются при составлении фоновых прогнозов опасных гравитационных процессов, то материалы режимных наблюдений локальных и региональных сейсмических сетей, гидрогеодеформационного (ГГД) поля и электромагнитного излучения (ЭМИ) остаются в этом плане не востребованными. Не учитывается также геологическая информация о строении и динамике верхней части земной коры.

Очевидно, что методология выработки сложных среднесрочных локальных прогнозов катастрофических возмущений природной среды должна строиться с учётом как можно большего количества регулярно регистрируемых параметров.

Под природной средой в данном случае понимается земная кора и её внешние оболочки – гидросфера, атмосфера и, в какой-то степени, биосфера с учётом их общей динамики развития.

Основываясь на сказанном выше можно сделать вывод, что сейсмическое событие любого ранга, также как и быстро текущие катастрофические каменные и ледово-каменные обвалы на поверхности (как и все гравитационные процессы), являются результатом разрядки накопленной потенциальной энергии, передаваемой в верхние слои литосферы в результате коллизионного горообразования. Т.е. энергетически и генетически все проявления опасных геологических процессов отдельно взятого района связаны между собой. Анизотропия масс и очень сложная морфология непосредственного контакта взаимодействующих литосферных плит приводит к возникновению блоковой (мозаично-ячеистой) структуры в зоне коллизии. Соответственно, выход эндогенной энергии на поверхность происходит по каналам разобщённым в пространстве и во времени в виде «энергетических потоков или колонн». Телескопирование такой колонной толщи литосферы сопровождается возникновением и вариациями разнотипных физических полей. А производные этих полей вызывают возмущения в земных оболочках облекающих литосферу.

Динамика части отмеченных энергетических полей на протяжении 100-150 лет отслеживается системами гидрометеорологического и сейсмического мониторинга – геологическими, геофизическими и другими наблюдениями. Обработка полученной информации производится исключительно в рамках каждой системы по «своим», ведомственным методикам. Но, при этом добротные прогнозы производятся лишь на основе гидрометеорологического мониторинга.

Но, если земная кора и её внешние оболочки – гидросфера, атмосфера и биосфера имеют общую динамику развития, то и динамика сопутствующих физических полей также единая.

Следовательно, для получения локальных прогнозов природных, в том числе и геологических, опасностей необходима интегрированная обработка информации как можно большего числа систем наблюдения природной среды.

В результате интегрированного анализа не исключена, например, вероятность выявления зависимости частотных характеристик электромагнитного излучения от вещественного состава кристаллических пород (основности). Изменения звуковых частот от ультра до инфразвука, вероятно, могут быть сопоставлены с мощностью лопающихся в толще земной коры пластов и пачек хрупких пород. В условиях резко расчлененного рельефа Большого Кавказа со значительными (до 4-5 км) перепадами высот, прекрасной обнажённостью и высокой степенью геологической из-

ученности вполне возможно добротное определение петрофизических, в том числе и чисто сейсмических, характеристик различных типов пород в приповерхностных условиях с последующим их прослеживанием на глубину. На построенной таким образом модели геологического строения Большого Кавказа возможна отработка прогнозных вариантов развития его общей геодинамики.

Так, одним из важнейших видов информации для построения геодинамической модели, в частности, являются данные действующих региональных и локальных сейсмических сетей Северного Кавказа. Например, гипоцентры (фокусы) землетрясений в земных недрах располагаются в пределах современных разломов, которые являются поверхностями смещения блоков горных пород относительно друг друга. В верхних слоях Земли такие подвижки приводят к созданию и развитию горных стран, причем формирование наиболее грандиозных сооружений происходит и в настоящее время, это, Альпийско-Гималайский горно-складчатый пояс, куда входит и Кавказ, Тихоокеанское огненное кольцо с Кордильерами и Андами. Зоны активного развития опасных экзогенных процессов (оползни, сели, обвалы, осыпи) отчётливо маркируют границы современного смещения блоков на поверхности Земли, как в макро-, так и в микромасштабах. В приповерхностных условиях возможно выделение объектов площадью в первые десятки км². Характерно, что в зонах выхода современных разрывных структур на земную поверхность отмечаются максимальные риски аварий всех типов на линейных коммуникациях, это железные и автомобильные дороги, трубопроводы, линии электропередачи и связи, а также городских агломераций.

Обработка суммированного информационного массива прошлых лет вполне возможна на основе современных геоинформационных технологий. Они позволяют в режиме реального времени обрабатывать весьма значительные объёмы информации по различным направлениям, связанным общим алгоритмом. В рассматриваемом случае это современная геодинамика Большого Кавказа. В Кубанском государственном университете (Краснодар) под руководством проф. Погорелова А.В. разработана и реализована методика всестороннего морфометрического анализа рельефа горных территорий [Погорелов и др., 2007; Погорелов, Думит, 2009], а также на базе ArcScene (ArcGIS, ESRI) создано приложение для манипуляций с 3D объектами. Цифровая модель рельефа Большого Кавказа и производные этой модели вкуче с аппаратом морфометрического анализа может служить основой всех остальных построений, являясь при этом одной из ключевых составляющих интегрированного прогноза опасных природных процессов.

Основой комплексной системы интегрированной обработки и выработки прогнозов на начальном этапе могут служить следующие виды и типы информации по действующим сетям.

Мониторинг геологической среды – геологические, тектонические и геоморфологические карты, карты условий развития ЭГП, данные оперативного контроля изменений геодинамической обстановки в опасных районах на основе геодезических и геофизических наблюдений, наблюдения за изменениями крутизны потенциально опасных склонов.

Сейсмический мониторинг – каталоги землетрясений, как прошлых лет, так и вновь выявленных в режиме реального времени, информация о динамике геофизических полей (ГГД и ЭМИ) как за прошлые годы, так и текущая, данные по ионосферным возмущениям.

Эта информация может являться основой для построения положения в пространстве современных сейсмофокальных поверхностей отдельных движущихся блоков с определением следов их пересечения с рельефом, выявление мелко фокусных землетрясений на подконтрольной территории и определение их принадлежности к конкретным разрывным структурам в режиме реального времени.

Гидрометеорологический мониторинг – данные режимных гляциологических и гидрологических наблюдений, информация об изменениях климатических характеристик, динамики гидрометеорологических процессов в пределах выделенных потенциально опасных территорий.

Логичной представляется следующая последовательность обработки информации и выработки прогнозов.

На первом этапе, на основании анализа геологических, тектонических, гляциологических и других специализированных карт выявляются места, потенциально благоприятные для развития катастрофических обвалов, оползней, селей и т.д. По возможности уточняются направления и относительные скорости перемещения подвижных тектонических блоков относительно друг друга. Анализируются каталоги сейсмических событий для выявления наличия и активности приповерхностных и мелкофокусных землетрясений с силой от порога чувствительности сейсмоприёмников и выше. При заметной активности подобных землетрясений и, особенно, при её нарастании отстраиваются сейсмофокальные поверхности и сравниваются с положением известных в районе современных дизъюнктивных структур.

По результатам камеральных работ первого этапа в выявленных потенциально опасных районах проводится комплекс целевых полевых исследований. На основе полевых исследований выделяются объекты, где подобные события происходили в прошлом, определяются их параметры – объёмы и максимальная наблюдаемая дальность выброса материала, поражаемые зоны и хозяйственные объекты, в настоящее время находящиеся в пределах зон воздействия катастроф прежних лет, возможная повторяемость событий.

Результаты работ первого этапа ложатся в основу построения карт долгосрочного (фонового) прогноза с возможной повторяемостью событий раз в 200-1000 лет.

На втором этапе, после выявления конкретных потенциально опасных объектов, непосредственно в их пределах выстраивается достаточная система дополнительных инструментальных наблюдений. Такая система, данные которой могли бы быть использованы для выработки среднесрочного прогноза, на промежуток времени от года до месяца, определения возможных границ зоны поражения.

Предлагаемая комплексная система даёт возможность выработки краткосрочных локальных прогнозов ЭГП с уточнениями и совершенствованием на этапе внедрения и освоения. Продолжение исследований в этом направлении позволит уточнить взаимозависимость влияния природных факторов на формирование катастрофических ОГП, конкретизировать признаки и, в конечном счете, определить алгоритмы обработки информации, которые позволят с достаточной точностью рассчитывать место и время события, его возможные размеры и границы зон поражения.

Возможность выработки более детальных (краткосрочных) прогнозов на настоящем этапе изучения проблемы не рассматривается в виду её большой сложности и недостатка детальных наблюдений, особенно полевых.

Основные виды используемой информации.

- Данные локальных и региональных сейсмических сетей – координаты гипоцентров землетрясений, независимо от их энергетического уровня.
- Геологические карты, разрезы, сейсмические профили, карты условий развития опасных экзогенных процессов, палеокарты верхнего кайнозоя и т. д.
- Информация о динамике изменения климатических характеристик и режиме движения ледников, каменных глетчеров, оползней, селей, обвалов и осыпей за обозримый период наблюдений в регионе.

Основные принципы исследований.

- Построение пространственной (объёмной) модели размещения гипоцентров землетрясений, совмещённой с геологической картой поверхности.
- На основе полученной модели, определение современных тектонических границ активных блоков земной коры.
- Уточнение положения современных тектонических границ активных блоков земной коры на поверхности.
- Установление корреляционных связей выходов современных активных тектонических структур на поверхность с опасными экзогенными и эндогенными процессами во времени и пространстве. Одновременно должна быть выявлена связь коммуникационных аварий и аварийных ситуаций всех типов на застроенных площадях с современными тектоническими процессами.
- Создание программного обеспечения для построения пространственных моделей геологической среды, обеспечивающих их пополнение и функционирование как инструмента прогнозирования опасных экзогенных процессов (ОЭП) в режиме реального времени.
- Определение зависимости изменения частотных характеристик инфразвука, возникающего при сейсмических событиях, от площади разрыва, разрушаемых в зоне гипоцентра хрупких горных пород, вкупе с известными предвестниками землетрясений, может быть полезным при прогнозировании землетрясений.

На пути решения поставленных задач интеграционной выработки прогнозов четко определяются две проблемы.

Техническая. Современные информационные технологии и геоинформационные системы позволяют обрабатывать гигантские объёмы информации в режиме реального времени, строить алгоритмы и прогнозы. Необходимые банки информации прошлых лет – имеются.

Субъективная. Для понимания сути этой части трудностей, приведём высказывание директора ИФЗ В. Н. Страхова о возникших проблемах конца восьмидесятых: «Первая из них – психологический климат среди ученых, занимающихся вопросами оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений. Естественно ожидать, что сам гуманный характер стоящих перед ними задач должен был бы спланировать их. На самом деле ничего подобного нет: специалисты разбились на ряд соперничающих группировок, занятых бесконечной неконструктивной критикой и взаимными обвинениями, и если в публичных выступлениях политес еще как-то соблюдается, то в кулуарах страсти переходят все мыслимые границы...» («Природа», №12, 1989 г., стр. 9).

К сожалению, мнение Владимира Николаевича Страхова (1989 г.) и в настоящее время не потеряло своей актуальности. Вопросы обмена оперативными данными и актуальными идеями превращены в финансовые и заострены настолько, что любая

«ведомственная» информация обрела статус сверх секретной, или, как минимум, сверх дорогой.

Но, остаётся надежда, что добрая воля учёных и специалистов-практиков различных областей знаний, объединенных благородным стремлением спасения человеческих жизней, способна преодолеть трудности и сложности создания действенной комплексной системы прогнозирования опасных и катастрофических природных процессов. Сделав это, мы выполним великую гуманитарную миссию, возложенную на нас самой Природой примером Геналдонской катастрофы!

Литература

1. Васьков И. М. Возможный механизм обвала и динамика движения ледово-каменных масс в верховьях р. Геналдон (на Центральном Кавказе в сентябре 2002 года). Вестник Владикавказского научного центра №2, том 4, 2004, с. 34-45.
2. Васьков И. М. Параметрические характеристики катастрофического обвала в долине ледника Колка. Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН №1 (13), 2005, Нальчик, с. 73-80.
3. Васьков И. М., Гончаров В. И. К вопросу о признаках и возможности прогнозирования природных катастроф типа Геналдонской в Горной Осетии. Труды Северо-Кавказского горно-металлургического института (ГТУ), Владикавказ, 2006, с. 239-254.
4. Васьков И. М. Гончаров В. И. Признаки проявления и возможности прогнозирования природных катастроф в горных районах (на примере Геналдонской катастрофы 20.09.2002 г.). Труды ЮНЦ РАН, Т. III, Биоразнообразие и трансформация горных экосистем Кавказа. Из-во ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, 2007а, с. 11-28.
5. Васьков И. М., Мотозюк Г. К., Турлов И. С. Некоторые особенности отложений раннечетвертичного гляциального селя по реке Гизельдон (Северная Осетия). Материалы VI Международной конференции 20-30 мая 2007 г. «Инновационные технологии для устойчивого развития горных территорий», Владикавказ, 2007б, с. 214-215.
6. Васьков И. М. Геологические и морфологические особенности строения долин – генераторов катастрофических ледово-каменных обвалов в Казбек-Джигарайском горном узле, Северный Кавказ. Бюллетень МОИП, Отдел геологии, 2008, Т. 83, вып. 2, с 75-84.
7. Васьков И. М. Ледово-каменные обвалы и их прогнозирование. Опыт Геналдонской катастрофы, Центральный Кавказ. Монография. LAP LAMBERT Fcademic Publishing. Саабрюкен, Германия. 2011, 233 с.
8. Васьков И. М. К вопросу об устойчивости естественных плотин в горных условиях. М. ГеоРиск №1, 2011, с. 38-42.
9. Виноградов Ю. Б. Этюды о селевых потоках. JL, Гидрометиздат, 1980.
10. Запороженко Э. В. и др. Отчёт по инженерно-геологическим изысканиям «Строительство обводного канала головного узла Гизельдонской ГЭС с восстановлением бассейна суточного регулирования (БСР) до проектных размеров». Пятигорск, ОАО «Севкавгипроводхоз», 2011, 154 с., 4 черт.
11. Погорелов А. В., Салпагаров А. Д., Киселёв Е. Н., Куркина Е. В. Геоинформационный метод в практике региональных физико-географических исследований. Труды Тебердинского государственного биосферного заповедника, вып. 45, 2007, 199 с.

12. Погорелов А. В., Думит Ж. А. Рельеф бассейна р. Кубани: морфологический анализ. Молсква, ГЕОС, 2009, 206 с.
13. Уолтхэм Т. Катастрофы: неистовая Земля. Ленинград: Недра, 1982, с. 223.
14. Федоренко В. С. Горные оползни и обвалы, их прогноз. Издательство МГУ, 1988, 214 с.
15. Херхеулидзе И. И. Скорости течения и русловые характеристики селевых потоков. Труды ЗапНИГМИ, 1972, вып. 40 (46), с. 134-180.

**LOCAL FORECASTING OF HAZARDOUS EXOGENOUS
PROCESSES ON THE BASES OF INTEGRATED ANALYSIS OF
DATA OF OPERATING MONITORING SYSTEMS (GEOLOGICAL,
SEISMIC, HYDROMETEOROLOGICAL, ETC.)**

I. M. Vaskov, Sci. Candidate (Geol.)

North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University),
Vladikavkaz, Russia, e-mail: vaskov_im@mail.ru

УДК 551.217

ПЕРЕОТЛОЖЕННЫЕ ВУЛКАНИТЫ СВИТЫ РУХС-ДЗУАР: ПРОБЛЕМА МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПАЛЕОВУЛКАНИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА ИХ СНОСА (СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ, КАВКАЗ)

**© 2012 Газеев В. М., к.г.-м.н., Гурбанов А. Г., к.г.-м.н., Докучаев А. Я.,
к.г.-м.н., Лексин А. Б.**

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской Академии наук (ИГЕМ РАН), Россия 117019, Москва, Старомонетный пер., 35, e-mail: gurbanov@igem.ru

В работе выявлены петрохимические и геохимические отличия вулканитов из свиты Рухс-Дзуар от вулканитов Казбекского и Кельского районов, произведена прогнозная оценка запасов вулканогенного материала. Проведен сравнительный анализ мест предполагаемого расположения палеовулканических построек в зоне Бокового и Главного хребтов Большого Кавказа (вулкан Казбек, Бартуидон-Танадон-Урухский вулканический район) с Верхне-Чегемской и Эльбрусской кальдерами.

Ключевые слова: вулканиты, свита Рухс-Дзуар, палеовулканические постройки

В Осетинской впадине, расположенной в пределах Терско-Каспийского передового прогиба (ТКПП), в разрезе акчагыл-апшеронских отложений (верхний плиоцен – 2,58-1,81 млн. лет) присутствует толща с переотложенным вулканическим материалом, выделенная В.П. Рентгартеном в 1932 г. как «свита Рухс-Дзуар». До сих пор проблемы источника (источников) вулканитов свиты, их местоположения и механизмов транспортировки остаются дискуссионными.

Геология и петрохимия свиты Рухс-Дзуар

Свита Рухс-Дзуар (СРД) акчагыл-апшеронского возраста распространена в южной части Осетинской впадины и обнажена на поверхности в полосе Черных гор, где она залегает с размывом и угловым несогласием на породах лысогорской и награновской свит. Все исследователи отмечают непостоянство (по простирацию) состава СРД. В ее составе преобладают слабо сцементированные валунно-галечниковые конгломераты, переслаивающиеся с линзовидными прослоями дресвяных образований, гравелитов, песков, желто-бурых глин и суглинков. Часто встречаются глыбы (до 1-2 м) андезитов и дацитов. Характерной особенностью свиты является преобладание в ее составе галек и валунов эффузивных и древних кристаллических пород. Реже отмечаются обломки осадочных пород – песчаников и известняков. На отдельных участках в разрезе свиты встречаются прослой вулканогенных пород – туфо-песчаников, пемзовидных пеплов и продуктов их перемыва, при общем содержании вулканитов до 25-30% от объема свиты, а иногда и более. Мощность прослоев вулканогенных пород достигает 60-80 м. Местами отмечаются горизонты, сложенные одним вулканогенным материалом (до 5-6 м), и глыбы эффузивов размером до 6 м в поперечнике [Белуженко и др., 2009; Великовская, 1959; Январев, 2009]. В изученном нами разрезе в Гизельском карьере ПГС, свита Рухс-Дзуар



Рис. 1. Пепловый горизонт в основании видимого разреза свиты Рухс-Дзуар.

имеет довольно сложное строение. Кроме аллювиальных отложений с окатанными обломками вулканитов выявлены отложения лахара и пепловые горизонты (рис. 1). Вулканогенный материал в разрезах распределен неравномерно, его количество возрастает на Урсдон-Ардонском, Гизельдонском и Камбилеевском участках. На двух первых отмечено значительное (более чем в 2 раза) увеличение ширины полосы выходов свиты на дневную поверхность. Мощность отложений свиты в этой полосе выходов достигает 400-1000 м, а в южной части Осетинской впадины она более 1200 м. Значительную роль в образовании отложений свиты играли флювиально-пролювиальные, селевые и лахаровые катастрофические процессы. Восточнее р. Камбилеевки, в Ингушско-Чеченской подзоне, возрастным аналогом свиты Рухс-Дзуар является Сейвендукская свита, однако в ее составе преобладают осадочные породы, а количество эффузивов уменьшается [Белуженко и др., 2009].

Для сравнения петрохимических особенностей вулканитов СРД нами из Гизельского карьера и из русел рек Дур-Дур, Майрам-дон и Суадаг было отобрано 40 образцов, которые были проанализированы методом РФА в ИГЕМ РАН. Составы этих вулканитов сравнивались с неоплейстоцен-голоценовыми вулканитами Казбекского, Кельского вулканических центров и с третичными вулканитами, обнажающимися на территории Южной Осетии на широте г. Цхинвал в междуречье Большая и Малая Лиакхва (рис. 2). На диаграмме $\text{SiO}_2 / (\text{Zr}/\text{TiO}_2 \cdot 10^{-4})$ вулканиты СРД, Казбекского и Кельского вулканических центров группируются в поле андезитов, риодацитов и дацитов. Третичные вулканиты, являющиеся, по-видимому, возрастными аналогами вулканитов СРД, образуют компактный рой фигуративных точек в поле андезитов и субщелочных андезибазальтов. На бинарных диаграммах $\text{P}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$, $\text{K}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ и $\text{K}_2\text{O}/\text{Rb}$ видно, что вулканиты СРД образуют собственное компактное поле фигуративных точек, имеющее незначительное перекрытие с вулканитами Казбекского и Кельского вулканических центров и отличаются от последних по содержанию K_2O , P_2O_5 и Rb.

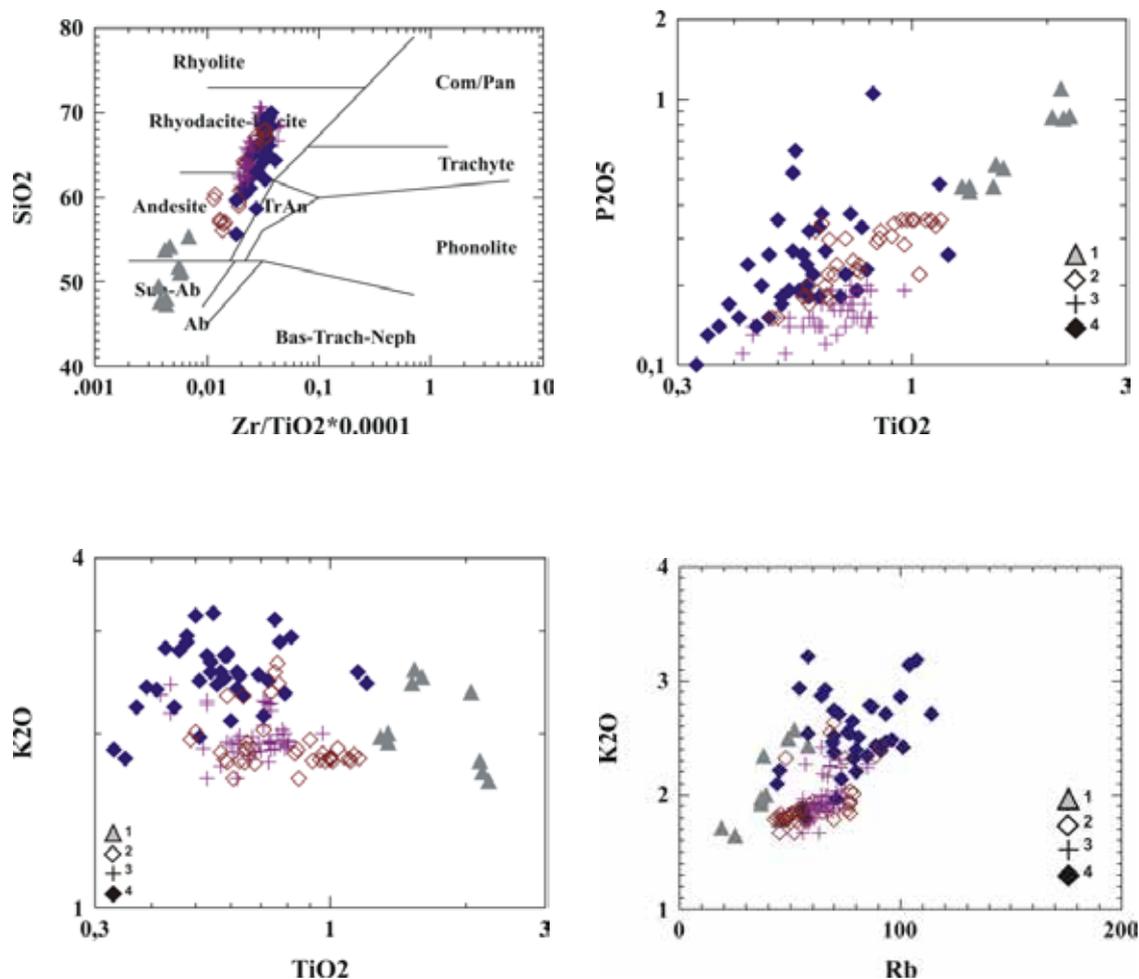


Рис 2. Диаграммы $\text{SiO}_2 / (\text{Zr}/\text{TiO}_2 \cdot 10^{-4})$, $\text{P}_2\text{O}_5 / \text{TiO}_2$, $\text{K}_2\text{O} / \text{TiO}_2$, $\text{K}_2\text{O} / \text{Rb}$.
 Условные обозначения: Вулканы: 1 – свиты Рухс-Дзуар; 2- Казбека; 3- Кельского
 вулканического района; 4 – третичные вулканы Южной Осетии.

Обсуждение результатов

В результате проведенных петрохимических исследований установлено, что вулканы СРД имеют четкие отличия, по ряду петрохимических и геохимических параметров, от близких по составу неоплейстоцен-голоценовых вулканитов Казбека, позднеплейстоцен-голоценовых вулканитов Кельского вулканического района, что согласуется с выводами Н.В. Короновского [Короновский, Демина, 1994, 2003]. Они также отличаются от третичных вулканитов Южной Осетии. Поэтому, вполне правомерно предположение о том, что находящиеся в составе СРД обломки вулканитов не могли быть снесены в предгорную впадину из выше указанных вулканических центров и должны иметь иной, свой собственный источник. В связи с этим возникает вопрос, где могли бы располагаться эти палеовулканы, поставлявшие вулканические породы в свиту Рухс-Дзуар. На этот счет существует несколько противоречивых точек зрения, согласно которым «загадочный» объект (объекты) находились: 1) в районе более молодого (неоплейстоцен-голоценового) вулкана

Казбек, а в настоящее время он полностью эродирован или был погребен под более молодыми лавами Казбека [Короновский, Демина, 2003; Корсаков и др., 1989]; 2) это была группа вулканов, расположенных между вулканом Казбек на востоке и долиной р. Черек на западе. В результате позднеальпийского орогенеза вулканические постройки были полностью эродированы, а слагавший их вулканогенный материал был быстро снесен в Терско-Каспийский предгорный прогиб [Корсаков и др., 1989]; 3) вулканы располагались не в зоне Главного или Бокового хребтов Большого Кавказа, а значительно севернее, и в настоящее время погребены в Осетинской впадине под мощными четвертичными отложениями [Марков и др., 2000; Милановский и др., 1968; Смирнова, Бражник, 1970; Январев, 2009]. Рассмотрим эти предположения подробнее.

Вулканические породы присутствуют преимущественно в СРД акчагыл-апшеронского возраста и реже в ее возрастном аналоге – Сейвендукской свите. Они встречаются практически по всей периферии Осетинской впадины, площадь которой только на территории Северной Осетии-Алании составляет ~2600 км². Если допустить, что объем вулканитов в разрезе свиты достигает 10-15% (хотя он вдвое больше), тогда при средней мощности свиты 400 м на долю вулканитов будет приходиться примерно 40-60 м. Следовательно, на площади 2600 км² может быть погребено до 104-156 км³ вулканитов. Объем в 100 км³ нам представляется вполне реальной величиной в связи с тем, что мощность СРД местами возрастает до 1000-1200 м. Кроме того, часть вулканического материала находится в Сейвендукской свите, а возможно и в Кабардинской впадине, а в виде пемзовидного туфа и в более удаленных структурах. Отметим также то, что крупные глыбы вулканических пород в акчагыл-апшеронских разрезах известны и севернее Осетинской впадины – в районе Терского хребта [Смирнова, Талалаев, 1967]. На Большом Кавказе известна сопоставимая по объему вулканического материала позднеплиоценовая Верхне-Чегемская кальдера. Русла рек в пределах этой структуры имеют глубину эрозионного вреза до 2 км, тем не менее, сама структура эродирована не более чем на 40-50% [Корсаков и др., 1989]. Отметим также, что под посткальдерным вулканом Эльбрус установлен синкальдерный вулкан Кюкюртли, прорванный одноименной экструзией. Сохранившийся разрез кальдерной толщи составляет более 1 км [Газеев, 2003]. Исходя из вышеизложенного, нет оснований предполагать, что под позднеплиоцен-голоценовым вулканом Казбек может находиться «невидимый» более древний вулкан, с которого, в процессе эрозии, было снесено и переотложено в Осетинской впадине около 100 км³ вулканических пород. При наличии такого вулкана, образования, синхронные со свитой Рухс-Дзуар, должны были бы присутствовать и в Куринской впадине в Грузии, но там они не известны.

Можно также предполагать, что это был Казбек и еще несколько вулканов, расположенных на северном склоне Главного хребта вплоть до долины р. Черек. Отметим, что единственное место, где есть некии андезитового и дацитового составов (они могли быть подводными каналами для мелких вулканов) и небольшой останец лавового потока площадью несколько сотен м², находится в междуречье Бартуидон – Танадон – Урух. Вулканиты этой системы сносились по долине р. Урух в район Осетинской впадины, но их было явно недостаточно (судя по количеству обломков вулканитов среди аллювиальных и флювио-гляциальных отложений в составе разновозрастных террас в этой долине) для накопления свиты Рухс-Дзуар.

Вулканы «in situ» могли находиться и в самой Осетинской впадине. Эта точка зрения базируется на результатах геофизических исследований и данных бурения. Напомним, что в центральной части Осетинской впадины установлен Нартовский электрический максимум (ρ_k), территориально совпадающий с ним максимум приращения силы тяжести, а также выделены и вторичные, концентрической формы, максимумы – Кадгаронский и Нартовский. Здесь же выявлены две аномальные области повышенных значений средней напряженности поля теллурических токов, а в районе кадгаронского максимума (аномалии) силы тяжести зафиксирована интенсивная магнитная аномалия (ΔZ), достигающая величины 900 γ [Смирнова, Бражник, 1970; Марков и др., 2000].

Таким образом, на основании анализа геофизических данных и специфики состава вулканогенно-осадочного комплекса плиоценового возраста в Осетинской впадине, создается впечатление, что гравито-магнитно-электрические максимумы отражают глубоко залегающее тело, экранированное в кровле вулканогенно-осадочными образованиями плиоценового возраста с высокой плотностью, магнитной восприимчивостью и высоким удельным сопротивлением. Такими породами могут быть эксплозивные образования, лаво- и туфобрекчии, разделенные горизонтами туфов, осадочных пород и перемещенного материала типа лахаров. В четвертичных отложениях над Нартовской структурой фиксируется впадина. Мощность четвертичных отложений в скважинах № 54 и № 55 вдоль Кадгаронского профиля, проходящего через впадину, составляет 749-759 м, а в соседних районах – 500-600 м [Смирнова, Бражник, 1970].

Известно, что ареалы вулканизма обнаруживают связь с межблоковыми шовными зонами. Одной из таких зон на Большом Кавказе является Пшекиш-Тырныаузская шовная зона. На ее сочленении с субмеридиональными разломами расположено несколько крупных вулканических центров – Эльбрусский, Верхнечегемская кальдера и более мелкие вулканы (Таш-тубе, Сылтранская постройка, Сурх, Крандух, Шаухана). В пределах Осетинской впадины Пшекиш-Тырныаузская шовная зона пересекается с субмеридиональным Ардонским разломом Кабардино-Сарпинской зоны, южнее в пределах которой расположены Бартуидон-Урухские неки и вулканические останцы.

Важно также отметить, что структура ТКПП характеризуется наличием позднеплиоценового вулканического центра, расположенного непосредственно западнее города Грозного, где зафиксированы наиболее глубокие (до 100 км) гипоцентры землетрясений, а также и то, что вулканические глыбы присутствуют и севернее Осетинской впадины в пределах Терского хребта. Не исключен вариант и того, что позднеплиоценовые вулканы были приурочены к зоне Владикавказского глубинного сейсмогенерирующего субширотного разлома и, особенно, к местам его пересечения с субмеридиональными Геналдонским и Ардонскими разломами. Они были погребены под мощной толщей четвертичных отложений, заполнявших Осетинскую впадину [Гурбанов, 1977, 1978; Январев, 2009]. В результате исследований плиоцен-четвертичных пеплов Южного Федерального округа было установлено, что эксплозивными извержениями только известных вулканов Большого Кавказа нельзя объяснить их разнообразие [Газеев и др., 2011а, 2011б]. Следовательно, в Предкавказье должны были существовать вулканы в пределах Предгорного прогиба, погребенные в настоящее время.

В альпийском тектоно-магматическом цикле в пределах Транкавказского поперечного поднятия отмечена тенденция постепенного смещения, во времени и про-

странстве, центров проявления новейшего магматизма на юг [Греков и др., 2004]. Вполне вероятно, что аналогичный процесс мы наблюдаем и в восточной части Транскавказского поднятия.

Выводы

1. Выявлены петрохимические и геохимические отличия вулканитов из свиты Рухс-Дзуар от вулканитов Казбекского и Кельского районов. На бинарных диаграммах P_2O_5/TiO_2 , K_2O/TiO_2 и K_2O/Rb они образуют компактные поля фигуративных точек, имея незначительное перекрытие в полями фигуративных точек вулканитов Казбека и Кельского района и отличаются от последних по содержанию K_2O , P_2O_5 и Rb .

2. Произведена прогнозная оценка запасов вулканогенного материала, заключенного в отложениях свиты Рухс-Дзуар; количество последнего оценивается приблизительно в 100 кубических километров.

3. Проведен сравнительный анализ мест предполагаемого расположения палеовулканических построек в зоне Бокового и Главного хребтов Большого Кавказа (вулкан Казбек, Бартуидон-Танадон-Урухский вулканический район) с Верхне-Чегемской и Эльбрусской кальдерами. Показано, что нет серьезных геологических аргументов для подобных построений, как нет и аргументов для быстрого переноса 100 км^3 вулканитов из этих районов в район Осетинской впадины. На основании перекрытия полей фигуративных точек можно говорить лишь о частичном и, по-видимому, незначительном участии вулканитов этих районов в формировании отложений свиты Рухс-Дзуар.

4. Показано, что совокупный анализ геофизических данных: интерпретация полей локальных аномалий (ρ_r , TT , δ_{Ag} , ΔZ) и трансформаций гравитационного поля по методу Саксова-Нагорда позволяют с большой степенью вероятности предполагать присутствие палеовулканических построек, погребенных в настоящее время в недрах Терско-Каспийского передового прогиба.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Республики Северная Осетия-Алания; Программы 4 Президиума РАН, Направления 2, Проекта 2, Раздела «Кавказско-Анатолийско-Иранско-Левантийской сегмент» и Направления 3 Проекта 3.5, подпроекта «Современные изменения природной среды Северного Кавказа».

Авторы статьи искренне признательны председателю ВНЦ РАН и Правительства РСО-Алания А.Г. Кусраеву за постоянное внимание и поддержку наших исследований.

Литература

1. Белуженко Е. В., Коваленко Е. И., Письменная Н. С. Стратиграфия олигоцен-эоценовых отложений Северной Осетии (лист К-38-IX) // Проблемы геологии, геоэкологии и минерагении юга России и Кавказа / Мат. V Междунар. науч. конф. Новочеркасск. 2009. С. 34-39.

2. Великовская Е. М. К вопросу о плиоценовом оледенении Осетинской равнины // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 1959. № 9. С. 45-55.

3. Газеев В. М. Петрология и потенциальная рудоносность Эльбрусского вулканического центра // Автореферат дисс. к. г.-м.н. ИГЕМ РАН. 2003. 28 с.
4. Газеев В. М., Гурбанов А. Г., Лексин А. Б., Исаков С. И. Плиоцен-четвертичные пеплы на территории Южного федерального округа (проблемы, парадоксы, идеи) // Вестник Владикавказского научного центра РАН и Правительства республики Северная Осетия-Алания. 2011а. Т. 11. № 3. С. 32-47.
5. Газеев В. М., Мясников А. В., Лексин А. Б., А. Б. Докучаев А. Б., Гурбанов А. Г. Зональность новейших вулканитов Большого Кавказа ее геодинамическая интерпретация // Тез. V Всеросс. симп. по вулканологии и палеовулканологии (Екатеринбург, 21-27 ноября 2011). 2011б.
6. Греков И. И., Пруцкий Н. И., Энна Н. Л. Тектоно-магматические (очаговые) зоны фанерозоя Северного Кавказа // Литосфера. 2004. № 3. С. 127-136.
7. Гурбанов А. Г., Фаворская М. А. Проблема неointрузий Кавказа в свете современных данных // Сов. геология. 1977. № 7. С. 44-58.
8. Гурбанов А. Г., Зембатов С. С. Субмеридиональные ослабленные зоны и их роль в локализации полиметаллического оруденения Северной Осетии // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1978. № 5. С. 106-120.
9. Короновский Н. В., Демина Л. И. Строение свиты рух-дзуар и позднеплиоценовый вулканизм Казбекской области Кавказа // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1994. Т. 69. Вып. 5. С. 26-33.
10. Короновский Н. В., Демина Л. И. Исчезнувшие вулканы Главного Кавказского хребта // Природа. 2003. № 10. С. 37-43.
11. Корсаков С. Г. и др. Геологическая карта Кавказа м-ба 1:50000. Листы К-38-14-В, Г; К-38-27-А, К-38-15-В: Отчет Тырныаузской ГСП по геологическому доизучению в районе Тырныаузского месторождения. Ессентуки: СК ТГФ, 1989. 340 с.
12. Марков А. Н., Самойлович В. Л., Копыльцов А. И. Уточнение геологического строения юрских подсолевых отложений Терско-Каспийского прогиба и оценка перспектив нефтегазоносности // Ессентуки: СК ТГФ, 2000. С. 110-172.
13. Милановский Е. Е., Смирнова М. Н., Яковлева Т. В. К вопросу о вулканизме краевых прогибов (Грозненский вулканический район) // Вестник Московского Университета. 1968. № 4. С. 16-23.
14. Смирнова М. Н., Бражник В. М. О тектоно-магматическом происхождении Осетинской Впадины // Бюлл. МОИП. Отд. геол. Т. XLV (1). 1970. С. 95-108.
15. Смирнова М. Н., Талалаев В. Д. Магматические глыбы горы Таймаз-Кала (Терский хребет) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1967. № 4. С. 135-137.
16. Январев С. Г. Структурно-фациальные особенности отложений свиты Рухс-Дзуар в южном обрамлении Осетинской впадины // Проблемы геологии, геоэкологии и минерагении юга России и Кавказа / Мат. V Междунар. науч. конф. Новочеркасск, 2009. С. 34-39.

REDEPOSITED VOLCANICS OF RUKHS-DZUAR SUITE: PROBLEMS OF LOCATION OF PALEOVOLCANIC SOURCE OF THEIR MIGRATION (NORTH OSSETIA, CAUCASUS)

**Gazeev V. M., Sc. Candidate (Geol.), Gurbanov A. G., Sc. Candidate (Geol.),
Dokuchaev A. Ya., Sc. Candidate (Geol.), Leksin A. B., Sc. Candidate (Geol.)**

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS
(IGEM RAS), Moscow, Russia, e-mail: gurbanov@igem.ru

Petrochemical and geochemical differences of volcanics from Rukhs-Dzuar suite from volcanics of Kazbekskiy and Kelskiy regions are identified in the work. Reserve calculation of volcanogenic material was performed. Comparative analysis of assumed sites of paleovolcanic structures in the zones of Side and Main ridges of the Big Caucasus (Kazbek volcano, Bartuidon-Tanadon-Urukhskiy volcanic region) with Verkhne-Chegemskaya and Elbrusskaya calderas was performed.

Keywords: volcanics, Rukhs-Dzuar suite, paleovolcanic structures

УДК 550.34

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА СХОДА ЛЕДНИКА КОЛКА 20 СЕНТЯБРЯ 2002 Г. И ЕГО МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ ПО ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ СОВРЕМЕННЫХ РЕГИСТРАЦИОННЫХ СИСТЕМ

© 2012 Заалишвили В. Б., д.ф.-м.н., проф., Мельков Д. А., к.т.н.

Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А, Россия, 362002,
г.Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru

Исследован процесс схода ледника Колка 20 сентября 2002 г. на основе инструментальных данных: сейсмических записей, данных оперативной схемы Геналдонского ущелья, результатов макросейсмического обследования. Выполнена оценка скоростей ледово-каменного потока на различных этапах движения, протяженности потока и интенсивности воздействия на склон в районе Кармадонских ворот.

Ключевые слова: ледник, сход, интенсивность, скорость потока

Анализ имеющихся инструментальных данных показывает соответствие основных этапов, полученных на разных пунктах локальной сети сейсмологических наблюдений РСО-А [Заалишвили и др., 2004], аналоговых записей сети сейсмологических наблюдений Грузии [Заалишвили и др., 2005] и цифровых записей станций ГС РАН [Заалишвили, Харебов, 2008]. Особый интерес представляет собой детальный анализ сейсмической записи станции Фиагдон. Это обуславливается близостью ее к району схода (16 км) и, кроме того, расстояние от трассы движения ледово-каменной массы до данной станции остается практически постоянным, что позволяет непосредственно по записям надежно оценивать амплитуды и спектральный состав колебаний грунта, возбуждаемых при движении ледника.

Скорости и ускорения движения ледово-каменного потока

Для анализа рассматриваемого движения использовались данные оперативной схемы Кармадонской котловины и верховьев Геналдонского ущелья на 21.09.02 г. [Долгов, Дробышев, 2002], а также космические снимки до и после схода ледника (ASTER, 03.10.02 и 27.09.02). На схеме нами были выделены особые точки, связанные с изменением условий транзита ледника и зоны поражения (направление движения, угол наклона и т.д.). При этом на записях выделялись собственно воздействия ледово-каменной массы о борта ущелья и рассчитывались расстояния, проходимые ледником между указанными точками (рис. 1). Выделение основных этапов движения ледово-каменной массы по сейсмическим записям, на наш взгляд, наиболее целесообразно проводить по графикам энерговыделения, впервые использованными ранее [Заалишвили и др., 2004], и представляющим собой зависимость квадрата скорости колебаний грунтов в точке наблюдения от времени. Предварительно при построении графических материалов записи подвергались стандартному процессу сглаживания в определенном интервале с целью выделения наиболее важных этапов процесса (рис. 2).

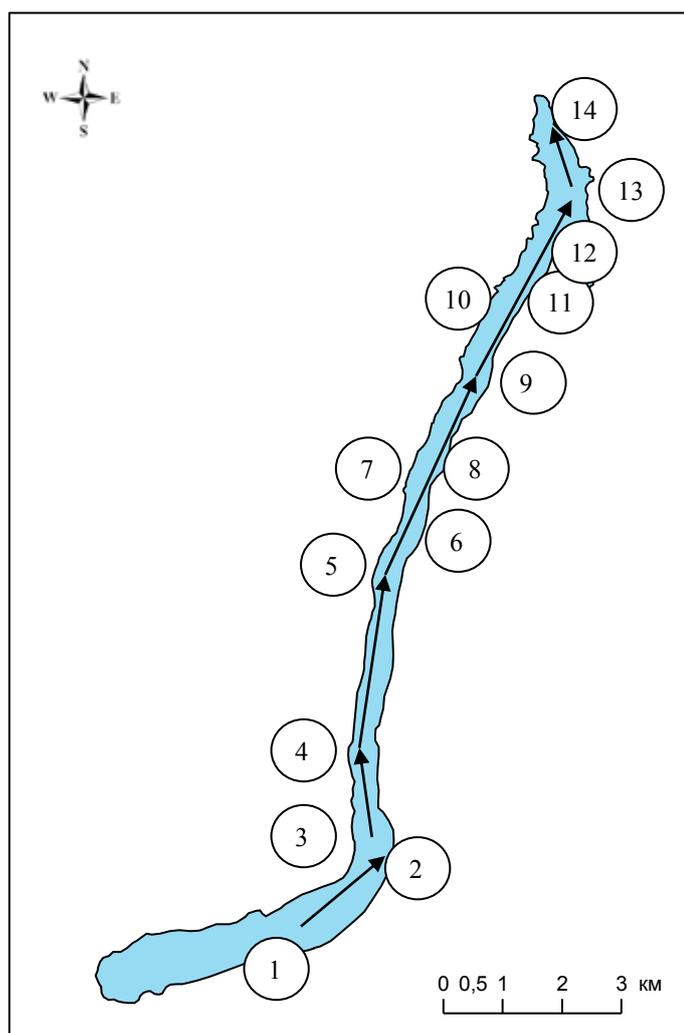


Рис.1. Трасса движения ледово-каменной массы

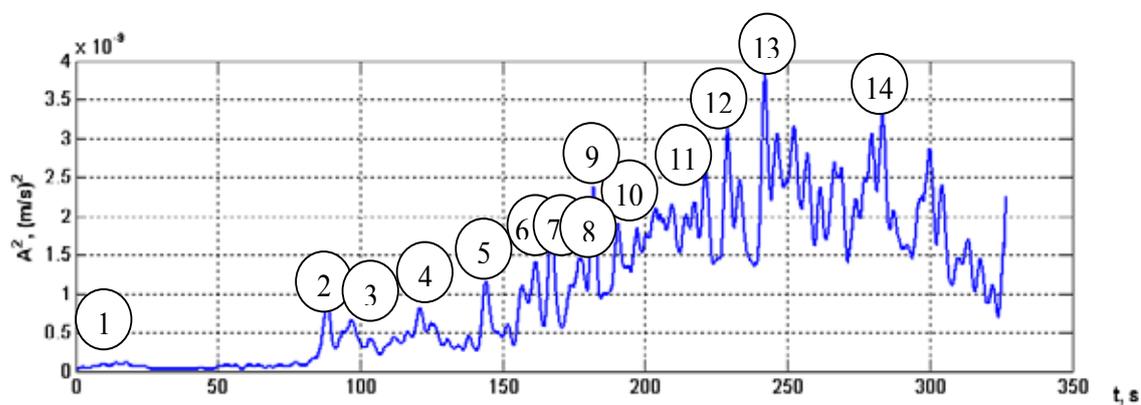


Рис. 2. График выделенной энергии по данным ст. Фиагдон. Основные точки транзита ледника Колка 20.09.02 г.

Будем считать движение на каждом участке равноускоренным. Тогда средние скорости движения между точками i и j :

$$v_{ij} = \frac{S_{ij}}{t_{ij}} = v_i + \frac{a_{ij}t_{ij}}{2} \quad (1)$$

где S_{ij} – пройденный путь, v_i – начальная скорость, a_{ij} – ускорение на участке, t_{ij} – время прохождения участка, v_i – начальная скорость на участке представляющая собой конечную (мгновенную) скорость на конце предыдущего участка, определяемую следующим образом:

$$v_j = v_i + a_{ij}t_{ij} = 2v_{ij} - v_i \quad (2)$$

Индексы i и j соответствуют началу и концу участка, двойной индекс указывает на то, что значение соответствует всему участку.

Ускорение на участке между точками i и j составит:

$$a_{ij} = \frac{2(v_{cp} - v_i)}{t_{ij}} \quad (3)$$

Результаты расчетов скоростей движения на основных участках представлены в табл. 1.

Таблица 1

Время прохождения участков и соответствующие скорости

| Время прохождения участка t , с | Расстояние S , м | Средняя скорость на участке V_{cp} , м/с | Мгновенная скорость на конце участка v , м/с | Ускорение a , м/с ² | Номер точки | Интерпретация |
|-----------------------------------|--------------------|--|--|----------------------------------|-------------|-------------------------------------|
| 72,00 | 2060 | 28,61 | 57,2 | 0,79 | 2 | Поворот в районе Майли |
| 55,71 | 4540 | 81,49 | 105,8 | 0,87 | 5 | Изменение направления движения |
| 97,95 | 7600 | 77,59 | 49,4 | -0,58 | 13 | Удар о горные породы (главный удар) |
| 37,74 | 1400 | 37,10 | 24,8 | -0,65 | 14 | Удар о Кармадонские Ворота |

Рассмотрим особенности динамики центра масс тела движущегося по траектории, соответствующей зоне транзита ледника Колка. На центр масс будут действовать следующие силы: проекция силы тяжести на касательную к траектории движения, центростремительная сила и сила Кориолиса. Соответственно полное ускорение составит:

$$\vec{a} = \vec{a}_m + \vec{a}_y + \vec{a}_k \quad (4)$$

Форму траектории в горизонтальной плоскости можно представить в виде дуги окружности (рис. 3) радиусом 15,6 км (определенным по пересечению перпендикуляров, проведенных из середин хорд).

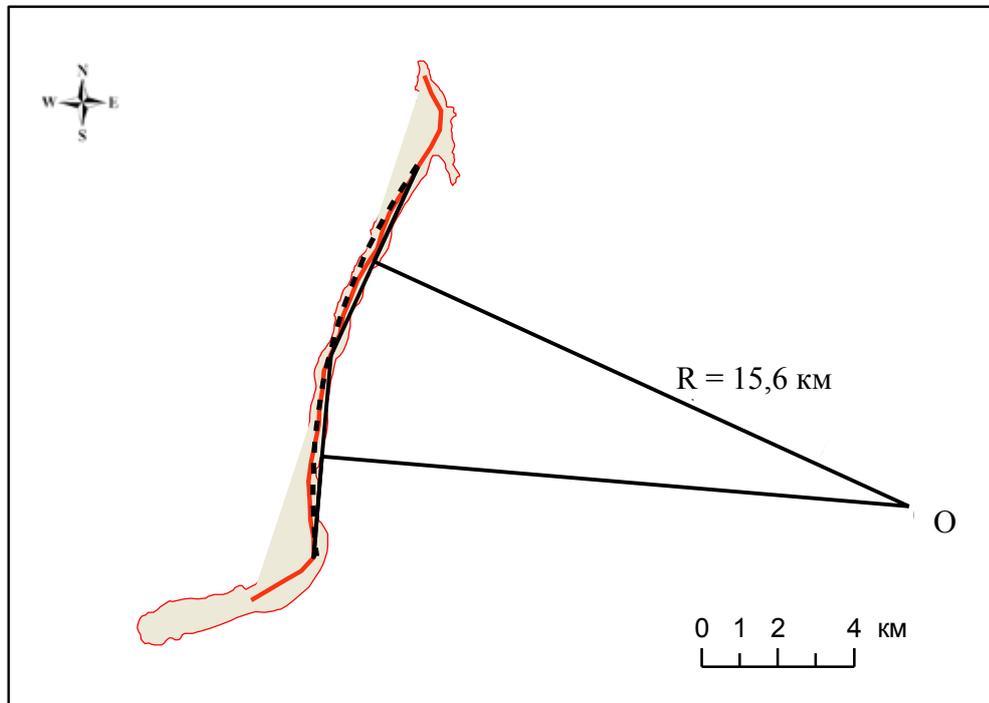


Рис. 3. Зона транзита ледника Колка 20.09.02 по данным оперативной схемы и космоснимка и определение радиуса кривизны траектории в горизонтальной плоскости R

Центростремительное ускорение направлено к центру кривизны траектории (которую будем считать постоянной и равной R) и численно равно:

$$a_u = \frac{v^2}{R} \quad (5)$$

где R – радиус кривизны траектории; v – скорость.

Оценим максимальную величину центростремительного ускорения для скорости $v=100$ м/с, тогда получим, что $a_u = 0,64$ м/с².

Горизонтальную составляющую Кориолисова ускорения оценим по формуле [Menke and Abbott, 1990]:

$$a_k = 2\omega \sin \varphi v \quad (6)$$

где v – скорость, ω – круговая частота вращения, φ – широта точки на поверхности сферы (в сферической системе координат).

Для скорости $v=100$ м/с Кориолисово ускорение составит:

$a_k = 2 \cdot 7,29 \cdot 10^{-5} \cdot 0,68 \cdot 100 = 0,01$ м/с². Здесь круговая частота вращения Земли принята равной $\omega = 2 \cdot \pi / (23,934 \cdot 3600) = 7,29 \cdot 10^{-5}$ с⁻¹ и широта расположения района $\varphi = 42,8^\circ$.

Таким образом результирующее ускорение действующее по нормали к траектории движения в горизонтальной плоскости составит $0,65$ м/с², причем решающую

роль играет центростремительное ускорение. Ускорение направлено в сторону правого борта трассы, что подтверждается результатами обследования зоны транзита.

Далее для расчета движения под действием силы тяжести учтем крутизну склонов на последовательных отрезках или участках движения. Имеющийся профиль вдоль трассы движения ледово – каменной массы [Васьков, 2003] был оцифрован. Углы рассчитывались по отрезкам оцифрованной кривой и результатам сплайн-интерполяции.

Оценим скорости движения ледово-каменной массы в первом приближении в отсутствие сил трения. Вся трасса нами была условно разбита на участки с шагом $\Delta x = 10$ м. Полагая, что на каждом участке ускорение массы ледника составит $g \cdot \sin(\alpha)$ (g – ускорение свободного падения; α – угол наклона на рассматриваемом участке), получим изменение скорости движения вдоль профиля транзита. Максимальная скорость достигается в момент удара о Кармадонские ворота и составляет 187 м/с. Это теоретически максимально возможная скорость при движении массы под действием гравитационных сил. Реальная скорость должна быть, несомненно, меньше. При этом, средние скорости на выделенных интервалах составят: 65,0 м/с, 131,5 м/с, 167,0 м/с и 182,6 м/с, что значительно отличается от значений скоростей, определенных по сейсмическим записям (табл. 1).

В основу расчета скорости с учетом сил трения была положена следующая формула [Guber, 2005]:

$$v = [R\xi(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)]^{1/2} \quad (7)$$

R – гидравлический радиус, представляющий собой отношение поперечного сечения к смоченному периметру;

ξ – коэффициент турбулентного трения;

μ – динамический коэффициент трения;

α – средний угол наклона на участке.

Коэффициент ξ зависит от формы трассы и ее шероховатости, μ – от объема «лавины» и типа (сухой/влажный).

Согласно швейцарскому руководству по расчету лавин [Salm et al., 1990] рекомендуются для коэффициента сухого трения $\mu = 0,155-0,30$ и для коэффициента турбулентного трения $\xi = 400-1000$ м/с². Причем для больших величин «шероховатости» (порядка метра) и для лавин, движущихся по «каналам» (отношение ширины потока к его высоте от 1:1 до 1:2) $\xi = 500-600$ м/с². Еще меньшие значения (400 м/с²) используются при большей шероховатости (величина препятствий).

Значения коэффициента μ для лавин больших объемов ($>10^6$ м³) составляет $\mu = 0,155$. Причем наблюдается снижение μ при увеличении объема движущейся массы. Механизм такой зависимости до сих пор неизвестен [Шейдеггер, 1981]. Отдельные авторы объясняют это образованием воздушной подушки, пара от нагревания поровой воды и т.д. [Шейдеггер, 1981].

Феноменология катастрофических оползней показывает, что они имеют характер потоков, поэтому, на наш взгляд, вполне обосновано для оценки движения ледово-каменных масс ледника использовать соответствующие выражения для оползней. В то же время необходимо учитывать влияние скорости движения массы на величину коэффициента трения.

Оценим коэффициент трения через следующую зависимость между объемом и коэффициентом трения, полученную для оползней (инструментальные данные для объемов достигающих 10^{10} м³) [Шейдеггер, 1981]:

$$\lg \mu = -0,15666 \lg V + 0,62419, \quad (8)$$

Подставив значение объема $V=130 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ [Васьков и др., 2004] получим, что $\mu = 0,226$.

Таким образом, мы получили диапазон значений коэффициента трения (для больших лавин и оползней, соответственно) $\mu = 0,155-0,226$. С другой стороны, величина турбулентного трения для наших условий должна быть, видимо, порядка 400-600.

Для вычисления параметров, необходимых для расчетов (поперечное сечение потока и т.д.) использовались данные оперативной схемы Кармадонской котловины и верховьев Геналдонского ущелья на 21.09.02 г. [Долгов, Дробышев, 2002]. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Параметры ледово-каменного потока вдоль зоны транзита и разгрузки

| № п/п | Разрез | Расстояние между разрезами L, м | Смоченный периметр* P, м | Площадь сечения, S, м ² | Объем V, 10 ⁶ м ³ | Гидравлический радиус** R, м | Угол наклона α, град |
|-------|--------|---------------------------------|--------------------------|------------------------------------|---|------------------------------|----------------------|
| 1. | 10-10 | 468 | 918 | 64475 | 26,00 | 70 | 13,61 |
| 2. | 11-11 | 498 | 726 | 47099 | 15,52 | 65 | 12,65 |
| 3. | 12-12 | 500 | 387 | 17610 | 10,66 | 46 | 11,31 |
| 4. | 13-13 | 540 | 431 | 25256 | 11,01 | 59 | 11,42 |
| 5. | 14-14 | 500 | 368 | 15875 | 7,62 | 43 | 9,84 |
| 6. | 15-15 | 498 | 329 | 14627 | 5,42 | 44 | 8,05 |
| 7. | 16-16 | 505 | 264 | 7527 | 5,59 | 29 | 6,34 |
| 8. | 17-17 | 490 | 361 | 15023 | 9,37 | 42 | 5,89 |
| 9. | 18-18 | 490 | 470 | 23521 | 11,38 | 50 | 6,98 |
| 10. | 19-19 | 500 | 455 | 22941 | 12,58 | 50 | 6,40 |
| 11. | 20-20 | 492 | 556 | 27454 | 11,40 | 49 | 4,69 |
| 12. | 21-21 | 495 | 456 | 19155 | 9,39 | 42 | 4,42 |
| 13. | 22-22 | 495 | 448 | 18771 | 10,23 | 42 | 5,83 |
| 14. | 23-23 | 500 | 503 | 22600 | 14,86 | 45 | 5,25 |
| 15. | 24-24 | 490 | 627 | 37445 | 16,45 | 60 | 4,05 |
| 16. | 25-25 | 505 | 499 | 29821 | 13,55 | 60 | 4,85 |
| 17. | 26-26 | 630 | 586 | 23957 | 16,27 | 41 | 5,71 |
| 18. | 27-27 | 330 | 527 | 27753 | 10,67 | 53 | 6,08 |
| 19. | 28-28 | 500 | 627 | 37157 | 16,52 | 59 | 3,97 |
| 20. | 29-29 | 505 | 529 | 29087 | 13,11 | 55 | 3,72 |
| 21. | 30-30 | 490 | 533 | 22952 | 11,93 | 43 | 3,72 |
| 22. | 31-31 | 510 | 538 | 25766 | 11,84 | 48 | 4,49 |
| 23. | 32-32 | 510 | 563 | 20752 | 16,07 | 37 | 3,97 |
| 24. | 33-33 | 500 | 993 | 43677 | 21,63 | 44 | 4,53 |
| 25. | 34-34 | 505 | 818 | 42843 | 22,98 | 52 | 4,81 |
| 26. | 35-35 | 500 | 774 | 48229 | 24,58 | 62 | 4,91 |
| 27. | 36-36 | 440 | 645 | 50078 | 16,81 | 78 | 6,28 |
| 28. | 37-37 | 520 | 521 | 27469 | 4,76 | 53 | 8,53 |

* Смоченный периметр – длина линии, по которой жидкость в живом сечении соприкасается с твердыми поверхностями, ограничивающими поток.

** Гидравлический радиус – отношение площади поперечного сечения потока жидкости к его смоченному периметру

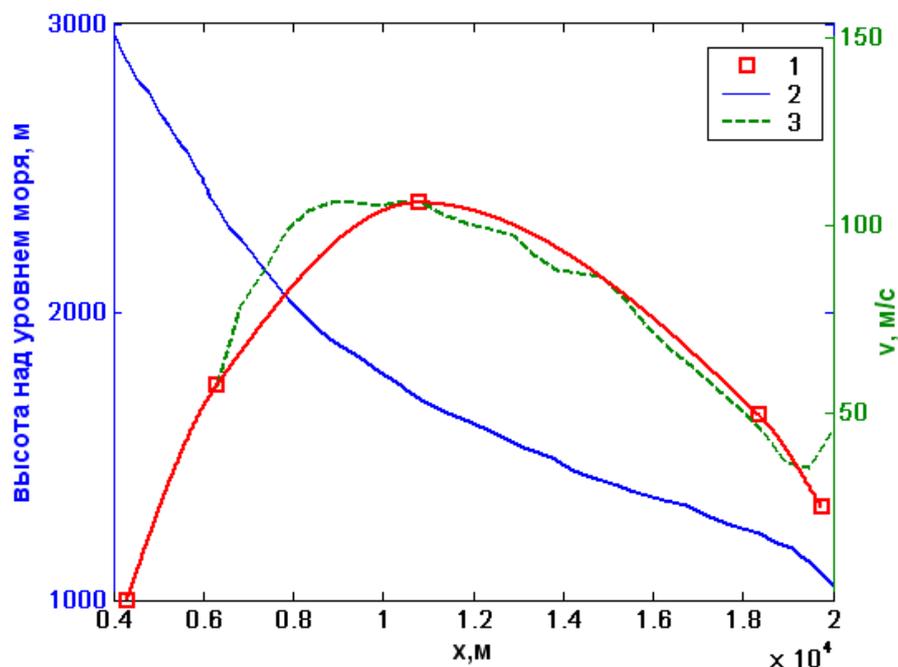


Рис. 4. Изменение скорости движения ледо-каменной массы вдоль профиля 1 – скорости по сейсмологическим данным (главные точки движения и интерполяция кубическим сплайном); 2 – профиль вдоль зоны транзита ледо-каменной массы; 3 – расчетная скорости для параметров $\mu = 0,113$ и $\zeta = 350$ м/с².

На рис. 4 приведено изменение скорости движения вдоль профиля, рассчитанное по сейсмологическим данным (с использованием сплайн-интерполяции), приведенным в табл. 1 и результаты расчетов по формуле (7). Расчет производился для участка после поворота массы в районе ледника Майли, где скорость была задана по табл.1. Наибольшее соответствие значений по расчетной кривой со значениями скоростей, полученными экспериментально, наблюдается для $\mu = 0,113$ и $\zeta = 350$ м/с². Хорошо видно, что данные значения достаточно близки к калибровочным оценкам, приведенным выше. Меньшее значение ζ можно объяснить большой «шероховатостью» вдоль трассы (которая, вообще говоря, изменяется). Например вдоль трассы в точках 5-9 (рис. 1) наблюдаются заметные изменения направления движения, т.е. после поворота в точке 5, в результате чего происходит уменьшение кинетической энергии движущейся массы и соответственно уменьшение скорости. Увеличение общего уровня амплитуд после точки 5 также отмечается на графике выделенной энергии (рис. 2).

На рис. 4 также приведен наклонный профиль вдоль зоны транзита. Изменение крутизны склона приводит к уменьшению величины проекции силы тяжести на направление движения и соответственно к уменьшению ускорения и последующему торможению движущейся массы (величина ускорения становится отрицательной), что отмечается для обоих графиков изменения скорости. Поскольку в табл. 1 приведены дискретные значения скоростей, сплошная кривая, соединяющая эти точки и построенная с помощью сплайн интерполяции не является точной физической характеристикой процесса, поэтому расхождение на начальном этапе с расчетной кривой вполне объяснимо. Тем не менее процесс происходит близко к расчетной кривой, отражающей особенности рельефа. Необходимо отметить, что по резуль-

татам расчетов на последнем этапе движения при переходе от склона к «Кармадонским Воротам» наблюдается увеличение скорости, обусловленное увеличением угла наклона, которое реально не может наблюдаться в силу «распадания» массы во все стороны расширения в месте слияния ущелий (в зоне разгрузки). Для учета указанного процесса необходимо использование трехмерной модели.

Кроме того, хотя значение параметра μ предполагается постоянным вдоль трассы, но, очевидно оно будет изменяться не только из соображений изменения местных условий, но и в результате влияния таких факторов, как изменение соотношения твердой и жидкой фазы, изменение размеров обломков, вызванное их разрушением и т.д. Также, очевидно, что основание движущейся массы обладает меньшей скоростью движения за счет сил трения о дно и стенки склона, в результате чего происходит непрерывные изменения в самом движущемся теле: верхние слои смещаются относительно нижних. В этой связи необходимо отметить, что вдоль трассы отмечены впечатанные в склоны останцы материала ледово-каменного потока [Черноморец, 2005].

Оценка протяженности ледово-каменного потока

Очевидна связь размеров ледово-каменного потока и скорости движения его на различных участках. Для оценки протяженности потока была произведена оценка объемов между соответствующими разрезами, занимаемыми ледово-каменной массой, значения которых также приведены в табл. 2 (разрез 10-10 соответствует участку после поворота в районе ледника Майли). В результате мы можем оценить динамику изменения протяженности ледово-каменной массы на различных этапах движения (рис. 8). Таким образом, длина потока на участке после перехода через ледник Майли достигала 5,0-5,5 км и при переходе в зону аккумуляции на конечном этапе движения длина уменьшилась до 3 км. Учитывая, что оценка длины производилась по максимальным объемам, протяженность может быть ещё больше, тем не менее динамика сохраняется и полностью соответствует динамике изменения скорости движения. При переходе к участку с меньшим углом наклона происходит торможение фронтальной части в то время как тыловая часть продолжает двигаться с большей скоростью, в результате чего протяженность уменьшается.

Сейсмическая интенсивность проявления процесса

Одним из вопросов, представляющих научный и практический интерес, является оценка уровня воздействия ледово-каменной массы ледника Колка 20 сентября 2002 г. на горную породу в месте удара, т.е. оценка динамической интенсивности воздействия на горную породу. В процессе исследования макросейсмического проявления окрестностей зоны транзита ледника Колка в сентябре 2002 г., нами в июле 2005 г. было, в частности, обследовано 5-ти этажное здание в с. Верхнее Кани, расположенное в непосредственной близости от места удара ледово-каменной массы. Согласно опросу жителей в момент схода ледника в здании наблюдался скрип стен, появились тонкие трещины на потолке и стенах. В квартире на верхнем этаже вместе с крюком, на котором она висела, упала люстра.

Согласно сейсмической шкале MSK-64 при 5 баллах наблюдается раскачивание висячих предметов, осыпание побелки, при 6 баллах появляются легкие повреждения в зданиях, тонкие трещины в штукатурке. В то же время, большое значение имеет этаж наблюдения. Действительно, основные повреждения проявились на верхнем, 5 этаже здания.

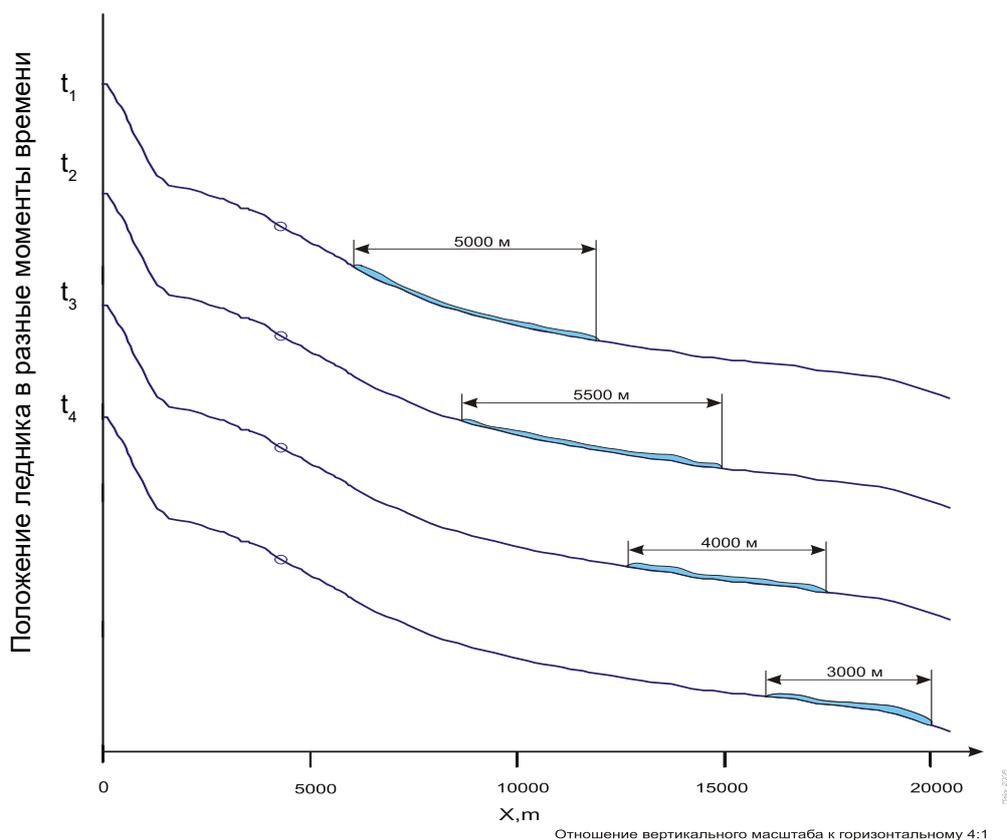


Рис. 8. Динамика изменения длины ледово-каменной массы на различных этапах движения

Согласно результатам макросейсмического обследования интенсивность в районе здания была условно оценена в 4-5 баллов [Заалишвили и др., 2005]. Дело в том, что макросейсмическая интенсивность наиболее точно, как правило, определяется по техническому состоянию группы зданий. Тем не менее, в определенных случаях такие оценки можно производить и по отдельным зданиям с учетом других показателей воздействия.

Приведем коротко описание проявления события 20 сентября 2002 г. в различных пунктах по результатам указанного макросейсмического обследования 2005 г. В скобках указаны расстояние от «эпицентра» удара и высота над уровнем моря.

с. Верхнее Кани ($\Delta = 1,5$ км, alt = 1450 м): «Услышали гул, как при землетрясении, стены закрипели, в квартире (на 5-м этаже) вместе с крюком, на котором она висела, упала люстра. В квартире появились трещины». «Вечером вдруг из лоджии ворвался сильный ветер вместе с песком. Послышался мощный удар у кладбища, затем второй удар. Мы выбежали на улицу. Было темно, свет не горел, исчезла луна». В квартирах здания имеют место три вида деформаций, обусловленных ударным воздействием ледника Колки, на перегородках, на стене и у потолка.

с. Нижнее Кани ($\Delta = 1,5-2$ км, alt = 1450 м): «Вечером раздался страшный грохот, гремел гром, летели искры, потом упал белый туман. Кто были в селе, убежали вверх (по склону)».

с. Стар. Саниба ($\Delta = 2,5$ км, alt = 1400 м): «И тут налетел ветер. Погас свет, какой-то свист, рев. Мы думали, что это вертолеты. Все вышли из домов и убежали в горы. На нас опустился черный туман, сквозь который блистали какие-то вспышки».

с. Тменикау ($\Delta = 4$ км, alt = 1750 м): «Вечером было тихо, затем послышался шум, стук, гром, погас свет. Мы подумали, что шла тяжело груженная грузовая машина и упала в ущелье. Все покрылось темным, даже черным туманом, в котором слышались грохот, непрерывный гул и вспышки, как от маленьких молний. Дул очень сильный ветер. Вышли наружу и видим как камни, и лед летят, ударяются друг о друга и в борта ущелья и искры летят. Через минуту погас свет. Лед извивался как змея. Вокруг дождь, пыль черная и сильнейший ветер».

с. Ламардон ($\Delta = 9,5-10$ км, alt = 1500 м): «Внезапно потух свет и подул ураганный ветер такой силы, что они не могли стоять».

с. Джимара ($\Delta = 13$ км, alt = 1700 м): В день схода Колки они ничего не ощущали, только погас свет. Утром обо всем узнали по радио.

Итак, проявление события имело, несомненно, локальный характер из-за высокочастотного спектра колебаний и расположения источника непосредственно на поверхности. Налицо несимметричность воздействия на вертикальную поверхность склона горных пород.

Схема сейсмических изосейст события по результатам макросейсмического обследования района схода ледника Колка в 2005 г. представлена на рис. 9. Предполагается направленность областей изосейст в соответствии с направлением удара. В условиях горного рельефа эти области, несомненно, будут сильно искажаться. Также направленность воздействия, вероятно, значительно влияет на картину распределения интенсивностей, что выражается в зависимости от азимута на источник. В этой связи важно отметить, что обследованные населенные пункты Кани, Тменикау, Ламардон, Джимара расположены фактически в одном направлении и

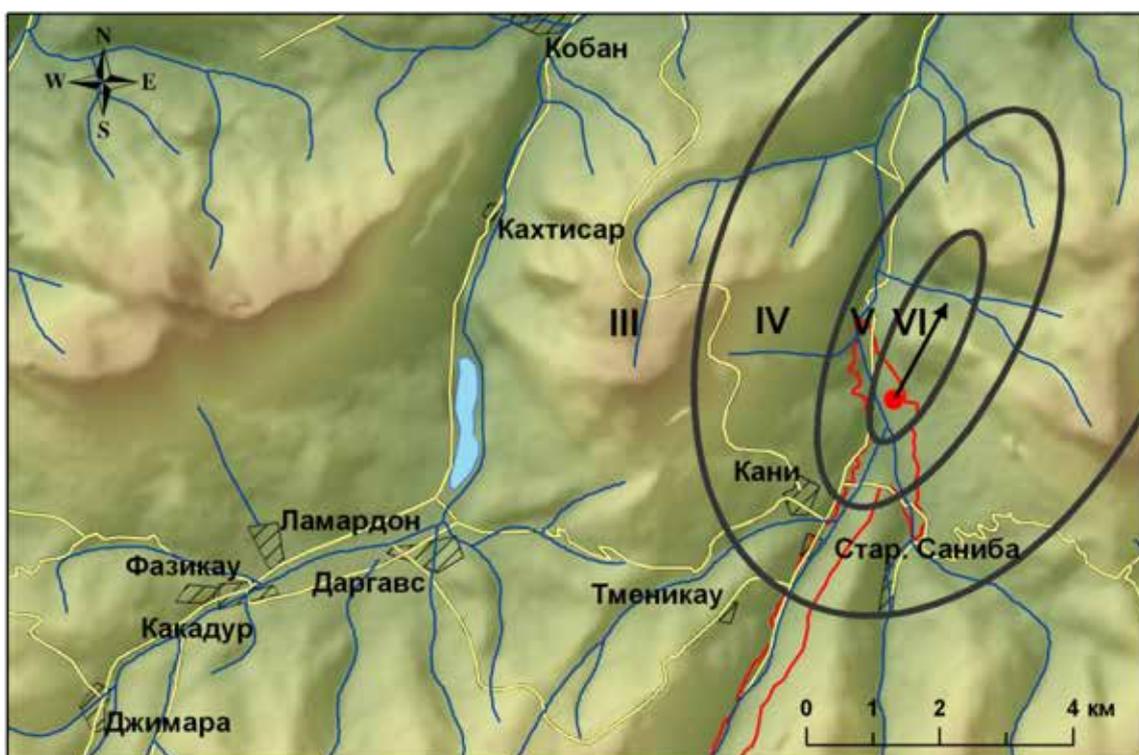


Рис. 9. Предполагаемые изосейсты сейсмического события связанного со сходом л. Колка 20.09.02 г. (стрелкой обозначено направление воздействия).

позволяют достаточно достоверно проследить изменение интенсивности с расстоянием. Необходимо учитывать близость с.Тменикау к зоне транзита, поэтому сейсмическое воздействие описываемое респондентами, возможно в первую очередь относится к воздействию движущейся массы на борта ущелья. Отсутствие данных в рассказах респондентов по удару (ударам) обусловлено сильнейшим шумом близ проходящего потока.

Оценим величину интенсивности в месте удара. Это можно сделать разным путем.

1. Допуская событие «сейсмическим» и, несомненно, «малым» [Заалишвили, 2000] рассчитаем интенсивность в месте удара с помощью формулы для малых сейсмических событий [Javakhishvili et al., 1998]:

$$I = 1,5 M - 3,4 \lg (\Delta^2 + h^2)^{1/2} + 3,0, \quad (9)$$

где I – интенсивность землетрясения, в баллах;

M – магнитуда землетрясения;

Δ – эпицентральное расстояние, км;

h – глубина очага, км.

Исходя из того, что на расстоянии $\Delta = 1,5$ км интенсивность составляет $I = 5$ баллов и $h = 0$ (удар поверхностный), получим, что «магнитуда» удара составляет $M = 1,7$. Отсюда интенсивность в эпицентре ($\Delta = 0$ км) рассчитанная с помощью той же формулы (9) составит $I_0 = 5,6$ или 6 баллов. Такой интенсивности соответствует магнитуда $M = 2$. Оценим соответствующую сейсмическую энергию с помощью известной формулы:

$$\lg E = 1,5M + 11,8, \quad (10)$$

где E – энергия, эрг.

Получим, что проявленная энергия составляет $6,3 \cdot 10^7$ Дж.

2. Далее оценим интенсивность по данным инструментальной сети сейсмологических наблюдений. Составим кривую затухания амплитуд скоростей смещений грунта по данным локальной сети ЦГИ ВНЦ РАН. При этом полагаем правомочность использования записей на станциях с различным азимутом (не расположенных на прямой). Расчет амплитуды скоростей смещений грунта произведен с помощью известной формулы:

$$A(r) = A_0 \cdot \exp(-\alpha r), \quad (11)$$

где A_1 – амплитуда скорости колебаний на расстоянии r , м/с;

A_0 – амплитуда скорости колебаний в месте удара, м/с;

α – коэффициент поглощения, м^{-1} ;

r – расстояние до места удара, м.

Максимальные амплитуды колебаний на велосиграммах пунктов сейсмологических наблюдений локальной сети сейсмологических наблюдений РСО-А, зарегистрировавших процесс схода ледника, приведены в табл. 3. Кроме того, приведены расстояния до района Кармадонских ворот и соответствующие азимуты. Локальные изменения в амплитудах колебаний на разных станциях в зависимости от азимута, очевидно, обусловлены анизотропией среды, которая не учитывается.

В связи с тем, что в момент катастрофы на пункте «Владикавказ» функционировало два регистратора с идентичными сейсмоприемниками, получены два значения амплитуд для одного пункта наблюдений. В дальнейшем использовалось

среднее значение $1,61 \cdot 10^{-5}$ м/с. Причем среднеквадратическое отклонение составит $2,49 \cdot 10^{-6}$ м/с, что соответствует относительной погрешности около 15%.

Таблица 3

Амплитуды колебаний на различных эпицентральных расстояниях

| Пункт наблюдения | Расстояние до района Кармадонских ворот x , км | Азимут на район Кармадонских ворот φ | Максимальная горизонтальная скорость смещения грунта $A(x)$, м/с |
|----------------------|--|--|---|
| Фиагдон (FIG) | 18,0 | 79° | $1,52 \cdot 10^{-4}$ |
| Владикавказ 1 (VLD1) | 20,8 | 213° | $1,43 \cdot 10^{-5}$ |
| Владикавказ 2 (VLD2) | 20,8 | 213° | $1,78 \cdot 10^{-5}$ |
| Ардон (ARD) | 41,8 | 151° | $1,33 \cdot 10^{-5}$ |
| Заманкул (ZAM) | 54,6 | 170° | $2,46 \cdot 10^{-5}$ |
| Чикола (CIK) | 61,3 | 127° | $8,78 \cdot 10^{-6}$ |

Расчеты с помощью метода наименьших квадратов позволили получить амплитуду скоростей смещений грунта в месте удара равную $A_0 = 0,028$ м/с. Согласно сейсмической шкале MSK-64 это соответствует интенсивности $I_0 = 6$ баллов.

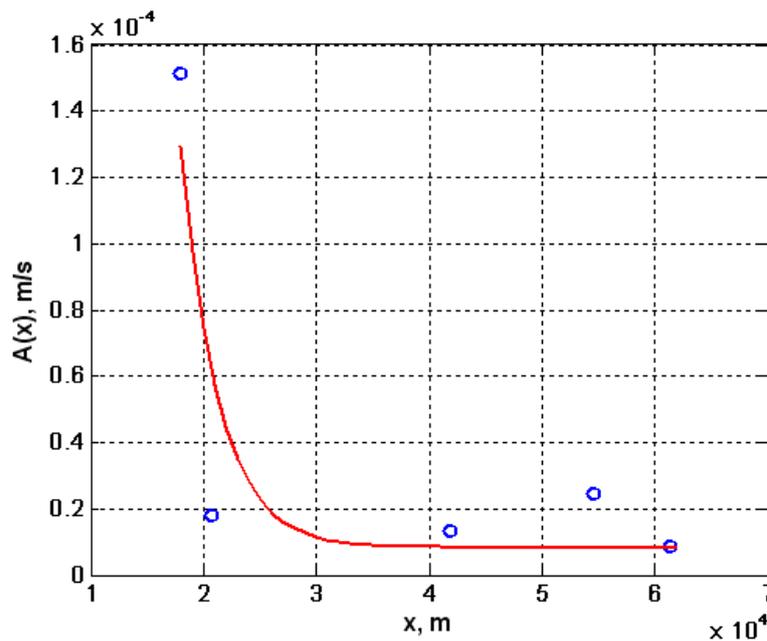


Рис. 10. Затухание колебаний с расстоянием ($A_0=0,028$ м/с, $\alpha=3,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$)

3. Оценим интенсивность проявления схода ледника Колка по данным геологического анализа ситуации.

Согласно данным И. М. Васькова «суммарная движущаяся масса» ледово-каменного потока составила $1,75 \cdot 10^{11}$ кг [Васьков, 2004]. Как мы получили ранее, скорость потока в месте удара составила величину порядка 50 м/с. Отсюда кинетическая энергия удара составит $E_k = mv^2/2 = 2,19 \cdot 10^{14}$ Дж. Это огромная энергия и при поверхностном источнике ($h = 0$) интенсивность в месте удара будет превышать 12

баллов ($M=6,4$). Если бы указанная величина интенсивности имела место, то вокруг Кармадонских ворот мы имели бы исключительно развалины населенных пунктов, включая сильнейшие изменения ландшафта. Этого не произошло, потому что реальная интенсивность была намного меньше.

Анализ показал, что в формировании указанной интенсивности, несомненно, определяющую роль играет огромная величина массы ледово-каменного потока, которая должна была быть намного меньше. Это несоответствие может объясняться следующими факторами.

а) Согласно имеющимся данным масса ледника двигалась в виде протяженного потока. В момент удара ($v = 50$ м/с) согласно нашим расчетам длина потока составила минимум 3 км (в реальности была намного больше). Другими словами, масса ледника не была сосредоточенной, и воздействие осуществлялось в течение определенного времени, а именно $3000/50 = 60$ с. Поскольку временем взаимодействия в данном случае нельзя пренебречь, полное воздействие ледово-каменного потока на склон можно называть «ударом» только условно (строго говоря, будет последовательность ударов).

б) Следует обязательно учитывать особенности состава ледово-каменного потока. Почти 70% составляла ледовая масса и лишь 30% – каменная (горная порода) [Васьков и др., 2004]. Отсюда следует, учитывая физико-механические свойства материалов, что большая часть воздействия имела неупругий характер. Более того, лишь воздействие переднего фронта потока могло иметь упругий характер. Подступающие сзади ледово-каменные составляющие воздействовали в большей части на ледовую уже разбившуюся массу (рис. 11). Очевидно, длительность упругой (условно) части удара составляла ничтожно малую часть от длительности всего процесса.

Исходя из вышеизложенного рассчитаем величину массы, соответствующей проявленной (реальной) интенсивности.

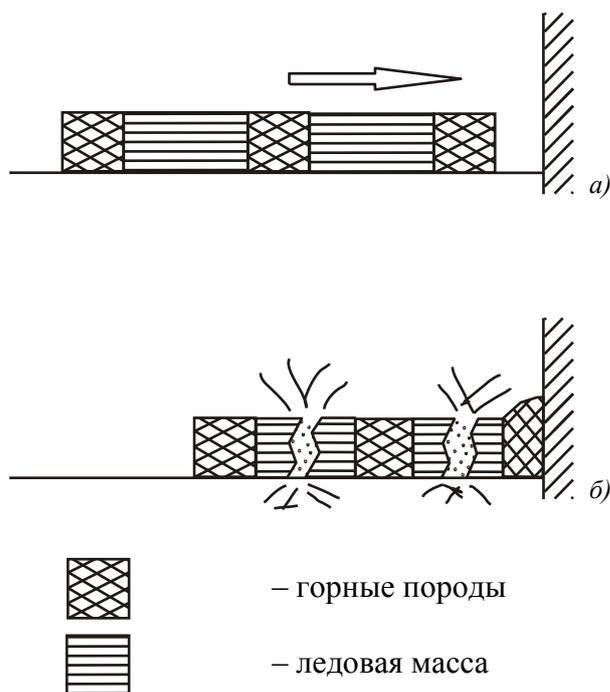


Рис. 11. Схема воздействия ледово-каменного потока на горную породу склона: а) ледово-каменная масса до удара; б) неупругий удар

Масса потока, которая должна была воздействовать на горную породу склона составляет $1,75 \cdot 10^{11}$ кг. Исходя из величины проявленной (реальной) интенсивности ($6,3 \cdot 10^7$ Дж) получим, что масса реального воздействия или эффективная масса (первого удара) должна была составить $m_{\text{эфф}} = 10^5$ кг. Исходя из того, что длина потока составила 3000 м и, предполагая, что центр масс горных пород разделен более равномерно в виде системы «горная порода (30%)» и «ледовая масса (70%)» (рис. 11), получим, что суммарная масса последовательного воздействия составит $m = 10^5 \cdot 3 \cdot 10^3 = 3 \cdot 10^8$ кг.

Попробуем оценить коэффициент снижения величины массы:

$$K_{\text{упр}} = 1,75 \cdot 10^{11} / 3 \cdot 10^8 = 6 \cdot 10^2.$$

Эту величину можно назвать коэффициентом неупругости для рассматриваемого конкретного удара.

Далее оценим суммарную проявленную энергию (для полной массы потока с учетом неупругости):

$$E = 3 \cdot 10^8 \cdot 2,5 \cdot 10^3 / 2 = 3,8 \cdot 10^{11} \text{ Дж.}$$

Оценим процент энергии, перешедшей в сейсмическую:

$$3,8 \cdot 10^{11} / 2,19 \cdot 10^{14} = 1,74 \cdot 10^{-3} \approx 0,2\%$$

Выводы

1. Уточнены основные этапы движения ледово-каменной массы по сейсмологическим данным. Выделено 15 особых точек процесса схода.
2. Выполнена оценка скорости и ускорения движения на различных этапах, характер изменения скорости и ускорения совпадает с особенностями рельефа местности (крутизны склона, поперечного сечения) вдоль трассы. Их величина имела значения 57,2 м/с; 105,8 м/с; 49,4 м/с и 24,8 м/с и соответственно ускорение ледово-каменной массы по мере движения изменялось следующим образом 0,79 м/с²; 0,87 м/с²; – 0,58 м/с²; – 0,65 м/с².
3. Основные значения мгновенных скоростей движения хорошо соответствуют модели, рассматривающей движение ледника в виде лавины.
4. Установлено, что в процессе схода ледника длина ледово-каменного потока изменялась от 5 км до 3 км при высоте 150-200 м.
5. Выполнен расчет максимальных значений ускорений центростремительной силы и силы Кориолиса, действующих на правый борт ущелья вдоль зоны транзита ледника.
6. Согласно данным макросейсмического обследования территории в окрестностях удара (район вблизи Кармадонских ворот) было установлено, что проявление в районе с. Верхнее Кани составило не более 5 баллов.
7. Наиболее вероятная интенсивность в районе максимального удара составляла 6 баллов по шкале MSK-64. Соответствующая этой интенсивности магнитуда сейсмического события $M = 2,0$.
8. Оценка интенсивности по инструментальным данным соответствует результатам макросейсмического обследования территории схода л. Колка.
9. Проявление события имеет, несомненно, локальный характер из-за высокочастотного спектра колебаний и расположения источника непосредственно на поверхности.

10. Направленность воздействия (под углом 15-25° от направления на север) и условия рельефа местности, вероятно, привели к значительному искажению макросейсмического поля.

11. Несоответствие ожидаемого сейсмического эффекта в результате воздействия ледово-каменного потока на склон ущелья, оцениваемого по полной кинетической энергии, реально наблюдаемым проявлениям (макросейсмическим и инструментальным) объясняется рядом факторов, и, в первую очередь, неупругостью удара обусловленной составом потока, протяженностью потока и изменением геоморфологических условий в зоне разгрузки. Следует также отметить, что используемые в сейсмологии формулы, получены для землетрясений и рассматривались нами исключительно в качестве оценочных соотношений.

Литература

1. Васьков И. М. Продольно-поперечные профили по зоне транзита лавинообразного Геналдонского потока, 2003 (графические материалы).
2. Васьков И. М. Возможный механизм обвала и динамика движения ледово-каменных масс в верховьях р. Геналдон // Вестник ВНЦ РАН и РСО-А. – 2004. – Т.4. – №2.
3. Васьков И. М., Долгов Г. А., Музаев И. Д., Пикалюк Г. В. Динамика движения масс ледово-каменного обвала в верховьях р. Геналдон РСО-А 20 сентября 2002 г. // Вестник ВНЦ РАН и РСО-А. Т.4. – №1. – 2004. – С.18-26.
4. Долгов Г. А., Дробышев В. Н. Оперативная схема Кармадонской котловины и верховьев Геналдонского ущелья на 21.09.02 г. Катастрофическая подвижка ледника Колка. Масштаб 1:10000. ФГУГП Севосгеологоразведка, Владикавказ, 2002.
5. Заалишвили В. Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования. – М.: ОИФЗ РАН, 2000. – 367с.
6. Заалишвили В. Б., Невская Н. И., Харебов А. К. Анализ инструментальных записей схода ледника Колка по данным локальной сети сейсмических наблюдений // Вестник ВНЦ РАН и РСО-А. – Т.4. – №3. – 2004. – С.58-64.
7. Заалишвили В. Б., Невская Н. И., Макиев В. Д., Мельков Д. А. Интерпретация инструментальных данных процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 года // Вестник Владикавказского Научного Центра РАН и РСО-А. Т.5, №3, 2005. С.43-54.
8. Заалишвили В. Б., Харебов К. С. Исследование процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 года по динамическим характеристикам инструментальных записей / Труды Международной научно-практической конференции «Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа». – Владикавказ: ВНЦ РАН. – 2008. – С.202-221.
9. Черноморец С. С. Селевые потоки до и после катастроф. – М.: Научный мир, 2005. – 184 с.
10. Шейдеггер А. Е. Физические аспекты природных катастроф. – М.: Недра, 1981. – 232с.
11. Guber H. Swiss Avalanche-Dynamics Procedures for Dense Flow Avalanches. AlpuG, 2005. (http://www.alpug.ch/pdf/pdf_01_en.htm)
12. Javakhishvili Z., Varazanashvili O., Butikashvili N. Interpretation of the Macro seismic field of Georgia. Journal of Georgian Geophysical Society. Issue (A) Solid Earth V3. 1998. Pp 85-88.

13. Menke William & Abbott Dallas (1990). *Geophysical Theory*. Columbia University Press, pp. 124-126.

14. Salm B., Burkard A., Gubler H. U., *Berechnung von Flieslawinen: eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen*. Mitteilungen des Eidgenössischen Instituts für Praktiker mit Beispielen. Mitteilungen des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung, Nr. 47. Davos, 1990.

FEATURES OF PROCESS AND MACROSEISMIC EVIDENCE OF GLACIER KOLKA FALL 20 SEPTEMBER 2002 ON INSTRUMENTAL DATA OF MODERN OBSERVATION SYSTEMS

**Zaalishvili V. B. Sc. Doctor (Phys.-math.), prof., Melkov D. A., Sc. Candidate
(Tech.)**

Center of Geophysical Investigations of VSC RAS & RNO-A, Vladikavkaz, Russia,
e-mail: cgi_ras@mail.ru

Glacier Kolka fall of 20 September 2002 is investigated on the basis of instrumental data: seismic records, data of operational scheme of Genaldon gorge and results of macroseismic exploration. Velocities of ice-rock flow on different stages, its length intensity of impact on the slope in the region of Karmadon Gates were estimated.

Keywords: glacier, avalanche, intensity, flow velocity

УДК 550.34

АНДИЙСКИЕ СЕЙСМОДИСЛОКАЦИИ В ДАГЕСТАНЕ: ОПЫТ ДИСТАНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОМ РАЙОНИРОВАНИИ ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА

© 2012 Овсяченко А. Н., к.г.-м.н., Рогожин Е. А., д.г.-м.н., проф.,
Зайцева Н. В., Лукашова Р. Н., к.г.-м.н.

ФГБУН Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН Москва, ул.
Б. Грузинская, 10, стр. 1, e-mail: ovs@ifz.ru

При дистанционных исследованиях, в Дагестане на юго-восточном склоне Андийского хребта, были выявлены масштабные палеосейсмодислокации представленные разрывами, оползнями и обвалами. Самый крупный из оползней-обвалов образовал озеро Казеной-Ам. Параметры разрывов не оставляют сомнений в их сейсмодислокационном происхождении. Кинематика разрывов (левосторонний сбросо-сдвиг) согласуется с геологическими данными о новейших смещениях в зоне Андийского глубинного разлома. Собранные материалы, позволяют уверенно рассматривать этот глубинный разлом в качестве крупной сейсмогенерирующей структуры. Наличие выделенного ранее потенциального очага в зоне Андийского разлома с $M_{max}=7.0$ подтвердилось собранными палеосейсмогеологическими данными.

Ключевые слова: сейсмодислокации, сейсмодислокационное районирование, дистанционное зондирование

Введение

В связи с работой над темой «Разработка детальной карты нового поколения оценки сейсмических рисков территории Северо-Кавказского федерального округа» в рамках ФЦП «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года» возникла необходимость в обобщении накопленных к настоящему времени данных о сейсмической опасности региона. Первый шаг в этом направлении связан с картированием сейсмоактивных тектонических структур по сейсмогеологическим данным. При детальном картировании сейсмической опасности всегда возникают вопросы об определении точного местоположения сейсмогенерирующих структур, их пространственных характеристиках и месте в геологическом строении региона. Используя только сейсмологические каталоги на эти вопросы далеко не всегда можно получить адекватные ответы. Это связано с неполнотой каталогов для доинструментального периода сейсмической истории, и большим периодом повторяемости сильных землетрясений, достигающим сотен и тысяч лет. Такие пробелы можно восполнить с использованием палеосейсмогеологического подхода, основанного на том, что сильнейшие землетрясения далекого прошлого оставляют на поверхности следы – палеосейсмодислокации [Флоренсов, 1960; Солоненко, 1973].

По инструментальным данным Восточный Кавказ отличается высокой и умеренной сейсмической активностью. За период инструментальных сейсмических наблюдений здесь неоднократно происходили разрушительные землетрясения. Самые сильные произошли в 1970 г. (Дагестанское, $M=6.6$, интенсивность в эпицен-

тре – до 9 баллов) и в 1992 г. (Барисахское, $M=6.6$, интенсивность в эпицентре – до 8 баллов). При этом детальные палеосейсмогеологические исследования проводились лишь на южном склоне Восточного Кавказа, в Шемахинской эпицентральной зоне [Хромовских и др., 1979; Агамиров, 1987 и др.].

Первая попытка детального сейсмического районирования Горного Дагестана с использованием данных о развитии обвальных и оползневых процессов была проведена в начале 70-х гг. XX века [Левкович, Тагиров, 1978]. Однако, в качестве примера полноценного применения палеосейсмогеологического метода для восстановления сейсмической истории и оценки сейсмического потенциала можно привести лишь исследования в районе г. Избербаш на побережье Каспия, где была обнаружена серия крупных сейсмогенных оползней [Бунин, 1985]. Здесь же был выявлен обновленный в голоцене молодой разлом длиной не менее 3 км [Куприн, 1959]. Сила последнего землетрясения приблизительно оценена Г. Б. Буниным [1985] магнитудой в 6.5-7; интенсивность – не менее 9 баллов по шкале MSK-64. Это событие находит отражение в летописных источниках и результатах археологических исследований и связано с гибелью древнего г. Урцеки в 650 г.; магнитуда землетрясения оценена как $M=6.1$ [Общий каталог..., 2007].

Таким образом, Восточный Кавказ в сеймотектоническом отношении изучен явно не достаточно. В связи с этим, при составлении сеймотектонической основы для карты сейсмической опасности Северо-Кавказского федерального округа, возникла необходимость проведения новых исследований. Исследования проводились с использованием материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Использование материалов ДЗЗ в современных условиях является мощным инструментом, позволяющим выполнить на камеральной стадии работ весьма значительный объем исследований. В настоящей статье приводятся результаты изучения самой яркой структуры, наиболее уверенно квалифицируемой в качестве сейсмогенной (рис. 1).

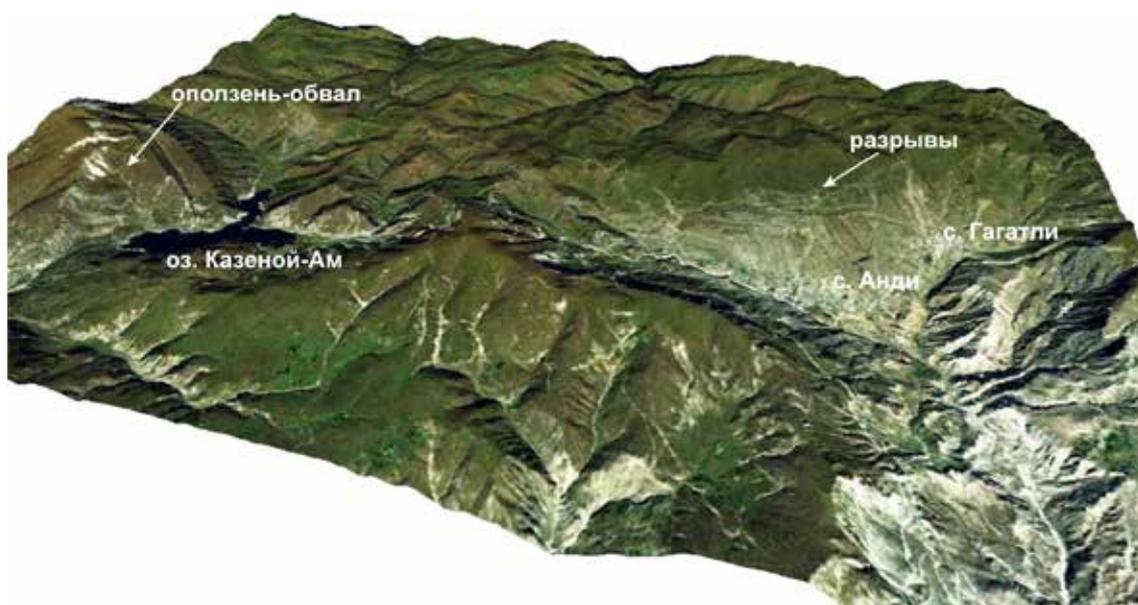


Рис. 1. Общий вид Андийских сейсмодислокаций. Трехмерная модель рельефа, построенная на основе цифровой модели рельефа ASTER GDEM и космоснимка IKONOS.

Методические основы исследований

Палеосейсмогеологические (или палеосейсмологические) исследования дают возможность выявить следы сильных сейсмических событий и оценить период их повторяемости. В. П. Солоненко подразделил сейсмодислокации на сеймотектонические, гравитационно-сеймотектонические и сейсмогравитационные (отседания склонов гор, обвальные, оползне-обвальные, оползневые образования, каменные и земляные лавины, селевые потоки и т.п.) [Солоненко, 1973]. К сеймотектоническим дислокациям относятся разрывы представляющие собой выход очага землетрясения на поверхность (сейсморазрывы). Их тип, размер и сама возможность выхода на поверхность зависят не только от энергии землетрясений, но и от механизма очага, его глубины, сейсмогеологических и инженерно-геологических условий плейстосейстовых областей и ряда других факторов.

Детальный геолого-геоморфологический анализ условий возникновения сильных землетрясений Северной Евразии, произошедших за последние 30-40 лет, позволил составить представление о морфотектонической позиции очагов этих событий [Рогожин, 2012]. Очаги сильных и сильнейших землетрясений представляют собой устойчивые структуры в геологической среде (активные разломы) положение которых обусловлено особым сочетанием геолого-геофизических условий, причем кинематика подвижки от раза к разу может изменяться. Сейсморазрывы обнаруживают специфические структурные рисунки, свойственные всем тектоническим деформациям и приуроченность к определенным геологическим структурам и формам рельефа, сформированным предыдущими сейсмическими подвижками.

Первичное выявление сеймотектонических нарушений (активных разломов) основано на морфологических методах с использованием материалов ДЗЗ [Трифонов и др., 1993]. В общем случае в качестве активных выделяются нарушения, отчетливо выраженные в рельефе в виде прямолинейных, дугообразных или эшелонированных уступов, ложбин и валов различной протяженности, которые пересекают и смещают различные формы рельефа позднечетвертичного возраста (долины водотоков, речные или морские террасы, конусы выноса, поверхности выравнивания и др.), а также синхронные им отложения. При выявлении таких форм рельефа с использованием материалов ДЗЗ чрезвычайно эффективным является построение трехмерных моделей рельефа.

При этом были использованы панхроматические снимки QuickBird с разрешением на местности 0,6 м (<http://khm.google.com>), IKONOS с разрешением 1 м (<http://maps.yimg.com>), а также материалы космической радарной съемки 1-секундного разрешения (ASTER GDEM: <http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/>). Снимки и материалы радарной съемки (цифровой рельеф) были нормализованы и трансформированы в картографическую проекцию Гаусса-Крюгера, в системе координат 1942 г., с представлением в виде как двух-, так и трехмерных космокарт.

Результаты дистанционных исследований

Масштабные палеосейсмодислокации были выявлены на юго-восточном склоне Андийского хребта, в районе сел Анди и Гагатли (рис. 2). Сеймотектонические нарушения представлены системой грандиозных рвов (шириной до 140 м) и уступов (рис. 3). На центральном участке, где развито основное количество нарушений, разрывы пересекают крепкие, органогенно-обломочные известняки готеривского яруса нижнего мела (рис. 4, 5). Горизонт известняков мощностью 35-55 м брониру-

ет склон хребта, залегая согласно его поверхности [Маркус, 2001]. Такой хрупкий субстрат подчеркивает выразительность разрывов. Разрывы образуют здесь структуры растяжения – эшелонированные рвы и грабены глубиной 5-8 м. Опущенные участки заполнены обломками известняков вблизи стенок и застойными отложениями, покрытыми густой травянистой растительностью, что четко выделяет их на фоне окружающих склонов с маломощным почвенным покровом. При общем субширотном (ВСВ) простирании системы нарушений, грабены имеют северо-восточную ориентировку, что может указывать на левосдвиговую компоненту смещений.

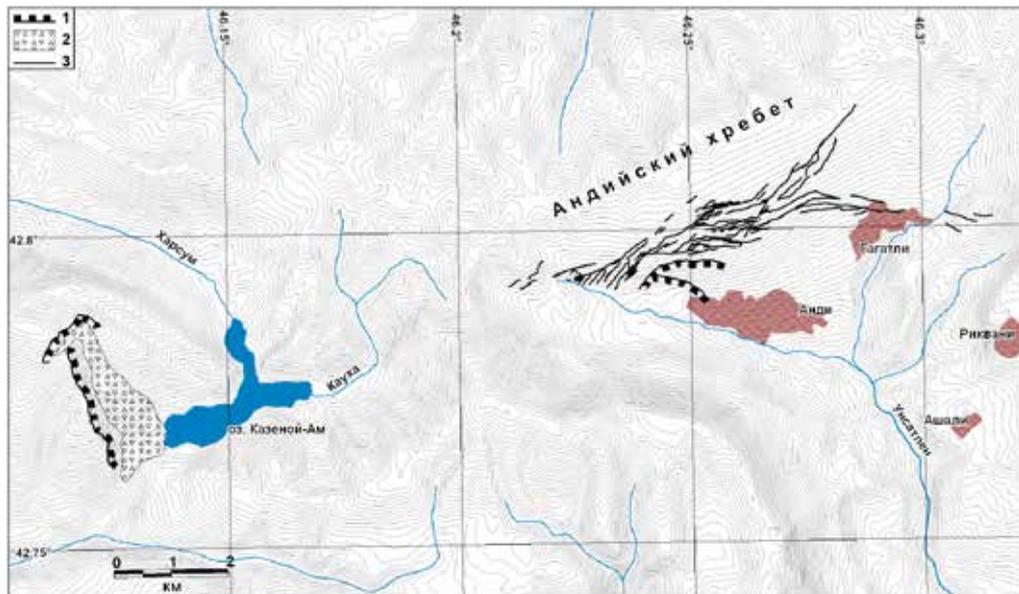


Рис. 2. Общая схема Андийских сейсмодислокаций. 1 – стенки отрыва оползней и обвалов; 2 – самый крупный оползень-обвал; 3 – разрывы.

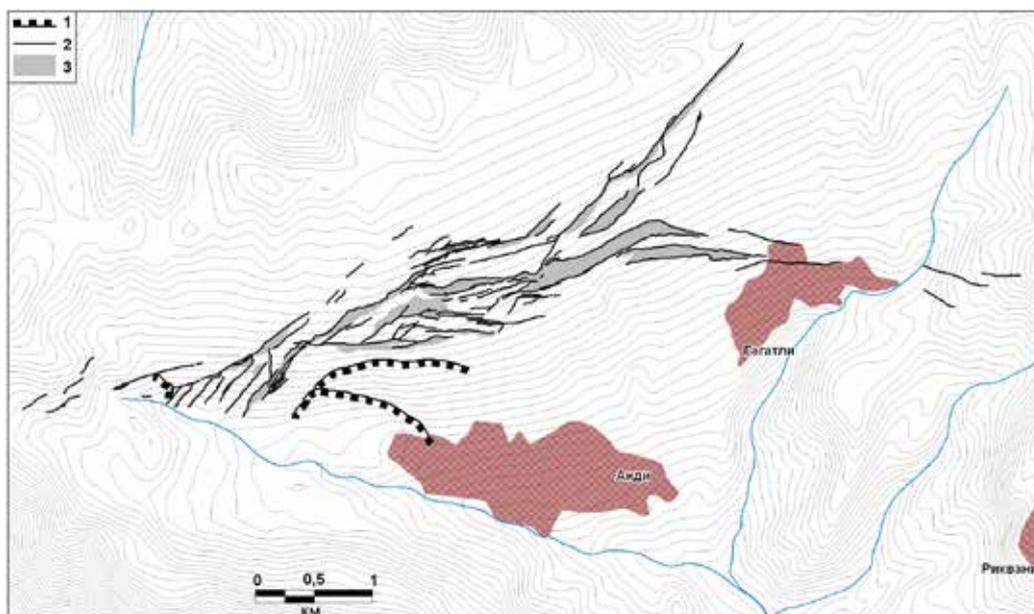
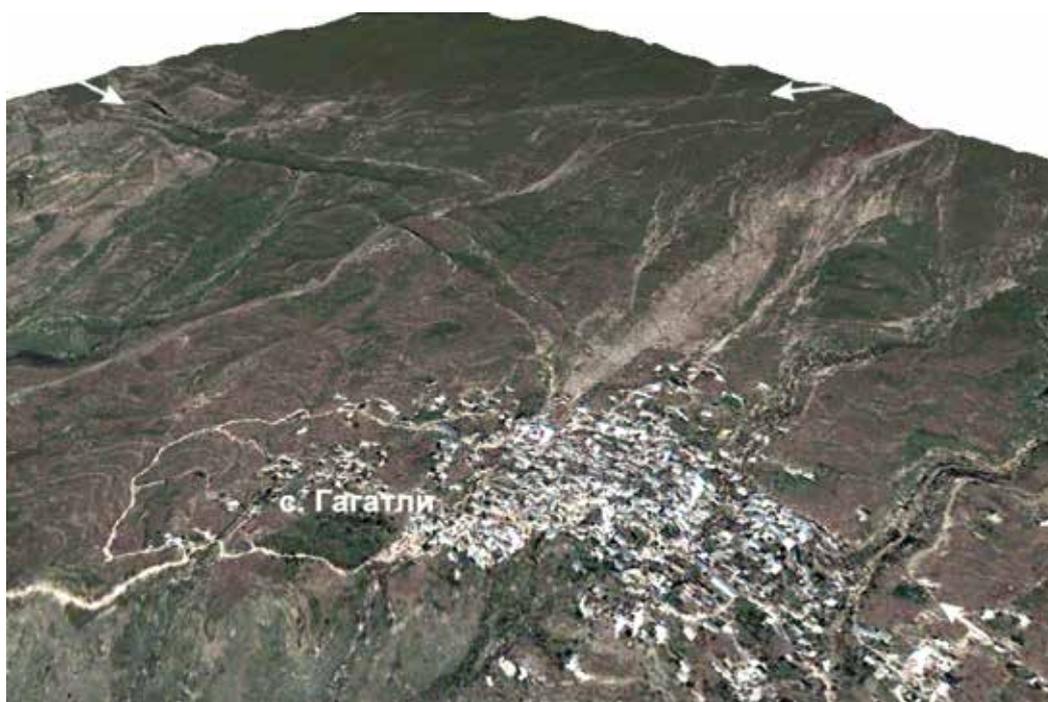


Рис. 3. Детальная схема сейсмотектонических разрывов. 1 – стенки отрыва оползней; 2 – разрывы; 3 – опущенные участки.



*Рис. 4. Восточный участок системы разрывов (указаны стрелками).
Трехмерная модель рельефа, построенная на основе цифровой модели рельефа
ASTER GDEM и космоснимка QuickBird.*



*Рис. 5. Центральный участок системы разрывов. Трехмерная модель рельефа,
построенная на основе цифровой модели рельефа ASTER GDEM и космоснимка
QuickBird.*

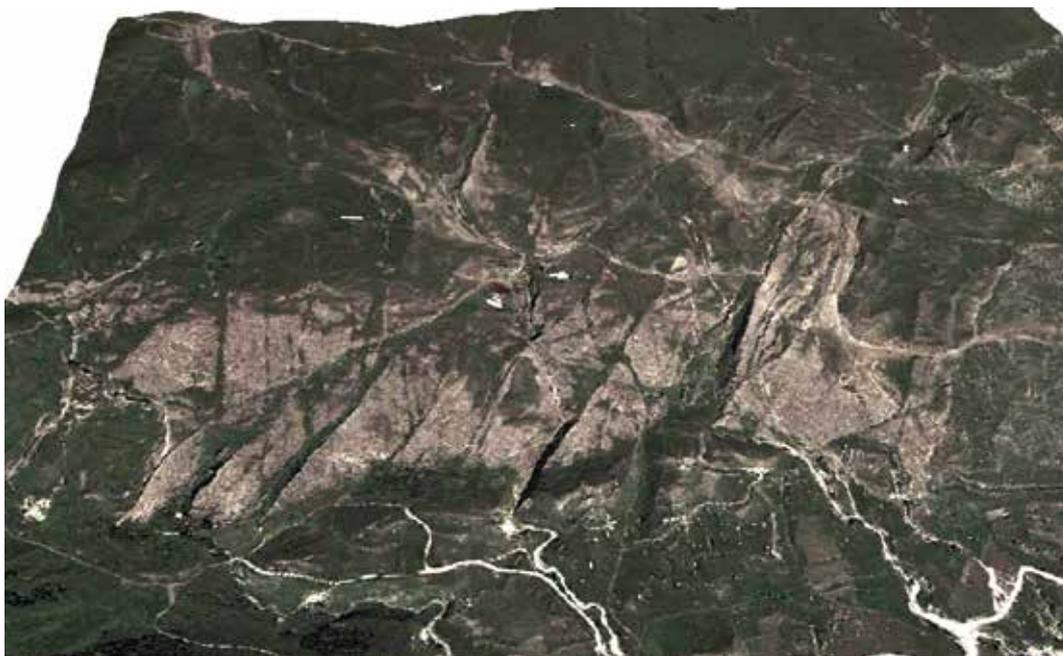


Рис. 6. Западный участок системы разрывов. Трехмерная модель рельефа, построенная на основе цифровой модели рельефа ASTER GDEM и космоснимка QuickBird.

На флангах системы разрывов нарушения развиты в менее прочных породах – аргиллитах с прослоями песчаников аптского яруса нижнего мела [Маркус, 2001]. Здесь они выглядят менее выразительно и завалуированы склоновыми процессами. Поэтому, по космоснимкам система нарушений, скорее всего, прослежена не на всю длину.

Кроме того, к описанным нарушениям пространственно тяготеют крупные скальные оползни и обвалы. Самый крупный из них перегородил рр. Харсум и Кауха, в результате чего образовалось знаменитое своей красотой озеро Казеной-Ам. Возраст озера оценивается в 400-500 лет [Идрисов, Исаков, 2010]. Свежий облик разрывов в районе сел Анди и Гагатли говорит об их одновозрастности с оползнем-обвалом возле озера Казеной-Ам.

Система нарушений сечет речные долины, пересекает водоразделы и имеет в плане дугообразную форму, характерную для сбросов. Кроме того, система грабенов имеет эшелонированное строение, указывающее на левостдвиговую компоненту смещений. Параметры нарушений не оставляют сомнений в их сеймотектоническом происхождении. Характер смещений – левосторонний сбросо-сдвиг. Длина системы нарушений – примерно 8,8 км. Согласно глобальным статистическим соотношениям между магнитудой землетрясения и протяженностью разрыва [Wells, Coppersmith, 1994] магнитуда события составила $M_w = 6.2-6.7$. Так как система нарушений, скорее всего, прослежена не на всю длину, эти оценки являются минимальными. Интересно, что при исследованиях с применением внерегионального сеймотектонического метода на базе кластерного анализа комплекса геолого-геофизических данных в рассматриваемом районе был выделен потенциальный очаг с $M_{max} = 7.0$ [Рогожин и др., 2001], что соответствует собранным палеосейсмогеологическим данным.

Положение Андийских сейсмодислокаций в новейшей структуре Восточного Кавказа

Рассмотренные сейсмодислокации расположены в зоне Андийского разлома северо-восточного простирания, отделяющего с запада структуры Дагестанского клина. Андийский разлом выделяется в качестве глубинного по геофизическим и геологическим данным как крупное нарушение фундамента с пликативно-дизъюнктивными осложнениями и фациальной изменчивостью осадков чехла [Маркус, 2001]. В складчатом чехле альпийского комплекса зона разлома не образует единого дизъюнктива, прослеживаясь в виде широкой зоны образованной отдельными разрывами длиной до 15 км. На северном фланге разломной зоны, М. Ю. Никитиным [1987] при детальном картировании речных террас и геоморфологическом анализе в предгорьях Дагестана (долина р. Акташ), был выявлен крупный левосторонний сбросо-сдвиг смещающий плейстоценовые осадки. На отдельных участках, например на северном окончании Андийского хребта, прослеживаются зоны левосдвиговых пликативных деформаций северо-восточного простирания, выраженные изгибами складчатых структур в мезозойских отложениях. Сбросо-сдвиги протягиваются по долинам рек Аксай, Ярыксу, Акташ, по юго-восточному склону Андийского хребта в Дагестане, до верховий долины р. Шароаргун в Чечне.

Заключение

Кинематика разрывов в районе сел Анди и Гагатли (левосторонний сбросо-сдвиг) согласуется с геологическими данными о новейших смещениях в зоне Андийского глубинного разлома. Это также свидетельствует в пользу их сеймотектонического характера. Собранные материалы, позволяют уверенно рассматривать этот глубинный разлом в качестве крупной сейсмогенерирующей структуры. Наличие выделенного ранее потенциального очага в зоне Андийского разлома с $M_{\max} = 7.0$ [Рогожин и др., 2001] подтверждается палеосейсмогеологическими данными.

По поводу надежности полученных результатов надо отметить следующее. Описанный случай для Большого Кавказа является уникальным. Как правило, остаточные нарушения от землетрясений здесь быстро уничтожаются или сильно искажаются интенсивными эрозионными, склоновыми или селевыми процессами. Использование дистанционных методов сильно затрудняется густыми лесами, покрывающими почти весь Большой Кавказ. Поэтому в большинстве случаев для выявления и детального изучения сейсмодислокаций, в сочетании с дистанционными методами, необходимы трудоемкие полевые работы – маршруты, приповерхностная геофизика и проходка горных выработок. Однако, в силу разных осложняющих факторов, даже такие детальные исследования иногда оказываются малоэффективными. В случае Андийских сейсмодислокаций, литологический фактор (хрупкие известняки, бронирующие склон хребта), а также отсутствие леса и постоянно ползущего склонового чехла, обусловили их чрезвычайно яркую выразительность. Это позволило сделать уверенные выводы, располагая только дистанционными материалами.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера

в Российской Федерации до 2015 года», Российского фонда фундаментальных исследований (проект 11-05-92202а) и Программы Президиума РАН № 4 (проект 1.4).

Литература

1. Агамирзоев Р.А. Сейсмоструктура Азербайджанской части Большого Кавказа. Баку: Элм, 1987, 123 с.
2. Бунин Г.Б. О сейсмогенном оползне на мысе Бойнак в приморской части Дагестана. // Сейсмичность и сейсмоструктура Восточного Предкавказья. Махачкала: Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1985. Вып. 33, с. 65-68.
3. Идрисов И. А., Исаков С. И. Распространение запрудных озер на Восточном Кавказе. // Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. Махачкала: ДИ-НЭМ, 2010. С. 136-138.
4. Куприн П. Н. Нефтегазоносность Восточной антиклинальной зоны Дагестана. // Геология и нефтегазоносность юга СССР. Дагестан. Л.: Гостоптехиздат, 1959, с. 149-323.
5. Левкович Р. А., Тагиров Б. Д. О некоторых особенностях детального сейсмического районирования Дагестана. // Сейсмичность и гидрогазогеохимия территории Дагестан. Махачкала: Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1978. Вып. 17, с. 59-66.
6. Маркус М. А. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Серия Кавказская. Лист К-38-ХІ (Хасавюрт). СПб: Изд-во картфабрики ВСЕГЕИ, 2001.
7. Никитин М. Ю. Неотектоника Восточного Кавказа. // Бюлл. МОИП, отд. геол., т. 62, вып. 3, 1987, с. 21-36.
8. Общий каталог землетрясений на территории Дагестана. Макросейсмические и инструментальные данные о землетрясениях за период с VII в н.э. до 2005 г. Махачкала: «Эпоха», 2007. 393 с.
9. Рогожин Е. А., Рейснер Г. И., Иогансон Л. И. Оценка сейсмического потенциала Большого Кавказа и Апеннин независимыми методами. // Геофизика и математика XXI в. Современные математические и геологические модели в задачах прикладной геофизики. М.: ОИФЗ РАН. 2001. с. 279-299.
10. Рогожин Е. А. Очерки региональной сейсмоструктуры. М.: ИФЗ РАН, 2012. 340 с.
11. Солоненко В. П. Палеосейсмогеология // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1973. № 9. с. 3-16.
12. Трифонов В. Г., Кожурин А. И., Лукина Н. В. Изучение и картирование активных разломов // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Т 1. М.: ОИФЗ РАН. 1993. С.196-206.
13. Флоренсов Н. А. О неотектонике и сейсмичности Монголо-Байкальской горной области // Геология и геофизика, 1960. № 1. С. 74-90.
14. Хромовских В. С., Солоненко В. П., Семенов Р. М., Жилкин В. М. Палеосейсмогеология Большого Кавказа. М.: Наука, 1979. 188 с.
15. Wells D.H., Coppersmith K.J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement // Bull. Seis. Soc. Am., 1994, vol. 84, No. 4, p. 974-1002.

ANDIAN SEISMODISLOCATIONS IN DAGESTAN: EXPERIENCE OF REMOTE INVESTIGATIONS IN SEISMOTECTONIC ZONING OF EAST CAUCASUS

**Ovsyuchenko A. N., Sc. Candidate (Geol.), Rogozhin E. A., Sci. Doctor (Geol.),
prof., Zaitseva N. V., Lukashova R. N., Sci. Candidate (Geol.)**

Institute of Physics of the Earth RAS, Moscow, Russia, e-mail: ovs@ifz.ru

At remote researches, in Dagestan on southeast slope of Andian ridge, have been revealed ancient seismic disruptions presented by fault scarps, landslides and rock avalanches. Largest of landslides has formed lake Kazenoy-Am. Parameters of fault scarps do not leave doubts in their seismotectonic origin. The kinematics of fault scarps conforms to geological data about the newest displacements in a zone of Andian deep fault. Collected materials, allow to consider surely this deep fault as a large earthquake producing structure. Presence of allocated before the potential seismic source in a zone of Andian fault with $M_{max}=7.0$ has proved to be true by collected paleoseismic data.

Keywords: seismodislocations, seismotectonic zoning, remote sensing

НАШИ ГОСТИ

УДК 550.34

ГЛУБИННЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОЧАГОВЫХ ЗОН ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНА

© 2012 Т. Я. Маммадли, д.г.-м.н.

Республиканский Центр Сейсмологической Службы Национальной Академии
Наук Азербайджана, Азербайджан, Баку Az 1001, ул. Н. Рафибейли, 9.
e-mail: m-tahir@mail.ru

Исследованы особенности глубинных структур сейсмогенерирующих зон Азербайджана по слабой сейсмичности методом, ранее разработанным автором. Было установлено, что источники слабых землетрясений в сейсмогенных зонах сконцентрированы в определенных интервалах глубин, верхние границы которых соответствуют глубине поверхности кристаллического фундамента. Зоны сильных землетрясений ($M \geq 5,0$) также расположены на границе кристаллического фундамента.

Ключевые слова: сейсмогенерирующие зоны, землетрясения, слабая сейсмичность

Выявление сейсмогенерирующих зон или сейсмических очагов, изучение их глубинного строения остается по сегодняшний день одним из актуальных вопросов современной сейсмологии.

Решение этой проблемы имеет огромное значение не только для картирования сейсмической опасности территорий, но и даст возможность проследить за развитием сейсмического процесса в очагах сильных землетрясений, что очень важно для прогнозирования последних.

Представления о сейсмогенерирующих зонах весьма разнообразны. По И. Е. Губину [Губин, 1950], Н. В. Шебалину [Шебалин, 1997] сейсмические очаги сильных землетрясений приурочены к крупным тектоническим разломам. Г. П. Горшков [Горшков, 1948] считает, что сейсмогенерирующие зоны имеют объемную природу и связаны с различными тектоническими структурами.

Е. А. Рогожин [Рогожин, 1993] своими более детальными исследованиями обосновал предложения исследователей [Кейлис-Борок, Кособоков, 1984, 1986] о приуроченности очаговых зон сильных землетрясений к тектоническим разломам или к узлам дизъюнктивных разломов различного ранга.

Установленная закономерность о приуроченности очагов сильных землетрясений к зонам тектонических разломов позволила ученым разработать так называемый «генетический» или «сеймотектонический» метод выявления потенциальных очаговых зон сильных землетрясений. При этом крупные тектонические разломы исследуемого региона, принимаются как потенциальные очаговые зоны, и считается возможным возникновение землетрясений с максимальной магнитудой (M_{max}) в каждой ее точке.

Однако этот метод, применяемый в настоящее время при сейсмическом районировании, имеет определенные, можно сказать сильно искажающие основные результаты исследований, недостатки. Во-первых, крупные тектонические разломы, применяемые за потенциально опасные зоны, необоснованно считаются активными по всей протяженности. Во-вторых, экстраполяция сейсмостатических данных (M_{\max}) на другие части разломных зон также не имеет никакой основы. В-третьих, в зонах разломов, где не наблюдались или не имеются данные о сильных землетрясениях, исключается возможность возникновения таких землетрясений в будущем. Таким образом, применяемый в работах сейсмического районирования «генетический» или «сеймотектонический» метод не оправдывает себя.

Более обоснованным методом определения потенциально опасных очаговых зон сильных землетрясений является метод выявления сейсмогенерирующих зон глубинных разломов по слабой сейсмичности [Маммадли, 2005, 2011].

Этот метод основан на представлении о сейсмогенерирующих структурах, которыми являются активные разломы, разграничивающие геотектонические структуры с различным тектоническим режимом и аккумулирующие все сильные и основную массу слабых и средней силы землетрясений. По этой методике можно без каких-либо дополнительных (геологических, тектонических) данных по слабой сейсмичности определить сейсмогенерирующие зоны, следовательно, установить потенциальные (известные и неизвестные по настоящее время) очаговые зоны сильных землетрясений. Магнитуда максимально возможных землетрясений M_{\max} в сейсмогенерирующих зонах по методу Т.Я. Маммадли [Маммадли 2005, 2011] определяется на основе формулы

$$L_g L_{km} = 0,366M - 0,883 \quad ,$$

полученной из анализа соотношений протяженности сейсмогенерирующих зон и магнитуды землетрясений, происходивших в них. Отметим, что значения магнитуд максимально возможных землетрясений M_{\max} в сейсмогенерирующих зонах очень хорошо согласуются с такими значениями, полученными другими исследователями [Губин, 1978; Ризниченко, 1976; Toksoz и др., 1979; Utsi, 1961]. Более того, магнитуда M_{\max} определяемая по предложенному методу [Маммадли, 2005, 2011] точнее, чем данные других исследователей [Губин, 1978; Ризниченко, 1976; Toksoz, 1979; Utsi, 1961]. Дело в том, что вышеуказанными исследователями протяженность очаговых зон определяется на основе размера облаков афтершоков, плейстосейстовой зоны, остаточной сейсмодислокации и т.д., тогда как новый метод более точно определяет сейсмогенерирующие зоны, следовательно, и их размеры. На основе этой методики, на территории Азербайджана, которой свойственна достаточно высокая сейсмическая активность, выявлено множество сейсмогенерирующих зон с различной протяженностью и направлением. Эти зоны соответствуют сегментам глубинных разломов, выявленных ранее геолого-геофизическими методами [Карта..., 1992].

Достаточно высокое пространственное совпадение этих сейсмогенерирующих линий и эпицентров очагов сильных землетрясений ($M \geq 5,0$) Азербайджана подтверждает правильность полученных результатов (рис. 1).

Сразу же отметим, что пространственное расположение выделенных сейсмогенерирующих зон показывает, что на территории Азербайджана ни один разлом по всей протяженности не проявляет одинаковую сейсмическую активность. Это

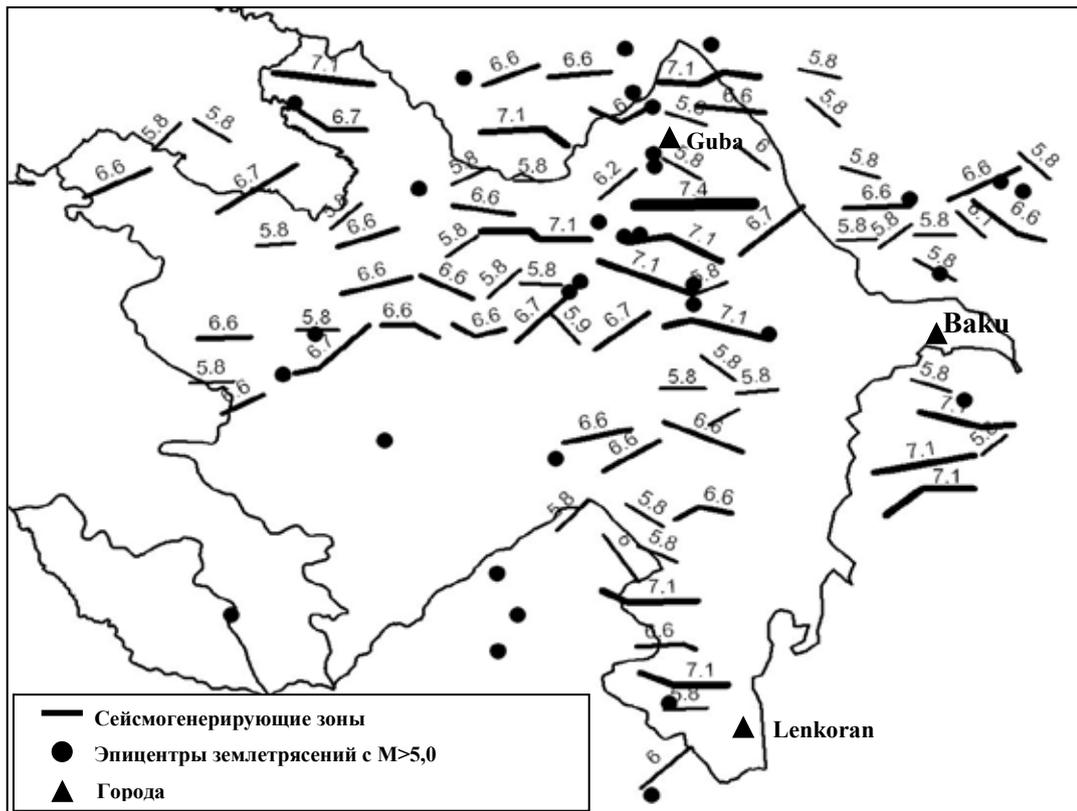
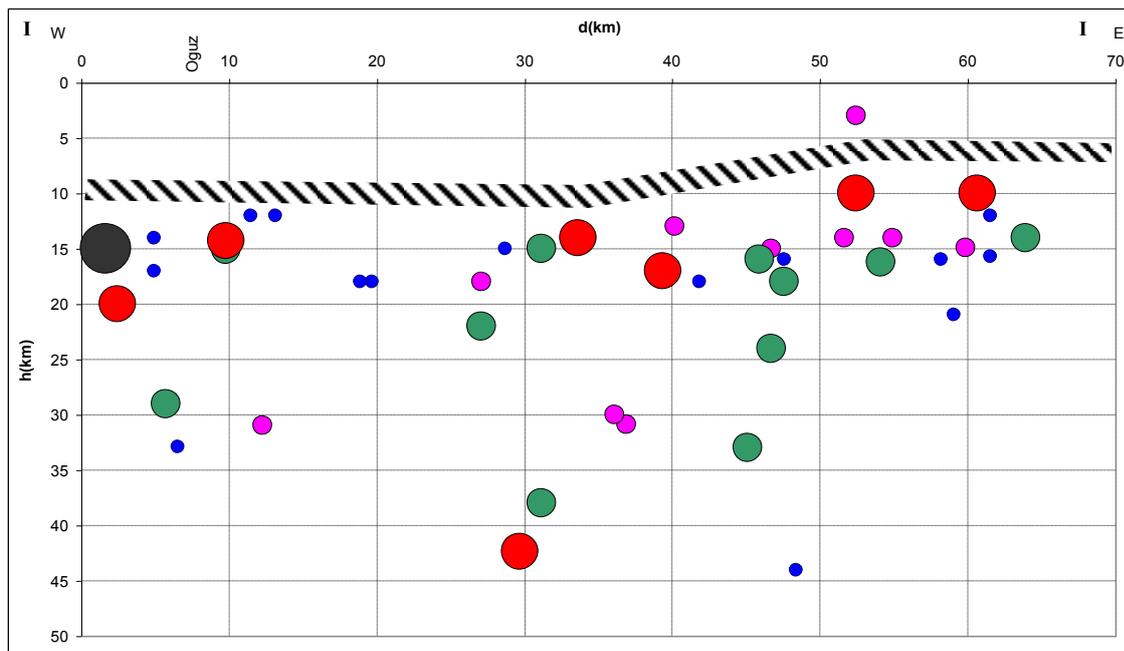


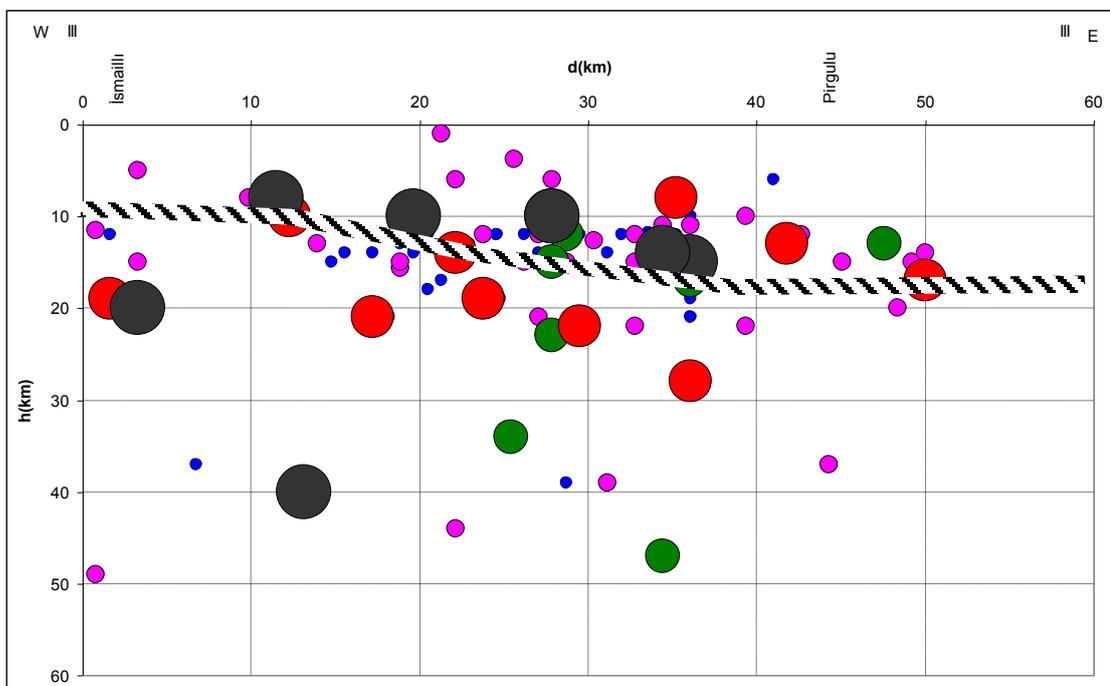
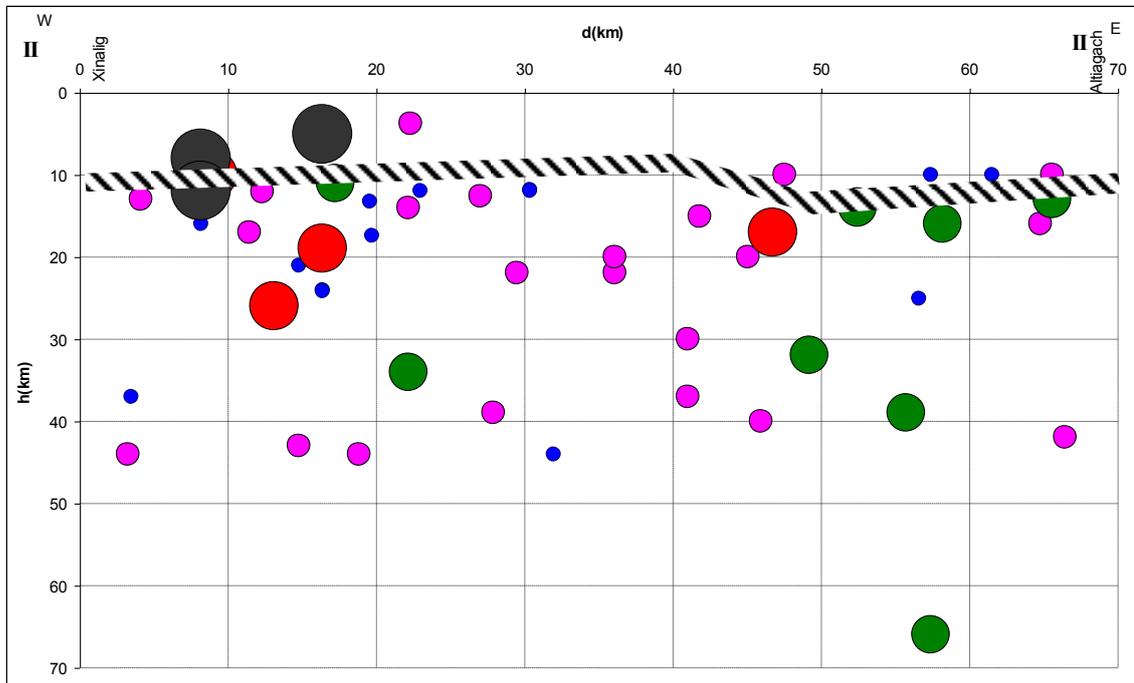
Рис.1. Сейсмогенерирующие зоны территории Азербайджана.

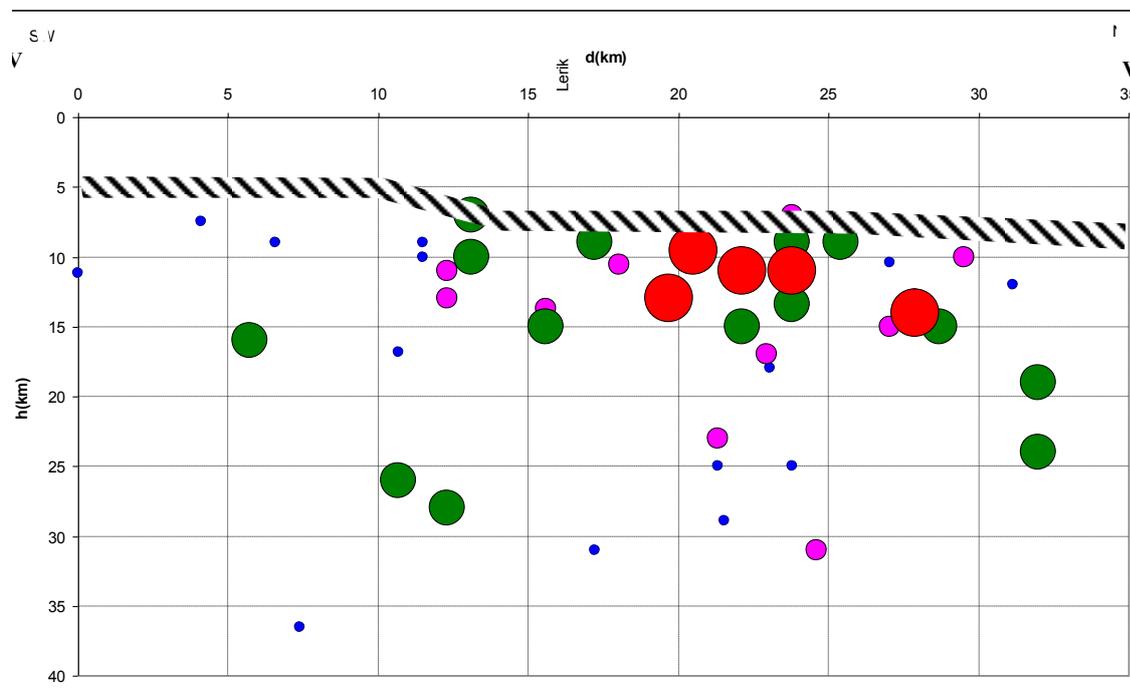
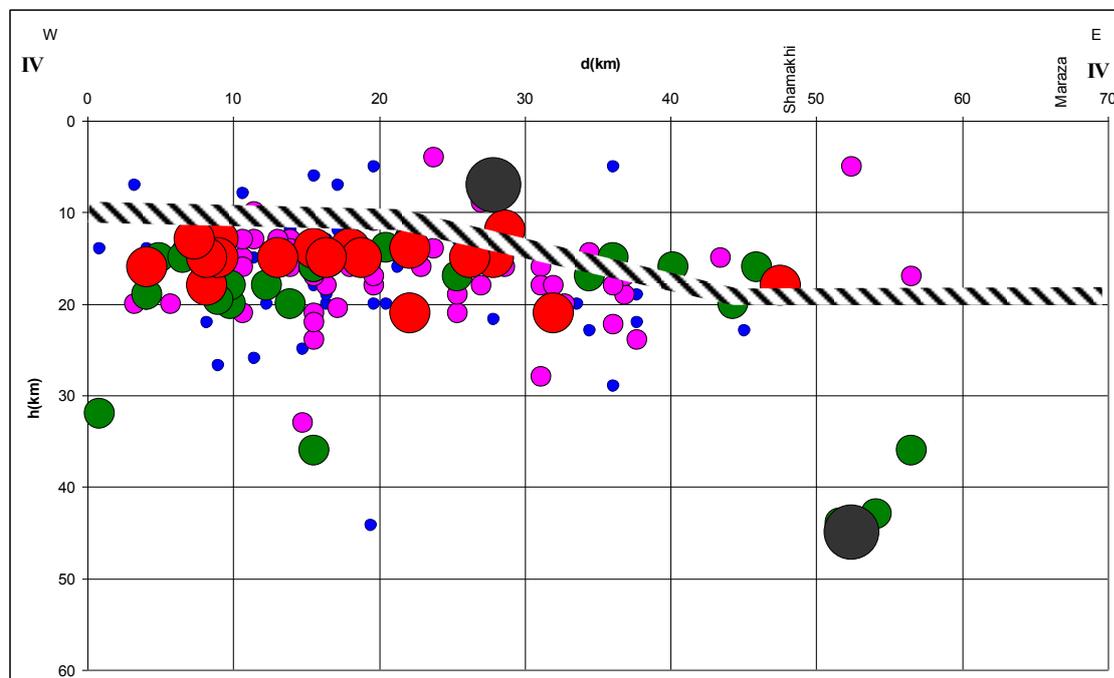
является еще одним доказательством того что, считать крупные разломы по всей протяженности активными, необоснованно.

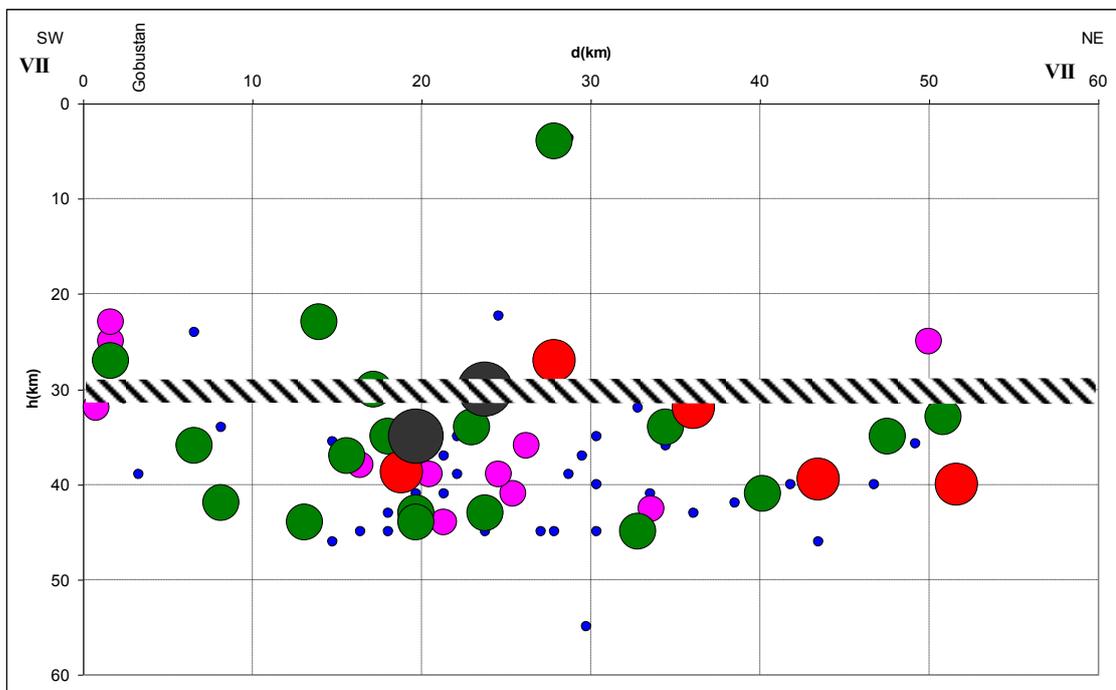
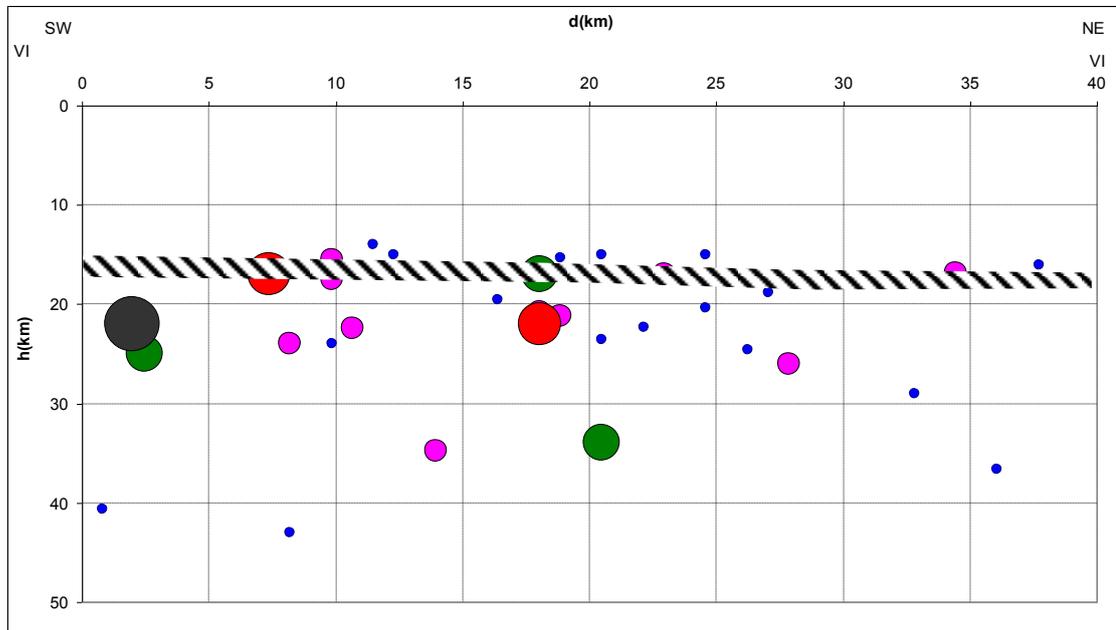
Кроме выявления пространственного расположения сейсмогенерирующих зон, также важное значение имеет изучение глубинных структурных особенностей последних. Это позволяет определять объем сейсмогенерирующего слоя, анализировать особенности распределения слабых и сильных сейсмических толчков в этом слое. Выявление характерных глубин возникновения очагов сильных землетрясений является одним из необходимых этапов работ, проводимых для оценки уровня сейсмической опасности территории. Исследование этих вопросов позволяет понять, как развиваются сейсмические, т.е. динамические процессы в сейсмогенерирующих зонах, и главное, на каких глубинных диапазонах возникают сильные землетрясения. Последнее важно не только для изучения физики очага землетрясения, а также необходимо для оценки и прогнозирования уровня сейсмической опасности при сильных землетрясениях, так как степень проявления землетрясений, помимо ее магнитуды, зависит и от глубины очага.

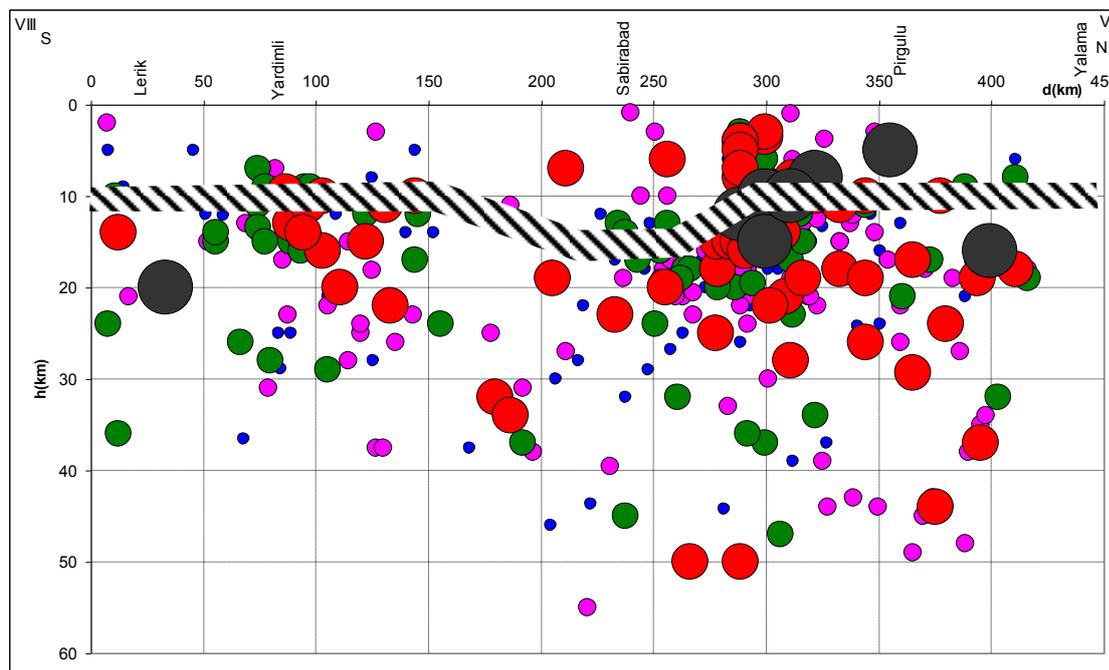
С целью исследования вышеуказанных вопросов были построены сейсмические разрезы по профилям, проведенным по нескольким сейсмогенерирующим зонам [Маммадли, 2005, 2011]. Карта профилей и некоторые из сейсмических разрезов приведены на рис. 2.











Условные обозначения:

Землетрясения m_l - ● 3.0 ● 3.5 ● 4.0 ● 4.5 ● ≥ 5.0
 ▨ - поверхность кристаллического фундамента (ПКФ)

Рис. 2. Карта профилей сейсмических разрезов и сейсмические разрезы.

Из этих разрезов видно, что слабые сейсмические толчки на различных очаговых зонах сконцентрированы на разных глубинах. На нескольких разрезах (I-I, III-III, IV-IV, V-V) очаги слабых землетрясений сконцентрированы в интервале глубин 10÷20км, хотя в отдельных их частях или в других некоторых разрезах наблюдаются углубления очагов. Так, на разрезе I-I, юго-восточнее г.Огуз отмечаются землетрясения с глубинами от 12 до 40 км. В восточной части разреза глубина очагов уменьшается до $H=8-15$ км. На разрезе II-II, в районе восточнее Хыналыг, землетрясения возникали на диапазоне глубин 8-25км, тогда как на востоке слабые толчки распространены на глубину от 10км до 40км. Западная и восточная части сейсмического разреза II-II также различаются. Если на западе, в районе Хыналыг гипоцентры скоплены на интервале глубин 8-25 км, то по мере удаления к востоку глубины очагов возрастают до $H\sim 40$ км.

В морской части территории (на разрезе VII-VII) очаги слабых землетрясений концентрированы на глубине 30-45 км.

Профиль VIII-VIII проходит с юга республики на север, пересекая зоны профилей V-V, IV-IV, III-III и II-II. Из разреза по этому профилю можно заметить, что с юга на север, глубина зоны концентрации слабых землетрясений меняется. Так, в районе Лерик-Ярдымлы (профиль V-V) очаги слабых толчков скоплены в интервале глубин 10÷20 км, несколько севернее, в районе Кюрдамир-Сабирабад сейс-

мические толчки распространены несколько глубже (15-30 км), еще севернее – в районе Шамахи – Пиргулу вновь наблюдаются скопления основной массы очагов землетрясения на несколько меньшей глубине – 5-20 км. Не менее важным фактом является то, что во всех разрезах очаги сильных ($M \geq 5,0$) землетрясений приурочены в основном, к зонам концентраций слабых толчков.

Сопоставление особенностей глубинного распределения очагов землетрясений с глубиной поверхности кристаллического фундамента (ПКФ) земной коры выявило интересную закономерность.

Глубина верхней части зоны концентрации сейсмических толчков на сейсмических разрезах соответствуют примерно глубинам (ПКФ), или его приповерхностной части. Так, на западной части разреза I-I поверхность фундамента расположена на глубине 10 км, а его восточной части уменьшается до 8 км [Kangarli, 1999]. Примерно, такая же глубина поверхности наблюдается в зоне скопления очагов землетрясений, на этом разрезе. На западной части очаги в основном распределены ниже глубины 12 км, тогда как в его восточной части очаги концентрируются на глубине в интервале 8-15 км. Сразу же отметим, что небольшую разницу в значениях глубины фундамента и зоны концентрации можно пренебрегать, учитывая точности их определения.

Если верхняя граница зоны скопления гипоцентров землетрясений на западной части разреза II-II проходит на глубине 8-10 км, то на восточной части это значение равно примерно 12-15 км, что очень хорошо коррелируются с глубинами ПКФ, которые равны 10 км и 16 км на западной и восточной частях, соответственно.

Такую корреляцию можно проследить на разрезах III-III, IV-IV и V-V.

Совпадение глубинных уровней зоны концентрации сейсмических толчков и ПКФ очень четко прослеживается и на разрезах VI-VI и VII-VII. На этих разрезах гипоцентры очагов землетрясений сконцентрированы в основном в диапазоне глубин $H=15-25$ км (VI-VI) и $H=30-45$ км (VII-VII). ПКФ в этих районах проходит на глубине около $H=16$ и $H=30$ км, соответственно [Мамедов, 2010].

Похожую картину можно наблюдать на разрезе по протяженному профилю VIII-VIII. На разрезе видно, что на юге – в районе Ярдымлы землетрясения концентрируются на глубине $H = 8-16$ км, несколько севернее сейсмические толчки углубляются, и концентрируются на глубине $H = 10-25$ км. Еще севернее, в районе Шамахи-Исмаиллы глубина зоны концентрации землетрясений вновь уменьшается до 3-17 км.

На северной части профиля гипоцентры концентрируются примерно в диапазоне глубин $H= 15-25$ км. ПКФ по этому профилю также с юга на север проходит таким же изменением глубины залегания.

При анализе этих сейсмологических разрезов можно заметить, что везде очаги сильных землетрясений $M \geq 5,0$ приурочены к зонам ПКФ. С другими словами сильные землетрясения Азербайджана возникают в приповерхностных частях кристаллического фундамента, т.е. на глубинах в горных и предгорных зонах $H = 10-12$ км, в депрессионных областях $H = 15-17$ км, и в Каспийском море – на юге Апшеронского полуострова $H= 30-35$ км, севернее Апшеронского полуострова – $H = 15-25$ км.

Литература

1. Горшков Г.П. О новой карте сейсмического районирования территории СССР / Тр. Геоф. Института АН СССР, № 1, 1948. С. 71-73.
2. Губин И.Е. Сейсмоструктурный метод сейсмического районирования / Труды Геофизического Института АН СССР, № 13 (140). 1950. С. 1-53.
3. Губин И.Е. Геология и землетрясения / Сейсмоструктурная южных районов СССР. М.: Наука, 1978. С. 5-26.
4. Карта глубинного строения Черноморско-Южно-Каспийской области регионального прогибания М.1:1000000 / Гл. ред. К.М. Керимов, Э.Ш. Шихалибейли. Баку, 1992.
5. Кейлис-Борок В.И., Кособоков В.Г. Комплекс долгосрочных предвестников для сильнейших землетрясений мира // В кн.: Землетрясения и предупреждение стихийных бедствий. 27-ой международный геологический конгресс (СССР, Москва, 4-14 августа 1984). Коллоквиум 06. М.: Наука. 1984. Т. 61. С. 56-66.
6. Кейлис-Борок В.И., Кособоков В.Г. Периоды повышенной вероятности возникновения сильнейших землетрясений мира // Математические методы в сейсмологии и геодинимике (Вычислительная сейсмология; вып. 19). М., 1986. – С. 48-58.
7. Мамедов П.З. Современная архитектура Южно-Каспийского Мегабассейна-результат многоэтапной эволюции литосферы в центральном сегменте Альпийского-Гималайского подвижного пояса // Известия Национальной Академии Наук Азербайджана, Науки о Земле, № 4. 2010. С. 60-64.
8. Маммадли Т.Я. Выявление очаговых зон сильных землетрясений Азербайджана и определение их максимальных магнитуд (M_{\max}) по слабой сейсмичности / Известия Национальной Академии Наук Азербайджана, Науки о Земле, № 4. 2005. С. 60-64.
9. Маммадли Т.Я. Новая методика выявления очаговых зон сильных землетрясений и определение их максимальных магнитуд (M_{\max}) по слабой сейсмичности (на примере территории Азербайджана) / Проблемы сейсмоструктурной. Материалы XVII Всероссийской конференции с международным участием Воронеж-Москва, 2011. С. 337-341.
10. Ризниченко Ю.В. Размеры очага коревого землетрясения и сейсмический момент / Исследования по физике землетрясений. М.: Наука, 1976. С. 9-27.
11. Рогожин Е.А. Тектоника очаговых зон сильных внутриконтинентальных землетрясений / Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып.1. М.:ОИФЗ РАН, 1993. С. 217-227.
12. Шебалин Н.В. Сильные землетрясения / Избранные труды. М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. 542 с.
13. Kangarli T.N. Alpine geodynamics of the earth's crust of Azerbaijan. – Oriceeding of the 5th Baku International Congress «Energy, Ecology, Economi». Baku, v.10. 1999. pp.199-205.
14. Toksoz M.N., Shakal A.F., Mishael A.J. Space-time migration of earthquake along the North Anatolian fault zone and seismic gaps / Pure and Appl. Geophys. V.117. 1979. p. 1258-1270.
15. Utsi T. A statistical study of the occurrence of aftershocks // Geophys. Mag. V. 30. №4. 1961. p. 521-605.

SEISMOGENIC ZONES OF AZERBAIJAN AND THEIR DEPTH STRUCTURAL FEATURES

T. Y. Mammadli, Sc. Doctor (Geol.)

Republican Center of Seismic Service of Azerbaijan National academy of sciences,
Baku, Azerbaijan Republic, e-mail: m-tahir@mail.ru

Investigated depth structural features of the seismogenic zones of Azerbaijan by weak seismicity, identified earlier by the author. Have been found that the sources of weak shakes in seismogenic zones are concentrated in certain depth intervals, the upper limits which correspond to the depth of the surface of the crystalline basement. Also determined that, source zones of strong earthquakes ($M \geq 5.0$) located near the surface of crystalline basement.

Keywords: seismogenic zones, earthquakes, weak seismicity

ДИСКУССИИ, ОБСУЖДЕНИЯ

УДК 551.24 (234.9)

О ПРИЧИНАХ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ОБВАЛОВ НА ЛЕДНИК КОЛКА ПЕРЕД ЕГО КАТАСТРОФИЧЕСКИМ ВЫБРОСОМ 20 СЕНТЯБРЯ 2002 ГОДА И НЕКОТОРЫХ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ОЦЕНКАХ ВЕЛИЧИНЫ ЭТИХ ОБВАЛОВ

© 2012 М. Г. БЕРГЕР, д.г.-м.н., проф.

Международный инновационный научно-технологический центр
«Устойчивое развитие горных территорий»; Центр геофизических исследований
ВНЦ РАН и PCO-A, Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова 93а.
e-mail: berger7@rambler.ru

Опровергнуты представления о тектонических причинах предкатастрофической интенсификации обвалов на ледник Колка в июле-сентябре 2002 г. Как и многие другие аномальные по характеру или интенсивности природные явления, происходившие в данном районе в это время – на стадии подготовки катастрофического пароксизмального газодинамического выброса ледника Колка, а затем и сам выброс ледника, интенсификация обвалов была вызвана продолжительным мощным концентрированным (струйным) прорывом к земной поверхности (в область пониженных давлений) высоконапорных глубинных поствулканических газов, сопровождавшимся разрушением горных пород, в том числе опережающим трещинообразованием в поверхностной и приповерхностной зонах, под давлением расширяющихся сжатых газов на путях их восходящей струйной миграции. Интенсификация обвалов содействовало и термальное воздействие поствулканических газов на породы криолитозоны в верхней части горного массива. При всей их аномальной интенсивности, предкатастрофические обвалы на ледник Колка не сыграли сколько-нибудь существенной роли в проявлении выброса ледника, не были ни главной, ни даже второстепенной его причиной. Показаны необоснованность и ошибочность некоторых количественных оценок величины этих обвалов. Опровергнуты представления о проявлении 20 сентября 2002 г. гигантского обвала на ледник Колка.

Продолжительные аномально интенсивные предкатастрофические обвалы на ледник Колка – один из предвестников пароксизмального взрывоподобного катастрофического газодинамического выброса ледника Колка, следствие и показатель протекания процессов его подготовки. Ни в каком другом отношении эти обвалы и широко проводимое в течение более десяти лет их интенсивное изучение ни научного, ни практического интереса не представляют.

Ключевые слова: ледник Колка, поствулканические газы, катастрофический газодинамический выброс, предкатастрофическая интенсификация обвалов.

Мы... выбираем одну за другой основные черты явления, начиная с той, которая прежде всего привлекает наше внимание. При этом... наиболее часто бросается в глаза как раз не то обстоятельство, которое опытный ученый считает основным...

Дж. К. Максвелл

1. Предварительные замечания. Некоторые исходные данные

Чрезвычайно важной задачей исследований природных катастроф, имеющей очень большое и научное, и практическое значение, является выявление и изучение надежных предвестников этих катастроф. При этом важно не только указание характера предвестникового явления и времени его проявления (промежутка времени между этим предвестником и ожидаемым временем наступления катастрофы), но и выявление природы (генезиса) предвестника, причин и условий его проявления, характера его связи с катастрофой, его места в цепи взаимосвязанных событий, определяющих подготовку катастрофы и определяемых процессами ее подготовки.

В этом плане в исследованиях Колкинской катастрофы 2002 г. наиболее часто особое внимание привлекают предшествовавшие катастрофе аномально интенсивные, в том числе сравнительно крупные, продолжительные обвалы на ледник Колка висячих ледников правого (южного) борта ледника и части их скального основания, оставившие бросающиеся в глаза следы их отрыва на северном склоне г. Джимарайхох и ее восточных отрогов, представляющих западную часть перемычки между г. Джимарайхох и г. Майлихох.

Эти обвалы в течение примерно двух месяцев предшествовали гигантской природной катастрофе на леднике Колка и в Геналдонском ущелье, по всей вероятности, сопровождали ее в течение весьма непродолжительного времени ее протекания и длительное время продолжались после нее [Десинов, 2004; Десинов, Котляков, 2005; Котляков и др., 2003; Котляков, Рототаева, 2003; Тутубалина, Черноморец, Петраков, 2005; и др.].

Многими специалистами придается исключительно большое значение этим обвалам, именно с их проявлением обычно так или иначе связываются причины катастрофического пароксизмального выброса ледника Колка, а в будущем, в случае повторения таких обвалов, – возможность повторения подобной катастрофы.

Некоторые высказанные по данному поводу представления во многом близки к выдвинутой еще столетие назад гипотезе Н. В. Поггенполя [Поггенполь, 1905], который связывал принципиально подобную по характеру протекания катастрофу 1902 г. в данном районе вообще, собственно, не с ледником Колка, а с обвалами висячих ледников (семи «фирн-глетчеров») с северного склона г. Джимарайхох в ущелье Колки, образовавшими «две колоссальные лавины, которые проникли далеко в долину Геналдона» [Поггенполь, 1905, с. 8, а также с. 10-11]. Не усматривая причину катастрофы непосредственно в леднике (и, тем более, в процессах, протекавших под ледником), Н. В. Поггенполь [Поггенполь, 1905, с. 8] пишет: «Причина ужасного несчастья лежала гораздо выше, – на крутом северном склоне самого Гимарай-Хоха, образующего гигантскую фирновую стену». При этом Н. В. Поггенполь совершенно не анализирует, не учитывает и, вообще, никак не характеризует пред- и посткатастрофическое состояние ледника Колка (за исключением допускающего различное генетическое истолкование указания, что ко времени его посещения этих мест, т. е. к 17-18 августа 1902 г., «все ущелье Колки было еще завалено несметным количеством фирновых масс» [Поггенполь, 1905, с. 9]), и не предполагает какого-либо участия самого ледника Колка в этой катастрофе. (Иначе, по-видимому, думали об этой катастрофе более осведомленные о катастрофе и предшествовавших ей обвалах, в частности, о времени проявления обвалов висячих ледников, местные жители, усматривавшие источник беды именно в леднике Колка, а не в обвалах с г.

Джимарайхох и в связи с этим, предполагая возможность повторения катастрофы, отказывавшиеся идти к леднику и согласившиеся заночевать лишь на достаточной высоте в стороне от него [Поггенполь, 1905, с. 6] на поляне, которая, судя по описанию Н. В. Поггенполя [там же], была явно не затронута катастрофой 3 и 6 июля; возможно, это сохраняло надежду, что и в случае следующей катастрофы это место окажется не затронутым и безопасным. По сохранившимся у потомков воспоминаниям, местные жители отговаривали людей идти 6 июля 1902 г. на поиски пропавших за несколько дней до этого, говоря им, что «ледник еще дышит» [Ю. Г. Цогоев, личное сообщение], а не указывая на возможность новых обвалов на ледник с г. Джимарайхох. В этой краткой формулировке на обычном бытовом уровне в разговорной иносказательной образной форме, естественной для неспециалистов, очень емко, но достаточно правильно и вполне понятно отражены, как можно думать, не только неустойчивость состояния ледника перед его очередным газодинамическим выбросом 6 июля 1902 г., но и характер и причины этой неустойчивости, обусловленные продолжавшимся пульсационным поступлением высоконапорных поствулканических газов под ледник.)

Гипотеза Н. В. Поггенполя, однако, не может быть использована при объяснении характера и причин катастрофы 2002 г., поскольку при этом необходимо объяснить, прежде всего, именно состояние ледника Колка в 2002 г., особенно его посткатастрофическое состояние, которое, в отличие от состояния ледника в 1902 г., достаточно хорошо известно и не сводится к приведенной Н. В. Поггенполем [Поггенполь, 1905, с. 9] характеристике, относящейся к 1902 г.

Позицию Н. В. Поггенполя и других исследователей Геналдонской (Колкинской) катастрофы 1902 г. (во многом принципиально различающихся по их представлениям об этой катастрофе, ее характере и причинах), прежде всего, Э. А. Штебера [Штебер, 1903], а в последующем Л. А. Варданянца, П. В. Ковалева, К. П. Рототаева и других, во многом можно объяснить недостаточностью имевшихся данных для установления характера (геодинамического типа) этой катастрофы, объемов, времени, стадийности и причин проявления предшествовавших ей продолжительных аномальных обвалов с северного склона г. Джимарайхох, а также для выявления особенностей взаимосвязи между катастрофой и этими обвалами. Сходная ситуация существует и в исследованиях более ранних Девдоракских (XVIII-XIX вв.) катастроф, а по-видимому, и более поздних, сравнительно недавних Уаскаранских (1962 и 1970 гг.) и некоторых других природных пароксизмов, на предкатастрофической стадии которых в большинстве случаев установлено или предполагается проявление аномальной по масштабам обвальной деятельности в их эпицентральных зонах.

Однако собранные различными исследователями Колкинской катастрофы 2002 г. факты весьма многочисленны и вполне достаточны для доказательного решения этих вопросов (с учетом имеющихся результатов современной флюидогеодинамики и смежных областей [Файф, Прайс, Томпсон, 1981; Флюиды..., 2006; Киссин, 2009; Малышев, 2011; и др.]).

* * *

Обнаруженные в самом начале исследований гигантской природной катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье привлекающие внимание следы обвалов с северного склона г. Джимарайхох и ее отрогов поначалу были приняты за

следы происшедшего непосредственно перед катастрофой одного единовременного (одномоментного) грандиозного обвала, который и сочли (без каких-либо доказательств) главным виновником этой катастрофы, ее непосредственной причиной, тем более, что на предшествующем катастрофе этапе высказавшие и поддерживавшие это мнение отечественные и зарубежные специалисты наблюдений в данном районе не проводили. Однако собранные Л. В. Десиновым [Десинов, 2004] свидетельства присутствовавших в это время на леднике людей и обнаружение и изучение космических снимков ледника Колка и его правого питающего борта, снятых перед катастрофой, в том числе за восемь с половиной часов до нее [Тутубалина, Черноморец, Петраков, 2005], указали на необоснованность подобных заключений.

Ставшие известными спустя некоторое время после появления подобных заключений данные свидетельствовали о том, что это следы не одного, а многих обвалов и что оставившие эти следы обвалы происходили задолго до катастрофы и в значительной мере (в основной своей части) прошли еще до нее.

С учетом этих данных, в связи с рассматриваемым ниже кругом вопросов необходимо сразу же заметить, что продолжительная предкатастрофическая аномально большая интенсивность обвалов на ледник Колка с примыкающего к леднику северного склона г. Джимарайхох и ее восточных отрогов (правого питающего борта ледника Колка) в июле-сентябре 2002 г. – достоверно установленный факт, подтвержденный присутствовавшими на леднике людьми, многочисленными наземными, а также космическими снимками; гигантские же объемы единовременных обвалов или одного сверхгигантского, более чем стомиллионнотонного (как иногда утверждается [Васьков, 2011 и др.]) единовременного обвала, как и их свободное вертикальное падение на ледник, – не более чем предположения, не имеющие никаких доказательств (более того, противоречащие документально установленным фактам) и ничего не доказывающие, не позволяющие объяснить многочисленные документально установленные факты, характеризующие особенности подготовки, проявления и завершения Колкинской катастрофы, в связи с чем привлечение этих предположений вообще не имеет особого смысла в данном отношении, в расшифровке характера (геодинамического типа), механизма и причин этой катастрофы.

Особо необходимо подчеркнуть, что для проводимого И. М. Васьковым [Васьков, 2011, с. 75 и 105-106] разделения предкатастрофических обвалов на «основную фазу» (предполагаемый им гигантский обвал 20 сентября 2002 г.) и предшествующие ей в течение около двух месяцев, как предполагается [там же], сравнительно небольшие обвалы (даже суммарно более чем на порядок уступающие по объему обвалу 20 сентября) нет никаких фактических оснований. Более того, существуют и теоретические, и фактические основания полагать, что никакого гигантского обвала на ледник Колка 20 сентября 2002 г. не было. Рассмотрение этих вопросов будет проведено ниже в данной статье.

Изначальная ошибка в расшифровке происхождения бросающихся в глаза обвальных следов в правом борту ледника Колка как следов одного (одномоментного, единовременного) обвала явилась источником многочисленных последующих необоснованных и ошибочных заключений и построений, наиболее полно представленных в монографии И. М. Васькова [Васьков, 2011], касающихся причин и механизма Колкинской катастрофы.

Не отвечая на неоднократно высказанные в печати возражения против его обоснования обвально-ударных представлений о Колкинской катастрофе и самих этих

представлений, И. М. Васьков продолжает раз за разом повторять эти представления, что сочетается с используемыми им предположениями о некоем торсионном воздействии на ледник Колка [Васьков и др., 2008, с. 129], продолжительном и лишь частично совпадающем по времени и месту с проявлением обвальных ударов обвально-ударном образовании огромных количеств сернистых газов из присутствующих в породах сульфидов [Васьков, 2011, с. 74 и 93] и многими другими.

Имеются и некоторые другие специалисты, продолжающие придерживаться представлений об ударе гигантского обвала по леднику Колка 20 сентября 2002 г. как причине катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье.

Все это заставляет вновь обратиться к обсуждению данного круга вопросов.

* * *

И. М. Васьков [Васьков, 2011 и др.], предполагающий проявление 20 сентября 2002 г. единовременного обвала массой в 105 млн т на ледник Колка, в плане возможного объяснения причин такого обвала предполагает, что на предшествовавшем обвалу этапе «динамика экзогенных процессов» в этом месте резко замедлилась (по-видимому, при отсутствии резкого замедления динамики эндогенных процессов). Ни объяснений причин, ни каких-либо доказательств этого резкого замедления не приводится (если, конечно, не считать такими объяснениями и доказательствами слова «так случилось» «по тем или иным причинам»).

На самом же деле, по имеющимся фактическим данным [Котляков, Рототаева, 2003; Котляков и др., 2003; Десинов, 2004; Десинов, Котляков, 2005; Тутубалина, Черноморец, Петраков, 2005; и др.], на предшествовавшем двадцатому сентября этапу и в сентябре, и в августе, и в июле, и даже в июне 2002 г. динамика экзогенных процессов, если иметь в виду обвалы, на данном участке не замедлилась (тем более, резко), а ускорилась.

Как пишут, в частности, В. М. Котляков, О. В. Рототаева, Л. В. Десинов, И. А. Зотиков и Н. И. Осокин [Котляков и др., 2003, с. 50], «по наблюдениям туристов и альпинистов, уже 28 июня 2002 г. с правого склона почти непрерывно падали каменные обломки и лед...». Это свидетельствует о том, что даже в июне (в конце июня) динамика обвальных процессов на этом участке, как минимум, не замедлилась.

Можно, правда, предполагать некоторое замедление, относительное снижение интенсивности обвальных процессов в этом месте примерно за две недели до катастрофы просто вследствие того, что «еще за 18 суток до катастрофы произошла разгрузка ледовой облицовки указанного участка правого борта ледника Колка» [Десинов, Котляков, 2005, с. 149]. Однако и в это время интенсивность обвалов, безусловно, продолжала оставаться аномально высокой, о чем свидетельствуют данные космофотосъемки [Тутубалина, Черноморец, Петраков, 2005].

Если же И. М. Васьков [Васьков, 2011] имеет в виду какой-то еще более ранний этап (предшествовавший июню 2002 г.), то никаких данных, которые свидетельствовали бы о резком замедлении на каком-либо этапе динамики экзогенных процессов в этом месте, не существует.

По данному поводу И. М. Васьков [Васьков, 2011, с. 5] пишет следующее: «Геологические процессы, происходящие в глубине Земли, приводят к возникновению и росту горных сооружений, а поверхностные – к их денудации. Это соревнование идет всегда и, в основном, мало заметно для человека. Но случается так, что в каком-то месте этот баланс нарушается, потому что динамика экзогенных процес-

сов по тем или иным причинам на отдельных участках горных склонов и хребтов резко замедляется. В областях современного орогенеза, каковой является и Большой Кавказ, такое явление ведет к нарастанию напряжений внутри этого участка горного массива, которые рано или поздно разряжаются в виде гравитационных склоновых процессов, таких как обвалы, осыпи, оползни и сели разного масштаба».

Обвалы и другие отмеченные И. М. Васьковым склоновые явления в разных случаях, конечно, могут быть разного масштаба. Однако в каждом конкретном случае, даже при предполагаемом И. М. Васьковым резком замедлении динамики экзогенных процессов и последующем разряде напряжений, их масштаб не может быть сколь угодно большим.

По данным К. П. Рототаева [Рототаев, Ходаков, Кренке, 1983, с. 21] за период с 1902 по 1969 г. обусловленная, в основном, лавинно-обвальным питанием средняя ежегодная прибавка массы ледника Колка при относительном постоянстве годового прихода-расхода должна была составлять не менее 1-1,3 млн т. Конечно, обвальные, как и любые другие природные процессы, в том числе в одном и том же месте (локальном участке, в частности, на леднике Колка и окружающих его склонах), протекают, естественно, не равномерно, не линейно, а с теми или иными флуктуациями интенсивности. Однако их резкое усиление в многие тысячи раз в сравнении с обычными для данного участка фоновыми значениями, установленными К. П. Рототаевым по результатам многолетних наблюдений, с единовременным, одновременным обрушением более 100 млн т льда и каменных горных пород без непосредственно предшествовавшего этому весьма значительного резкого импульсного внешнего воздействия (прежде всего, сейсмического) на горный массив необъяснимо и невозможно. Но сколько-нибудь значительного сейсмического события в данном районе непосредственно перед выбросом ледника Колка, как известно, не было. Менее же значительная аномальная продолжительная интенсификация обвальных процессов может, конечно, происходить и без весьма значительного резкого импульсного сейсмического воздействия на горный массив, но также, безусловно, требует участия каких-то аномальных факторов (см. ниже – раздел 3).

Видимо, в подкрепление своей версии о дроблении и выбивании ледника Колка ударом единовременного обвала массой более 100 млн т, И. М. Васьков [Васьков, 2011, с. 76-77] отмечает, что удар от падения обвала (лавины) массой лишь около 200 тыс т с высоты до 700 м способен вызвать существенные колебания почвы (силой около 3,5 баллов). Насколько же более сильным должно было быть сотрясательное воздействие удара от предполагаемого И. М. Васьковым [Васьков, 2011, с. 101] «практически прямого» падения с той же и, тем более, большей высоты обвала массой в 500 с лишним раз большей?! Однако сейсмические станции сколько-нибудь близкого по силе сотрясательного воздействия в данном районе около 20 часов 20 сентября 2002 г. (в момент предполагаемого И. М. Васьковым удара по леднику Колка гигантского обвала массой более 100 млн т) не зафиксировали [Процесс..., 2009; Заалишвили, Невская, Макиев, Мельков, 2007; Годзиковская, Бугаевский, Габсатарова, 2004; и др.].

В подкрепление обвально-ударной версии Колкинской катастрофы И. М. Васьков [Васьков, 2011, с. 94] без каких бы то ни было оснований утверждает даже, что при очень крупных обвалах происходит образование тонкой углисто-графитовой пыли («бешеной муки») и газов. На самом же деле, «бешеная мука» (особенно – очень большое ее количество, как это было при катастрофическом выбросе лед-

ника Колка) и поверхностное выделение (а не образование) большого количества природных газов – характерные, типичные признаки внезапных газодинамических выбросов, а не обвалов. (Представления И. М. Васькова об ударно-обвальном газообразовании на леднике Колка в 2002 г. были рассмотрены автором в предыдущей публикации [Бергер, 2012].)

2. О некоторых количественных оценках величины предкатастрофических обвалов на ледник Колка и их обосновании

Как отмечено выше, происходившие в течение примерно двух месяцев перед катастрофическим выбросом ледника Колка аномально интенсивные обвалы на ледник Колка с г. Джимарайхох и ее отрогов И. М. Васьков [Васьков, 2011] разделяет на две части: 1) предполагаемый им гигантский (сверхгигантский) одномоментный обвал вечером 20 сентября 2002 г. (проявление которого не имеет никаких доказательств) и 2) все остальные обвалы (проявление которых достоверно зафиксировано очевидцами и материалами наземной и космофотосъемки).

Первую часть он именует основной (или основной фазой обвала) и принимает ее объем равным 60 млн м³ (а массу равной 105 млн т – на основании предполагаемого им количественного соотношения между льдом и каменными породами в этой части), объем же остальной части обвалов он принимает равным 5 млн м³.

Никаких оснований для принятия именно такого количественного соотношения объемов этих частей не существует. Почему это соотношение равно 60 к 5, а не, скажем, наоборот, 5 к 60? Последнее соотношение, с учетом, в частности, фактических данных Л. В. Десинова [Десинов, 2004] (некоторые из них приведены ниже) и материалов космофотосъемки ледника Колка и северного склона г. Джимарайхох и ее отрогов перед катастрофой [Тутубалина, Черноморец, Петраков, 2005], кстати, гораздо больше соответствует действительности, чем принимаемое И. М. Васьковым первое. (Суммарную величину объема этих частей, резко отличающуюся от данных проведенной в 2004 г. В. Н. Дробышевым фототеодолитной съемки ложа ледника Колка и примыкающего к нему правого борта ледника и других данных [Evans et al., 2009; и др.], мы в данном случае не рассматриваем.)

Суммарный объем продолжительных многочисленных предкатастрофических обвалов на ледник Колка, исключая объем предполагаемой И. М. Васьковым [Васьков, 2011, с. 105-106] их весьма непродолжительной, почти мгновенной единовременной «основной части» (или «основной фазы обвала»), неизвестен. И. М. Васьков [там же] условно принимает его равным 5 млн м³, что, безусловно, неправильно. Определенный В. Л. Познаниным и С. Г. Геворкяном [Познанин, Геворкян, 2007, с. 85] объем, как они полагают, только одного предкатастрофического обвала, площадь аккумуляции материала которого зафиксирована по данным космофотосъемки 20.09.2002 г., составляет около 3,5 млн м³. Но эта величина сильно занижена, поскольку в своих расчетах авторы исходили из неправильной величины площади этого обвала, равной 0,07 млн м², тогда как действительная величина этой площади составляет 0,17 (± 0,02) млн м² [Тутубалина, Черноморец, Петраков, 2005, с. 68]. Суммарная же площадь предкатастрофических обвалов на ледник Колка, прошедших до 11:31 20 сентября 2002 г., зафиксированная на космических снимках ледника 19.08.2002 г. и 20.09.2002 г., по результатам проведенных О. В. Тутубалиной и др. [там же] измерений, была в несколько раз больше этой величины.

С учетом этого, ошибка И. М. Васькова в определении объема считающейся им «неосновной» части предкатастрофических обвалов, происходивших в течение основной части времени их проявления, очевидна. Соответственно, уже только вследствие этого, указываемая И. М. Васьковым [Васьков, 2011, с. 105-106; и др.] величина объема «основной части» обвала (предполагаемого им единовременного обвала вечером 20 сентября 2002 г.) является ошибочной (существенно завышенной).

Указанная ошибка И. М. Васькова [Васьков, 2011, с. 105-106] в определении объема «неосновной» части предкатастрофических обвалов на ледник Колка, конечно, не случайна и преследует вполне очевидную цель: при полной условности (произвольности), а, говоря точнее, отсутствии использованной И. М. Васьковым методики разделения объемов предкатастрофических обвалов на ледник Колка и фиксированности принимаемой И. М. Васьковым их общей (суммарной) величины, составляющей, по И. М. Васькову [там же], 65 млн м³, преуменьшение объема более ранних обвалов ведет, естественно, к преувеличению объема предполагаемой «основной фазы» обвалов, с величиной которой И. М. Васьков [Васьков, 2011 и др.] связывает саму возможность предполагаемого им обвально-ударного дробления ледника Колка и выталкивания (выбрасывания, выплескивания) продуктов его дробления.

Эту же цель, совершенно очевидно, преследует И. М. Васьков [Васьков, 2011, с. 75], приводя неправильные сведения по данному вопросу (которые он приписывает Л. В. Десинову). Искажая приведенные Л. В. Десиновым [Десинов, 2004] сведения, основанные на показаниях очевидцев и данных наземной и космофотосъемки, И. М. Васьков [Васьков, 2011, с. 75] пишет: «По сведениям Л. В. Десинова [2004], с августа 2002 г., а может быть, и ранее, до 20 сентября 2002 года в долине ледника Колка происходило частое падение отдельных глыб и блоков, которое не производило заметного воздействия на тело ледника». На самом же деле, Л. В. Десинов в указанной работе пишет не просто о «частом падении отдельных глыб и блоков», а об «интенсивном обрушении льда и горных пород», начиная с середины июля 2002 г., «почти непрерывных обвалах», «быстром накоплении ледником Колка критической массы вещества», «быстром увеличении толщины моренного плаща и объема конусов ледовых обвалов» с 14 июля 2002 г. [Десинов, 2004, с. 76], о том, что «после 22 августа вплоть до 5 сентября, когда с ледника Колка ушли последние очевидцы, с восточного плеча горы Джимарай-хох лед и горные породы падали непрерывно, так что грохот одного обвала перекрывал другой», о «беспрерывном обрушении горных пород» во второй половине лета 2002 г. [Десинов, 2004, с. 78], что уже к середине августа 2002 г. в результате обвалов ледник получил 35-40 млн тонн вещества, «а следующие 5 недель его тыловая зона продолжала догружаться обрушением пород» [Десинов, 2004, с. 81], что «ледник Колка с 14 июля получал ежедневно порцию льда и горных пород, соответствующую годовому положительному балансу массы нормального периода эволюции» [Десинов, 2004, с. 82], т. е. 1-1,3 млн тонн, по оценке К. П. Рототаева [Десинов, 2004, с. 81], и т. д. (Все это, по мнению Л. В. Десинова, в противоположность утверждению И. М. Васькова [Васьков, 2011, с. 75], произвело весьма значительное воздействие на тело ледника, вызвав его активизацию, «возникновение особенно высоких напряжений в теле ледника» и подвижку ледника [Десинов, 2004, с. 87]. Дробления же ледника и выталкивания продуктов его дробления эти обвалы, действительно, не производили.)

Именно с учетом этих сведений, как отмечает Л. В. Десинов [там же], «версии о разовом обвале висячих ледников или блока горных пород не подтверждаются фактическими данными. Обрушение материала висячих ледников произошло в период с 14 июля по 5 сентября, а обвалы скал происходили с середины июля 2002 г. до сентября 2003 г.».

В согласии с этим, учитывая изложенное выше, нет никаких фактических оснований для утверждений [Васьков, 2011, с. 75, 137 и др.], что вечером 20 сентября 2002 г. произошла основная фаза предкатастрофических обвалов на ледник Колка, имевшая объем в многие десятки миллионов кубометров и более чем на порядок превышавшая суммарный объем всех предшествующих предкатастрофических обвалов на ледник Колка. Более того, имеются достаточные фактические основания [Десинов, 2004; Тутубалина, Черноморец, Петраков, 2005; и др.] полагать, что этого не было.

Повторим: принимаемая И. М. Васьковым величина «основной части обвала» (или его «основной фазы») совершенно произвольна, никак не обоснована, как необоснованными являются и приписываемые этому обвалу особенности поведения, включая особенности его возникновения, движения и, главное, воздействия на ледник Колка.

Предположения И. М. Васькова и некоторых других исследователей о сверхгигантской величине единовременного обвала на ледник Колка вечером 20 сентября 2002 г. не позволяют объяснить хорошо известные, фактически установленные особенности подготовки и проявления Колкинской катастрофы, а попытки объяснения только некоторых из них на этой основе, как было отмечено автором [Бергер, 2007а, с. 108], приводят лишь к очевидному неразрешимому геомеханическому (и геологическому) парадоксу.

К сказанному можно добавить, что, согласно В. Л. Познанину и С. Г. Геворкяну [Познанин, Геворкян, 2008б, с. 87-88], при определении причин «катастрофического сброса ледника Колка, состоявшегося в 2002 г. при его активной подвижке», необходимо «отказаться от представлений о единовременном сдвиговом механизме воздействия обвалов на тыловую часть ледника [Панов и др., 2002], поскольку общая сила удара обрушившихся на ледник обвальных масс оказывается существенно меньше суммы сил, необходимых для сдвига даже не примороженного к ложу ледника ($7 \cdot 10^{10}$ и $2 \cdot 10^{12}$ Н соответственно)». В другом месте этой работы авторы указывают величину силы, необходимой для срыва ледника, которая, согласно их данным [Познанин, Геворкян, 2008б, с. 94], составляет $8 \cdot 10^{11}$ Н. С учетом этого, авторы [Познанин, Геворкян, 2007, 2008а, с. 90] видят причины этой катастрофы в проявлении и ударном воздействии на ледник не одного единовременного обвала 20 сентября 2002 г., а целой серии крупных предкатастрофических обвалов горных пород массой до $7 \cdot 10^9$ кг. Соответствующие представления пока не обсуждались в литературе. Здесь обратим внимание лишь на то, что при фиксированности принимаемой И. М. Васьковым [Васьков, 2011] общей (суммарной) величины предкатастрофических обвалов на ледник Колка существование целой серии столь крупных предкатастрофических обвалов исключает возможность проявления 20 сентября 2002 г. обвала предполагаемой И. М. Васьковым сверхгигантской величины в 105 млн т и, соответственно, предполагаемого теорией И. М. Васькова [Васьков, 2011 и др.] воздействия такого обвала на ледник Колка. (Вопрос о придаваемой В. Л. Познаниным и С. Г. Геворкяном [Познанин, Геворкян, 2007, 2008а и др.] крупным об-

валам роли в катастрофе на леднике Колка и в Геналдонском ущелье автор предполагает рассмотреть в отдельной работе.)

Правда, И. М. Васьков [Васьков, 2011, с. 106-107], используя величину массы единовременно обвалившегося на ледник Колка 20 сентября 2002 г. материала, равную 105 млн т, получил, как он полагает, «подтверждение соблюдения энергетического баланса». Но в этих расчетах им используются ошибочные данные о «временной продолжительности события в 3 мин. 33 с.».

Эту численную величину временной продолжительности катастрофического события на леднике Колка и в Геналдонском ущелье 20 сентября 2002 г. как параметрическую характеристику этого события И. М. Васьков приводит во многих публикациях, в некоторых из них – по несколько раз. В действительности, однако, временная продолжительность этого события, по данным сейсмических наблюдений, значительно (в несколько раз) больше, а величина 3 мин. 33 сек. – не продолжительность события, а максимальный интервал между временем начала записи события различными сейсмическими станциями локальной сети сейсмических наблюдений Республики Северная Осетия-Алания – временем срабатывания (триггерного включения) регистраторов «Альфа-Геон» различных станций – 16:08:05 и 16:11:38 по среднегринвичскому времени соответственно по станциям VLD (Владикавказ 31) и ARD (Ардон) [Заалишвили, Невская, 2003, с. 175]. При этом, как отмечают В. Б. Заалишвили и К. С. Харебов [Заалишвили, Харебов, 2008, с. 203], «к сожалению, нет ни одной полной записи – все записи обрываются после 327,68 с, хотя, судя по характеру записи, было видно, что процесс продолжается». Это означает, что продолжительность катастрофического события на леднике Колка и в Геналдонском ущелье была существенно больше 5,5 минут. С учетом же данных локальной сейсмической сети Кавказских Минеральных Вод, продолжительность всего процесса от его начала до окончания составляет 10,5 мин. [Заалишвили, Харебов, 2008, с. 205]. Имеются и другие данные. В частности, по А. А. Годзиковской и др. [Годзиковская, Бугаевский, Габсатарова, 2004], общая длительность зарегистрированных сейсмостанцией «Цей» видимых колебаний, вызванных, как они полагают, движением ледника в Геналдонском ущелье, составляет около 16 минут. По Х. О. Чотчаеву [Чотчаев, 2007, с. 36], на имеющихся сейсмограммах «за два часа до схода ледника Колка отмечаются три события, вызванные воздействием с нижнего полупространства... Событие, вступившее в 19 ч. 56 м. (по местному времени. – М. Б.), является продолжительным (26 мин.) и наиболее интенсивным». (Попутно обратим внимание на то, что фиксацию на сейсмограммах в указанное время событий, вызванных воздействием на ледник с верхнего полупространства, т. е. обвальных ударов по леднику, тем более предполагаемого И. М. Васьковым [Васьков, 2011, с. 103] «сосредоточенного мощного удара в тыловой зоне ледника со значительным энергетическим потенциалом» гигантского, более чем стомиллионнотонного единовременного обвала, Х. О. Чотчаев не отмечает, а все зафиксированные сейсмическими станциями события, происшедшие в течение двух часов до схода ледника Колка, идентифицирует как вызванные воздействием с нижнего полупространства.)

Таким образом, принимая во внимание ошибочность использованной в расчетах И. М. Васьковым величины 3 мин. 33 сек., существенно отличающейся от приведенных выше действительных данных сейсмических наблюдений о временной продолжительности катастрофического события на леднике Колка и в Геналдон-

ском ущелье, основанных на обработке инструментальных записей этого события, соблюдение рассчитанного И. М. Васьковым [Васьков, 2011] энергетического баланса не подтверждается. Соответственно, не подтверждается и использованная в этих расчетах величина обвала 20 сентября 2002 г., равная 105 млн т.

При расчете объема предполагаемого единовременного обвала, ударом которого вечером 20 сентября 2002 г. якобы был выбит ледник Колка, И. М. Васьков [Васьков, 2011, с. 106] принимает в качестве средней толщины льда висячих ледников величину в 70-80 м. Это не соответствует данным В. В. Поповнина и др. [Поповнин, Петраков, Тутубалина, Черноморец, 2003, с. 9], согласно которым величина около 80 м – не средняя, а максимальная видимая толщина висячих ледников в зоне отрыва (обрушения), данным Л. В. Десинова [Десинов, 2004, с. 81], согласно которому средняя толщина льда висячих ледников в этой зоне составляет около 50 м, и данным К. П. Рототаева [Рототаев, Ходаков, Кренке, 1983, с. 15], согласно которому «висячие ледники над основным телом Колки имеют максимальные мощности в пределах 40-60 м».

Разумеется, и в этом случае И. М. Васьков, очевидно, преследует все ту же цель, как и в предшествующих двух случаях, отмеченных выше в данном разделе.

Самое же главное состоит в том, что, по данным американской космофотосъемки, основной объем льда висячих ледников обвалился на ледник Колка в интервале с 19 августа до утра 20 сентября [Тутубалина, Черноморец, Петраков, 2005, с. 68], т. е. еще до катастрофы. К 20 сентября обвалы висячих ледников на Колку практически завершились [там же], «к утру 20 сентября 2002 г. на поверхности Колки находился основной объем обвального материала, поступившего на ледник до катастрофы» [Тутубалина, Черноморец, Петраков, 2005, с. 70]. По данным же наземной фотосъемки [Десинов, 2004, с. 81], еще к 5 сентября, «за 15 суток до катастрофы произошла полная разгрузка ледовой облицовки этого участка правого борта ледника Колка» и находившиеся на леднике О. В. Неподоба и другие туристы из Краснодара в начале сентября «фотографировали склон, уже освободившийся ото льда» [Десинов, 2004, с. 80].

Так что никакого сколько-нибудь значительного, а тем более, сверхгигантского (более чем стомиллионнотонного) единовременного обвала висячих ледников и их скального основания на ледник Колка и, соответственно, его удара по леднику вечером 20 сентября 2002 г. просто не могло быть.

Обнаруженные на следующий день после катастрофы следы интенсивной обвальной деятельности в правом борту ледника Колка являются следами не одного единовременного сверхгигантского обвала в момент катастрофы или непосредственно перед ним, а многих обвалов (объем каждого из которых неизвестен и едва ли может быть даже примерно установлен), которые происходили задолго (за дни, недели и даже месяцы) до катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье, а отчасти, вероятно, и в первые минуты и часы после нее (до того, как начались обследования эпицентральной зоны Колкинской катастрофы и были сделаны первые аэрофотоснимки посткатастрофического состояния правого борта ледника Колка) в результате исключительно мощного сотрясательного воздействия на горный массив пароксизмального взрывоподобного газодинамического выброса ледника Колка.

Примером такого развития событий может служить, в частности, промышленный направленный Байпазинский взрыв 29 марта 1968 г. на реке Вахш [Ромашов, 1980, с. 63 и далее], когда «помимо породы, сброшенной взрывом, произошло об-

рушение породы со склона горы над воронками выброса» [Ромашов, 1980, с. 69].

Однако в рассматриваемом в данной работе случае Колкинской катастрофы такое обрушение, независимо от его объема, просто по времени его проявления, естественно, не могло сыграть никакой роли в начальном иницировании (запуске) выброса ледника Колка, а тем более, не могло быть его причиной – фактором, вызвавшим этот выброс. В то же время, такое обрушение могло увеличить следы обвалов, зафиксированные утром 21 сентября 2002 г. и позднее в правом борту ледника Колка – на северном склоне г. Джимарайхох и ее отрогов.

Вполне возможно, что несколько ранее, еще в преддверии газодинамического выброса ледника (примерно за сутки до него) интенсивность обвалов с г. Джимарайхох и ее отрогов на ледник Колка возросла в связи с предпароксизмальной трансформацией напряженно-деформированного состояния горного массива, сопровождавшейся повышением его неустойчивости. Одним из проявлений такой трансформации явился горный удар большой силы за 18 часов до выброса ледника [Бергер, 2006б; Бергер, 2007а, с. 38-42] (трактовавшийся как «газо-гидравлический» [Десинов, 2004, с. 84]). Возможно, что именно в это или близкое время произошел видный на космоснимке в 11:31 20.09.2002 г. [Тутубалина, Черноморец, Петраков, 2005, с. 68] последний крупный обвал, лежащий поверх свежесвалившегося снега.

Остается неизвестной и величина (а также стадийность проявления) предкатастрофических обвалов на ледник Колка в течение последних восьми с половиной часов перед катастрофой на завершающем этапе подготовки выброса ледника, протекавшем в условиях сейсмовибрационной неустойчивости ледника Колка и сопредельной с ним области его питания. Совершенно очевидно, однако, что эта величина, даже суммарная, с учетом, в частности, данных космодатасъемки [Тутубалина, Черноморец, Петраков, 2005], а также всего вышеизложенного, не могла составлять 105 млн т или около того.

3. О причинах предкатастрофической интенсификации обвалов на ледник Колка. Заключительные и дополнительные замечания

Обвалы на ледник Колка с северного склона г. Джимарайхох и ее восточных отрогов – обычное явление [Рототаев, Ходаков, Кренке, 1983, с. 14 и др.]. Но в июле-сентябре 2002 г. они были аномально крупными (по предположениям некоторых авторов, гигантскими) и интенсивными, на отдельных продолжительных этапах почти непрерывными. С ними связывают катастрофический выброс ледника Колка вечером 20 сентября 2002 г. Однако характер взаимосвязи между этими обвалами и выбросом ледника Колка различными авторами трактуется совершенно по-разному. С этим вопросом непосредственно связано определение механизма проявления и причин Колкинской катастрофы. Ключевым же в решении этого круга вопросов во многом является вопрос о причинах аномальных обвалов на ледник Колка в июле-сентябре 2002 г.

По И.М. Васькову [Васьков, 2011], такими причинами были «активные тектонические движения по пологим надвиговым структурам», которые «приводят к **постоянному** поднятию горного узла» с большими скоростями [Васьков, 2011, с. 65-66], «современное поступательное движение надвиговой чешуи в северном направлении со средней горизонтальной скоростью около 15-25 мм/год [Теплякова, 1984; Письменный, 2006], что приводит к **постоянному** увеличению коэффициента

неустойчивости склона на правом борту долины ледника Колка» [Васьков, 2011, с. 100], и ряд других также постоянно действующих факторов (выделено мной. – М. Б.).

Действие этих факторов, однако, нивелируется обычными постоянно происходящими с той или иной обычной (фоновой) или близкой к ней интенсивностью обвалами с этого склона и, соответственно, не может быть причиной резкой аномальной интенсификации обвалов (на порядки превышающей обычную для данного района их интенсивность), продолжавшейся в течение примерно двух месяцев.

Обычный для данного района естественный ход процессов рельефообразования, протекающих под воздействием обычных, постоянно действующих рельефообразующих факторов, безусловно, не мог вызвать столь необычные, аномально интенсивные продолжительные обвалы с г. Джимарайхох и ее отрогов на ледник Колка. Совершенно очевидно, что отмеченная аномальная локальная интенсификация обвальной деятельности на этом участке могла произойти лишь под воздействием каких-то очень мощных локальных аномальных, а не постоянных, геологических факторов, обычно не проявляющихся.

С учетом отсутствия проявления в данное или близкое время значительного сейсмотектонического воздействия на горный массив с эпицентром именно в данном районе, вышеизложенное опровергает представления о тектонических причинах резкой и продолжительной локальной интенсификации обвалов на ледник Колка в июле-сентябре 2002 г.

Соответственно, необходимо выявление иных, действительных причин интенсификации обвалов в данном конкретном случае. Сделать это можно только с учетом доказательного определения характера (геодинамического типа) и причин катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье, которой интенсификация обвалов непосредственно предшествовала, с учетом характера природных факторов, действие которых вызвало проявление этой совершенно экстраординарной, уникальной катастрофы и определило ее основные особенности. При этом естественно полагать, что действие этих факторов во многом определило и особенности подготовительного этапа катастрофы.

В этом плане автором [Бергер, 2006а, 2007а, 2008 и др.] на основе учета и объяснения всех достоверно установленных особенностей Колкинской катастрофы было показано, что эта катастрофа представляла собой внезапный газодинамический выброс ледника, вызванный прорывом к земной поверхности и интенсивным мощным воздействием на ледник сосредоточенного концентрированного потока высоконапорных глубинных поствулканических газов. Многочисленность приведенных в указанных работах доказательств позволяет не останавливаться в данной работе на обосновании этого заключения.

Для выявления причин продолжительной аномальной предкатастрофической интенсификации обвалов на ледник Колка важно также объяснить причины проявления и сопутствовавших по времени этим обвалам других аномальных природных явлений в данном районе.

В этом плане автором [Бергер, 2007а] была отмечена, в частности, хронологическая и генетическая сопряженность двух наблюдавшихся на земной поверхности аномальных, в обычных условиях не проявляющихся весьма значительных эндогенно обусловленных эффектов, непосредственно связанных с подготовкой катастрофического пароксизмального газодинамического выброса ледника Колка, до-

статочно явно проявившихся примерно за два – два с половиной месяца до выброса ледника, – денудационного (значительного усиления обвалов с г. Джимарайхох и ее отрогов, причем обвалов не только висячих ледников, но и скальных пород) и инфильтрационного (наиболее явно проявившегося в значительном понижении уровня р. Геналдон в ее верховьях). Одновременно был показан [Бергер, 2007а, 2008] локальный атектонический характер геологических процессов, обусловивших проявление этих эффектов, в частности, ставших причиной резкого усиления обвалов в данном районе.

Проявление этих эффектов – результат мощного концентрированного (струйного) прорыва к земной поверхности (в область пониженных давлений) в данном районе высоконапорных глубинных поствулканических газов. Следы действия этих газов в виде появления отсутствовавших здесь ранее фумарол с достаточной очевидностью проявились в зоне отрыва обвалов в правом борту ледника Колка еще за несколько недель до катастрофического выброса ледника [Рототаева и др., 2005; Тавасиев, 2011 (по данным Д.Е. Солодкого)]. Уже один только этот документально зафиксированный факт полностью опровергает представления И.М. Васькова [Васьков, 2011] о катастрофе на леднике Колка и в Геналдонском ущелье и причинах аномально интенсивных предкатастрофических обвалов на ледник Колка, отрицающего участие поствулканических газов в этой катастрофе, вследствие чего и этот факт, и многочисленные другие факты, характеризующие особенности подготовки, проявления и завершения Колкинской катастрофы, остаются без объяснения либо получают необоснованную и ошибочную геолого-генетическую трактовку (некоторые примеры этого указаны автором в предыдущей работе [Бергер, 2012]).

Но еще до выхода глубинных поствулканических газов на земную поверхность в виде фумарол восходящая струйная миграция (прорыв, вторжение) сосредоточенного концентрированного потока этих высоконапорных газов, в соответствии с положениями флюидогеодинамики [Файф, Прайс, Томпсон, 1981, с. 306 и др.], сопровождалась опережающим образованием вертикальных трещин гидравлического разрыва, брекчированием, а возможно, и частичной дезагрегацией горных пород, предварявшими непосредственное проникновение газов в эти породы.

Следствием этого была интенсификация обвалов с северного склона г. Джимарайхох и ее восточных отрогов, проявившаяся еще до появления фумарол на этом склоне.

Согласно часто цитируемому высказыванию вулканолога Ф.А. Перре, «газ – это активный агент». Распространяя это высказывание (представляющее первую часть «вечной истины вулканологии», по определению А.И. Малышева [Малышев, 2011]) на газовую поствулканическую деятельность, в плане обсуждаемого в данной статье круга вопросов необходимо заметить, что выделяющиеся в глубинных зонах земной коры, находящиеся в виде свободной фазы высоконапорные глубинные поствулканические газы – активный агент. Это проявляется, прежде всего, в их активном динамическом воздействии на горнопородную среду при процессах их восходящей концентрированной (струйной) миграции, в ходе которой под воздействием давления газов неизбежно происходит значительное увеличение трещиноватости горных пород (в значительной мере опережающее непосредственное продвижение газов) на путях миграции высоконапорных природных газов и вблизи от них. Наличие же непроницаемого (газоупорного) барьера (в данном случае – ледника Колка) на пути восходящей миграции природных газов приводит к расшире-

нию зоны их миграции и увеличения трещиноватости горных пород. Как пишут У. Файф, Н. Прайс и А. Томпсон [Файф, Прайс, Томпсон, 1981, с. 379-380], «... восходящий поток имеет форму относительно узкой струи, которая грибообразно расширяется на верхних уровнях, встречаясь с непроницаемыми поверхностями».

В этих условиях, при достижении очень больших величин газового давления в экранированном непроницаемым барьером газовом скоплении, процессы разрушения могут не ограничиваться площадью непроницаемого барьера, а распространяться и на породы, располагающиеся за пределами этой площади. Как отмечает Б.М. Валяев [Валяев, 1980, с. 180; и др.], при вторжении концентрированных потоков высоконапорных глубинных газов и других флюидов в верхние горизонты земной коры в некоторых случаях давления глубинных флюидов достигают столь больших значений, что их разгрузка получает катастрофический характер, причем в нее вовлекаются и вмещающие породы, подвергающиеся брекчированию. Именно такой случай имел место в июле-сентябре 2002 г. в районе ледника Колка и сопредельной с ним зоне, прежде всего, в пределах сопредельного с ледником северного склона г. Джимарайхох и ее восточных отрогов, где проходит трещинно-разрывная зона протяженного глубинного субмеридионального разлома.

Это приводит, естественно, к понижению прочности горных пород (по У. Файфу и др. [Файф, Прайс, Томпсон, 1981, с. 300], на 50-60%) и, одновременно, – к повышению их проницаемости (по У. Файфу и др. [Файф, Прайс, Томпсон, 1981, с. 360], на три порядка), причем как непосредственно под ледником, так и в пределах более широкой, смежной с ним внеледниковой области (в силу изложенного выше).

Первое (снижение прочности горных пород, повышение степени их брекчированности, уменьшение степени их связности) ведет, соответственно, к значительному усилению склоновых обвальных процессов, второе же (повышение проницаемости горных пород, их фильтрационной способности) – к синхронному с этим значительному повышению интенсивности процессов инфильтрации поверхностных вод.

Именно таковы причинно-следственные связи процессов подготовки пароксизмального газодинамического выброса ледника Колка и обусловленных, вызванных ими поверхностных геолого-геоморфологических (склоновых) и гидрологических процессов.

Начавшиеся задолго до выброса ледника и продолжавшиеся в течение всего времени его подготовки, эти поверхностные явления, в том числе продолжительная аномальная интенсификация обвалов с северного склона г. Джимарайхох и ее отрогов на ледник Колка, разумеется, были не причиной выброса ледника, а естественным следствием (и индикатором) процесса его подготовки. Площадь же распространения этих явлений соответствует ореолу вторжения сосредоточенного потока высоконапорных глубинных поствулканических газов и их механического и термального воздействия на горные породы.

Само сочетание, совпадение по времени проявления отмеченных аномальных эффектов, наблюдавшихся на поверхности, но обусловленных, несомненно, глубинными процессами, происходившими в данном районе на стадии подготовки гигантского по масштабам газодинамического выброса ледника Колка, является естественным и закономерным и подчеркивает парагенетичность этих эффектов, их обусловленность одной общей исходной причиной.

При этом отсутствие каких-либо катастрофических последствий резкого усиления обвалов на ледник Колка на подготовительном этапе катастрофы (чему есть

свидетельства очевидцев, находившихся на леднике в это время) противоречит гипотезам об импактных причинах и механизме катастрофы, а устойчивое широкое и интенсивное проявление инфильтрационного эффекта на подготовительном этапе катастрофы противоречит предположениям о существовании в корытообразном ложе ледника Колка перед катастрофой аномально большого количества воды и ее основной роли в этой катастрофе.

* * *

Катастрофический гигантский взрывоподобный газодинамический выброс ледника Колка длительно, по крайней мере, в течение двух-двух с половиной месяцев, совершенно явно готовился.

В течение этого времени неустойчивость ледника и значительной части вмещающего ледник горного массива возрастала, что проявилось в целом ряде наблюдавшихся на поверхности признаков, в какой-то мере суммированных автором [Бергер, 2008, с. 152-173; и др.]. Но не только вследствие обвалов на ледник с г. Джимарайхох и ее отрогов и ускоренного набора массы ледником, как обычно полагают. Главной причиной возникновения и возрастания неустойчивости ледника была интенсивно протекавшая в это время под ледником газовая поствулканическая деятельность, распространившаяся отчасти и за пределы площади ледника, о чем свидетельствуют упоминавшиеся выше фумарольные проявления на склоне в правом борту ледника.

Именно интенсивная восходящая струйная миграция (продолжительный мощный концентрированный прорыв под ледник по ослабленным и обладающим повышенной проницаемостью трещинно-разрывным зонам пересекающихся под тыльной частью ледника субмеридионального и субширотного глубинных разломов) потока высоконапорных глубинных поствулканических газов, быстрое и значительное увеличение их количества в приповерхностной зоне, возрастание мощности и площади распространения газового скопления в подледном пространстве и последовательное, возможно, пульсационное повышение газового давления под ледником делали ледник все более неустойчивым и приводили к появлению многих наблюдавшихся на поверхности [Десинов, 2004; Десинов, Котляков, 2005; Тутубалина, Черноморец, Петраков, 2005; и др.] признаков его неустойчивости.

Одновременно под исключительно мощным воздействием высоконапорных глубинных поствулканических газов на стадии подготовки газодинамического выброса ледника Колка происходило, по-видимому, не только поднятие (вспучивание) ледника (проявление эффекта газового домкрата [Бергер, 2007а, с. 54-55]), но и аномально ускоренное атектоническое по своей природе поднятие (интенсификация воздымания) сопредельной с ледником поверхности его правого питающего борта (части северного склона г. Джимарайхох и ее восточных отрогов), что, наряду с повышением трещиноватости и снижением прочности слагающих этот склон пород, а также вероятным аномальным быстрым увеличением крутизны этой части склона, и привело к значительной интенсификации обвалов с этого склона на ледник Колка на предкатастрофическом этапе.

Существенную роль в усилении обвальной деятельности могла сыграть и вероятная разогретость поствулканических газов, на что указал, в частности, Р. А. Тава-

сиев [Тавасиев, 2011]. Важно, однако, что и это объяснение связывает интенсификацию обвалов с мощным прорывом поствулканических газов в верхние горизонты земной коры и на земную поверхность. И хотя внимание при этом акцентируется на термальном воздействии газов, такой их прорыв не мог не сопровождаться динамическим воздействием газов на горный массив, в частности, на прочностные свойства горных пород и условия их залегания, определяющие устойчивость этой части горного склона. С учетом же ледового состава висячих ледников и цементирующего вещества пород их скального основания, на что обратил внимание Р. А. Тавасиев, термальное воздействие на них поствулканических газов, безусловно, существенно усиливало вызываемый ими денудационный эффект, приводило к значительному увеличению интенсивности обвалов на ледник Колка.

Таким образом, причины продолжительных аномально интенсивных и аномально крупных обвалов (но, конечно, не сверхгигантских, как это предполагается И. М. Васьковым и некоторыми другими авторами) с г. Джимарайхох и ее отрогов (из развитой на этом участке коры субмеридиональной трещинно-разрывной разломной зоны) на ледник Колка в июле-сентябре 2002 года – эндогенные, глубинные, поствулканические, преимущественно газодинамические. Таковы же причины и проявившихся в это время на леднике Колка и сопредельной с ним территории многих других аномальных по характеру или интенсивности природных явлений, которые, соответственно, должны рассматриваться в качестве предвестников гигантской природной катастрофы с эпицентром на леднике Колка. Таковы же исходные причины и самой этой катастрофы в ее эпицентральной области (до Кармадонских ворот) – пароксизмального взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника Колка.

Продолжительные аномальные по интенсивности обвалы с г. Джимарайхох и ее отрогов на ледник Колка и пароксизмальный газодинамический выброс ледника являются следствиями одного и того же процесса – концентрированного прорыва высоконапорных глубинных поствулканических газов к земной поверхности, который не ограничивался лишь контуром ледника Колка, а имел более широкий ореол распространения и воздействия на горный массив, захватывая, прежде всего, приледниковую часть г. Джимарайхох и ее отрогов.

Именно такова единая (общая) первопричина, обусловившая пространственную, хронологическую и генетическую (точнее, парагенетическую) взаимосвязь интенсификации обвалов с г. Джимарайхох на ледник Колка в июле-сентябре 2002 г. и катастрофической пульсации (пароксизмального взрывоподобного направленного газодинамического выброса) ледника Колка 20 сентября 2002 года.

В соответствии с изложенным, в противоположность многочисленным другим утверждениям, необходимо подчеркнуть, что продолжительные аномально интенсивные обвалы с г. Джимарайхох и ее отрогов на ледник Колка не вызвали эту катастрофу, имевшую типичный газодинамический, а не обвально-ударный или какой-либо иной характер, а, наоборот, сами были вызваны газодинамическими процессами, протекавшими на стадии ее подготовки.

С учетом времени, необходимого для накопления под ледником значительного количества природных газов и возрастания их давления до необходимой для выброса ледника критической величины (существенно превышающей величину геостатического давления ледника), газодинамическому выбросу ледника Колка обязательно должен предшествовать достаточно продолжительный подготовитель-

ный этап, в течение которого происходят, в частности, аномально интенсивные и крупные обвалы с г. Джимарайхох и ее отрогов на ледник Колка. И лишь после длительного проявления этих обвалов, что приводит к обрушению значительной части склона правого борта ледника, происходит выброс ледника. Но, как известно, по крайней мере, еще со времен Аристотеля, после этого – не значит вследствие этого. Проявление предкатастрофических обвалов, как и других привлекающих к себе внимание событий в данном районе или на том или ином удалении от него (например, землетрясения в Западной Грузии), еще не указывает на характер вызвавшего катастрофу природного фактора, ее причину. Причина катастрофы может быть установлена лишь путем объяснения всего комплекса ее особенностей на основе действия фактора, предполагаемого в качестве ее причины. Однако специалисты, придерживающиеся представлений об обвально-ударной причине Колкинской катастрофы, в большинстве случаев избегают каких-либо объяснений особенностей этой катастрофы, проявившихся на этапах ее подготовки, протекания и завершения, т. е. на предпароксимальном, пароксимальном и постпароксимальном этапах. Предпринимаемые же И. М. Васьковым [Васьков, 2011 и др.] попытки обвально-ударного объяснения лишь некоторых ее особенностей (в частности, взрывного разрушения ледника и выбрасывания вверх продуктов разрушения ледника вместе с обрушившимся на него материалом и продолжительного посткатастрофического поверхностного газовыделения в эпицентре катастрофы) голословны, совершенно бездоказательны и, как отчасти было показано ранее [Бергер, 2012], ошибочны.

Даже если принять предполагаемую И. М. Васьковым и некоторыми другими исследователями крайне мало правдоподобную траекторию движения обвалов с г. Джимарайхох и ее отрогов при падении (ударе, обвале, обрушении) всяческих ледников или блоков скальных пород на ледник Колка, тем более в случае их свободного вертикального падения («практически прямого обрушения»), единственное, что могло произойти, это ударно-отражательное разрушение, дробление [Барон, Хмельковский, 1971; Мосинец, Абрамов, 1982; и др.] обрушившегося на ледник материала и наращивание поверхностной морены ледника, как это всегда бывает в подобных случаях и как это было при неоднократных обвалах на ледник Колка незадолго до катастрофы, в том числе аномально интенсивных и крупных обвалах, происходивших в присутствии находившихся на леднике людей.

Даже при высокоскоростном ударном (импактном) воздействии существуют признаки, позволяющие отличить ударные явления от взрывных. Одним из таких наиболее явных и очевидных признаков является то, что при проявлении ударных процессов не образуется газовое облако [Обербек, 1977, с. 46], на что автор уже имел случай обратить внимание в предыдущей публикации [Бергер, 2012]. При Колкинской же катастрофе, как известно, образовалось и в течение многих дней существовало, очевидно, не привлекающее к себе особого внимания первых исследователей, но, тем не менее, требующее объяснения и учета огромное газовое облако в эпицентральной зоне выброса, что не оставляет никаких оснований для любых предположений об импактной (ударной, обвально-ударной) природе этой катастрофы независимо от скорости, сосредоточенности, объема и любых других возможных особенностей этого импакта.

В отличие от обвально-ударного воздействия на ледник, не вызывавшего никаких катастрофических последствий (по свидетельствам очевидцев [Десинов, 2004] и данным космofотосъемки [Тутубалина, Черноморец, Петраков, 2005]) и

не способного объяснить разрушение ледника и другие особенности Колкинской катастрофы, как доказано, в частности, в горной геомеханике [Петухов, Линьков, 1976, с.7], «газ, расширяясь при развитии выброса, способен совершить громадную работу». При этом на разрушение горных пород расходуется лишь ничтожная доля его энергии, тогда как для разрушения того же материала падающим грузом (свободным ударом) требуется энергия, на несколько порядков большая, чем при газодинамическом выбросе [там же] (при рассмотрении вопроса об источниках энергии катастрофического выброса ледника Колка автор [Бергер, 2007а] уже обращал внимание на этот важный момент).

Весьма интенсивное посткатастрофическое поверхностное струйное газовыделение, продолжавшееся в течение многих дней в эпицентральной зоне выброса (в тыльной части ложа ледника Колка и смежной трещинно-разрывной зоне вмещающих ледник пород), со всей очевидностью свидетельствует об огромном количестве скопившихся к моменту пароксизмального газодинамического выброса ледника Колка в его литосферном субстрате (в том числе на значительной глубине) высоконапорных глубинных поствулканических газов. И лишь исчерпание основного их количества в результате гигантского по масштабам газодинамического (газо-ледокаменного) выброса и последовавшего за этим длительного посткатастрофического свободного истечения в атмосферу оставшихся высоконапорных глубинных газов привело к постепенному прекращению концентрированных струйных поверхностных газовыделений и исчезновению парогазового облака в эпицентральной зоне выброса.

Что же касается конкретной роли обвалов в Колкинской катастрофе 2002 г., то в большинстве случаев предполагается, что она состояла в ударе по леднику и его выбивании, а иногда – в пригрузке ледника до некой критической массы и его срыва. Обе эти гипотезы, однако, не позволяют объяснить многие особенности Колкинской катастрофы, на что автор неоднократно обращал внимание [Бергер, 2005, 2006а, 2007а, б и др.].

При всей несомненности проявления аномальных по интенсивности обвалов на ледник Колка перед его катастрофическим выбросом, оставивших бросающиеся в глаза крупные следы на склоне в правом борту ледника, эти обвалы не сыграли в этой катастрофе сколько-нибудь существенной роли, которую, при всех различиях в ее конкретном характере, принимаемом различными авторами, им обычно приписывают. Сопровождавшее подготовку гигантского по мощности катастрофического выброса ледника, их проявление было детерминированным, закономерным и неизбежным, но не имело каузального (причинного) значения в этой катастрофе. Катастрофа была вызвана действием совершенно иного фактора – газового [Бергер, 2006а, 2007а, 2008 и др.].

Эти обвалы, как и многие другие аномальные природные явления, происходившие в июле-сентябре 2002 г. в данном районе, сопутствовали подготовке газодинамического выброса ледника Колка, предваряли и предвещали его, но не были ни главным, ни даже второстепенным, дополнительным фактором, действие которого является необходимым условием его проявления; для проявления газодинамического выброса ледника требуется выполнение целого ряда совершенно иных условий [Бергер, 2007а, с. 191-204].

Возникшая на предпароксизмальном этапе под воздействием высоконапорных глубинных природных газов повышенная трещиноватость горных пород, привед-

шая к резкому усилению интенсивности обвалов с г. Джимарайхох и ее отрогов на ледник Колка, в значительной мере, естественно, сохранилась и после газодинамического выброса ледника (или даже возросла и распространилась на более широкую территорию в результате гигантского сотрясательного воздействия выброса на горный массив), что привело к длительному продолжению обвальных процессов и расширению их площади [Васьков, 2011], знаменуя собой вступление обвальных процессов в стадию вторичных и ореольных смещений [Федоренко, 1988, с. 179-180].

Таким образом, раскрытие характера катастрофической пульсации ледника Колка 2002 года как внезапного взрывоподобного газодинамического выброса ледника [Бергер, 2006а, 2007а и др.] позволяет не только установить причину этой катастрофы, но и установить причину предшествовавших этой катастрофе продолжительных аномально интенсивных обвалов на ледник Колка с г. Джимарайхох и ее отрогов (а также еще более длительных значительных послекатастрофических обвалов в этом районе) и выявить характер взаимосвязи между этими обвалами и катастрофой.

* * *

Рассмотренные вопросы имеют существенное значение при оценке возможности проявления природных газогляциодинамических катастроф, подобных катастрофе 2002 г. на леднике Колка, не только в Казбекской неовулканической области, но и в Приэльбрусье и других областях геологически недавнего и современного вулканизма и, в целом, магматизма, и оценке связи этих катастроф с активной вулканической деятельностью, т. е. с собственно вулканическими извержениями (проявляющимися либо потенциально возможными).

В этой связи необходимо отметить, что гора Казбек – безусловно, потухший вулкан и предполагать возможность возобновления его извержений нет оснований [Бергер, 2008, с. 70-81]. Это, однако, ни в коей мере не означает, что в Казбекской неовулканической области (к которой принадлежит и Казбекско-Джимарайский район) невозможно проявление в будущем обусловленных газовой поствулканической деятельностью гигантских газогляциодинамических катастроф, подобных Колкинской катастрофе 2002 года. Вулкан Казбек является потухшим уже много тысячелетий, а катастрофические пароксизмальные газодинамические выбросы ледника Колка, проявление которых документально зафиксировано [Бергер, 2007в] с 1752 г., продолжают происходить. С достаточным основанием можно полагать, что такие выбросы происходили и на других ледниках этого района, а также на леднике Колка на более ранних этапах его развития.

Из сказанного ясно, что современная вулканическая активность, наличие активных (действующих) вулканов в том или ином районе не является обязательным условием, необходимым для проявления подобных катастроф в данном районе, отсутствие же такой активности, даже потенциальной (т. е. невозможность ее проявления) несколько не исключает возможности проявления гигантских газогляциодинамических катастроф (пароксизмальных взрывоподобных газодинамических выбросов ледников) в горно-ледниковых районах.

Проявлению таких выбросов обязательно предшествует резкая интенсификация обвалов под воздействием прорыва к земной поверхности в данном районе

сосредоточенного мощного потока высоконапорных глубинных преимущественно поствулканических газов, подобно тому, как это происходило в июле-сентябре 2002 г. перед катастрофическим выбросом ледника Колка.

Действие именно этого (газового) геологического фактора определит время проявления следующего относительно продолжительного (порядка двух месяцев) этапа резкой значительной интенсификации обвалов с г. Джимарайхох и ее отрогов на ледник Колка. При этом, с учетом вышеизложенного, проявление интенсификации обвалов, как и последующий газодинамический выброс ледника, возможны лишь после восстановления ледника Колка, выполняющего в этой геодинамической системе роль локального непроницаемого (газоупорного) барьера [Бергер, 2008].

Принципиально аналогичная ситуация, как можно полагать, существует и в других горно-ледниковых районах, где активно проявляется газовая поствулканическая (или, говоря более широко, близповерхностная постмагматическая) деятельность, в частности, в Приэльбрусье. Более точные заключения по этому вопросу возможны лишь с учетом данных детальнейших гляциологических (в том числе историко-гляциологических) и геолого-геофизических, особенно структурно-тектонических, исследований [Панов, 1993; Золотарев, 2009; Тверитинова, 2005; и др.].

Наиболее важным в исследованиях в рассматриваемом отношении является фиксирование благоприятных для струйной миграции глубинных газов активно живущих глубинных разломов и, особенно, узлов их пересечения в литосферном субстрате ледников (где наиболее вероятно нахождение каналов восходящей миграции и разгрузки высоконапорных глубинных природных газов) и выявление в истории развития ледников крупномасштабных катастрофических явлений проблематичного генезиса (типа событий на г. Арарат в 1840 г., ледниках Абано в 1909-1910 гг., Муркар в 1960 г. и т. п.) и их углубленное изучение с газогляциодинамических позиций. При этом, с учетом изложенного выше, особого внимания заслуживают проявления интенсивной обвальной деятельности и их бросающиеся в глаза крупные следы на приледниковых склонах как показатели возможной подготовки пароксизмальных газогляциодинамических катастроф типа Колкинской катастрофы 2002 г. Именно этим, в сущности, и ограничивается значение обвалов с г. Джимарайхох, роли которых уделяется неправомерно большое внимание в исследованиях катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье, не соответствующее малосущественному действительному воздействию этих обвалов на ледник Колка. Имеющие несомненный, но весьма ограниченный интерес лишь как явные предвестники газодинамического выброса ледника Колка аномально интенсивные продолжительные предкатастрофические обвалы с г. Джимарайхох и ее отрогов на ледник Колка вообще не представляют сколько-нибудь большого научного интереса и лишь постоянное муссирование в печати вопроса об этих обвалах и совершенно необоснованно приписываемая им главная (но весьма различная по характеру) роль в Колкинской катастрофе заставляют автора вновь и вновь возвращаться к этому вопросу.

Принципиально такой же газогляциодинамический подход целесообразно использовать в исследованиях и некоторых других сравнительно более изученных ледниковых катастроф, в том числе Девдоракских и Уаскаранских, а также при расшифровке природы предвещающих или сопровождающихся обвалами с приледниковых склонов пароксизмальных событий на ледниках Аляски, в Каскадных горах на северо-западе США и в других районах.

Вполне вероятно, что к этому же геодинамическому типу взрывоподобных направленных газодинамических выбросов относятся и некоторые другие известные катастрофические природные события, характер и причины которых в настоящее время трактуются иначе и нередко остаются дискуссионными.

Безусловно, к этому же типу относятся и получившие иную (хотя и принципиально различную) трактовку катастрофические события на леднике Колка и в Геналдонском ущелье 3 и 6 июля 1902 г. и в 1752 г., а также, несомненно, неоднократно происходившие ранее, следы которых зафиксированы К. П. Рототаевым [Рототаев, Ходаков, Кренке, 1983], но время проявления которых пока не установлено.

В той или иной мере близкие к катастрофическому выбросу ледника Колка по особенностям протекания природные, природно-техногенные и техногенные явления весьма многочисленны. Наиболее многочисленными и, что особенно важно, наиболее изученными из них являются взрывы на выброс (особенно – направленные, именуемые обычно взрывами на сброс), внезапные газодинамические выбросы в подземных горных выработках и эксплозивные вулканические извержения (вулканические взрывы, особенно – направленные). Важно подчеркнуть, что во всех этих случаях твердокаменный материал выбрасывается давлением газа, а не какими-то процессами ударного выбивания, выталкивания, выплескивания и т. п., как это бездоказательно и ошибочно предполагается некоторыми исследователями в отношении катастрофического выброса ледника Колка 20 сентября 2002 года.

Литература

1. Барон Л. И., Хмельковский И. Е. Разрушаемость горных пород свободным ударом. М.: Наука, 1971. 203 с.
2. Бергер М. Г. Конец обвальная гипотезы причин катастрофы на леднике Колка и представлений о подвижке ледника Колка в 2002 г. // АН ВШ РФ. Сев.-Осет. отделение. Сб. науч. трудов. № 2. Владикавказ: Изд-во «Терек», 2005. С. 126-135.
3. Бергер М. Г. Природная катастрофа на леднике Колка 20 сентября 2002 года – внезапный газодинамический выброс ледника // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Доклады Международной конференции. Владикавказ – Москва, 23-26 июня 2004 г. Владикавказ: Изд-во Олимп, 2006а. С. 41-49.
4. Бергер М. Г. О событии на леднике Колка в 2 часа 21 минуту 20 сентября 2002 г. // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. 2006б. Т. 6. № 4. С. 37-39.
5. Бергер М. Г. Ледник Колка: Катастрофа 20 сентября 2002 года – внезапный газодинамический выброс ледника. М.: Изд-во ЛКИ, 2007а. 248 с.
6. Бергер М. Г. Бильярд с домино, или маленькие хитрости большой науки (Об одной версии катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье) // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. 2007б. Т. 7. № 2. С. 52-54.
7. Бергер М. Г. Три гляциодинамические подвижки и четыре газодинамических выброса ледника Колка: Малоизвестные страницы и дискуссионные вопросы истории развития пульсирующего ледника. М.: КомКнига, 2007в. 120 с.
8. Бергер М. Г. Геодинамическая система ледника Колка и вопросы прогнозирования и регулирования ее развития. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 264 с.
9. Бергер М. Г. О возможных эндогенных причинах быстрых подвижек ледников. Статья вторая // Геология и геофизика Юга России. 2011. № 2. С. 3-13.

10. Бергер М.Г. О некоторых расчетах количества поствулканических газов, необходимого для газодинамического выброса ледника Колка // Геология и геофизика Юга России. 2012. № 1. С. 75-87.
11. Валяев Б.М. Зональность нефтегазонакопления в аспекте глубинной дегазации Земли // Дегазация Земли и геотектоника. М.: Наука, 1980. С. 169-188.
12. Васьков И.М. Ледово-каменные обвалы и их прогнозирование. На примере Центрального Кавказа. Саарбрюккен, Германия: Lambert Academic Publishing, 2011. 233 с.
13. Васьков И.М., Турлов С.А., Валиев А.Л. Последствия Геналдонской катастрофы 20 сентября 2002 г.: вчера, сегодня, завтра // Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа: Труды Международной научно-практической конференции. Владикавказ, 20-22 сентября 2007 г. Владикавказ: ВНИЦ РАН и РСО-А, 2008. С. 122-144.
14. Годзиковская А.А., Бугаевский А.Г., Габсатарова И.П. Сейсмологическая составляющая в катастрофическом движении ледника Колка // URL: <http://zeus.wdcb.ru/sep/kolka/index.ru.html> Last revision/November, 11, 2004.
15. Десинов Л.В. Пульсация ледника Колка в 2002 году // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. 2004. Т. 4. № 3. С. 72-87.
16. Десинов Л.В., Котляков В.М. Ледник Колка в 2002 году: от активизации до катастрофы // Материалы гляциологических исследований. 2005. Вып. 98. С. 146-154.
17. Заалишвили В.Б., Невская Н.И. Сход ледника Колка 20 сентября 2002 года и задачи информационных технологий изучения природных систем // Информационные технологии и системы: новые информационные технологии в науке, образовании, экономике (НИТНОЭ – 2003). Международная научно-техническая конф. Т. 2. Владикавказ, 2003. С. 175-180.
18. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Макиев В.Д., Мельков Д.А. Особенности процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 года по инструментальным данным // Геофизика XXI столетия: 2006 год. Сб. трудов Восьмых геофизических чтений им. В.В. Федынского (2-4 марта 2006 г., Москва). Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2007. С. 191-199.
19. Заалишвили В.Б., Харебов К.С. Исследование процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 года по динамическим характеристикам инструментальных записей // Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа: Труды Международной научно-практической конференции. Владикавказ, 20-22 сентября 2007 г. Владикавказ: ВНИЦ РАН и РСО-А, 2008. С. 202-221.
20. Золотарев Е.А. Эволюция оледенения Эльбруса. Картографо-аэрокосмические технологии гляциологического мониторинга. М.: Научный мир, 2009. 238 с.
21. Киссин И.Г. Флюиды в земной коре: геофизические и тектонические аспекты. М.: Наука, 2009. 328 с.
22. Котляков В.М., Рототаева О.В. Ледниковая катастрофа на Северном Кавказе // Природа. 2003. № 8. С. 15-23.
23. Котляков В.М., Рототаева О.В., Десинов Л.В., Зотиков И.А., Осокин Н.И. Катастрофические последствия грандиозной подвижки ледника Колка на Северном Кавказе // Известия Академии наук, серия географическая. 2003. № 1. С. 45-54.

24. Малышев А.И. Газовый фактор в эндогенных процессах. Екатеринбург, 2011 [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://ai-malyshev.narod.ru/GasFactor/GasFactor_Ru.html#mozТocJd361044.
25. Мосинец В.Н., Абрамов А.В. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород. М.: Недра, 1982. 248 с.
26. Обербек В.Р. Лабораторное моделирование ударного кратерообразования при помощи взрывчатых веществ // Механика. Новое в зарубежной науке. Вып. 12. Механика образования воронок при ударе и взрыве. М.: Мир, 1977. С. 33-61.
27. Панов В.Д. Эволюция современного оледенения Кавказа. СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. 432 с.
28. Панов В.Д., Ильичев Ю.Г., Лурье П.М. Ледниковый обвал в горах Северной Осетии в 2002 г. // Метеорология и гидрология. 2002. № 12. С. 94-98.
29. Петухов И.М., Линьков А.М. Теоретические предпосылки предупреждения внезапных выбросов и мер борьбы с их вредными последствиями // Выбросы угля, породы и газа. Киев: Наукова думка, 1976. С. 3-18.
30. Письменный А.Н. Отчет «ГДП-200 в пределах восточного сегмента зоны Главного хребта Центрального Кавказа (листы К-38-IX,XV)». Ессентуки, 2006. 440 с.
31. Поггенполь Н.В. По северным долинам Казбекского массива и первое восхождение на Майли-хох // Ежегодник Русского горного общества. 1903. М., 1905. Вып. III. С. 1-37.
32. Познанин В.Л., Геворкян С.Г. Импактный механизм подготовки ледника Колка к селевой катастрофе: физические процессы при крупных обвалах // Криосфера Земли. 2007. Т. XI. № 2. С. 84-91.
33. Познанин В.Л., Геворкян С.Г. Энергетический потенциал импактного селевого очага и изменение структуры ледника Колка перед его срывом // Криосфера Земли. 2008а. Т. XII. № 2. С. 90-97.
34. Познанин В.Л., Геворкян С.Г. Гидравлический механизм отделения тела ледника Колка от ложа: начало срыва – кинетика и гравитация // Криосфера Земли. 2008б. Т. XII. № 3. С. 87-96.
35. Поповнин В.В., Петраков Д.А., Тутубалина О.В., Черноморец С.С. Гляциальная катастрофа 2002 года в Северной Осетии // Криосфера Земли. 2003. Т. VII. № 1. С. 3-17.
36. Процесс схода ледника Колка 20 сентября 2002 г. / Отв. ред. В.Б. Заалишвили. Владикавказ: ВНЦ РАН и РСО-А, 2009. 165 с.
37. Ромашов А.Н. Особенности действия крупных подземных взрывов. М.: Недра, 1980. 244 с.
38. Рототаев К.П., Ходаков В.Г., Кренке А.Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. М.: Наука, 1983. 169 с.
39. Рототаева О.В., Котляков В.М., Носенко Г.А., Хмелевской И.Ф., Чернов Р.А. Исторические данные о подвижках ледников на Северном Кавказе и Кармадонская катастрофа 2002 г. // Материалы гляциологических исследований. 2005. Вып. 98. С. 136-145.
40. Тавасиев Р.А. Что спровоцировало Колку «на побег»? // Северная Осетия. № 6 (25786) за 19 января 2011 г.
41. Тверитинова Т.Ю. Новейшая тектонодинамика Эльбрусской вулканотектонической структуры // Современные методы геолого-геофизического мониторин-

га природных процессов на территории Кабардино-Балкарии. М.: ИФЗ РАН им. О.Ю. Шмидта, Нальчик: КБГУ им. Х.М. Бербекова, 2005. С. 200-214.

42. Теплякова А.С. Основные этапы развития рельефа и новейшая структура Горной Осетии. Дисс. ... канд. геол.-мин.наук. М.: МГУ, 1984. 249 с.

43. Тутубалина О.В., Черноморец С.С., Петраков Д.А. Ледник Колка перед катастрофой 2002 года: новые данные // Криосфера Земли. 2005. Т. IX. № 4. С. 62-71.

44. Файф У., Прайс Н., Томпсон А. Флюиды в земной коре. М.: Мир, 1981. 436 с.

45. Федоренко В.С. Горные оползни и обвалы, их прогноз. М.: Изд-во МГУ, 1988. 214 с.

46. Флюиды и геодинамика: Материалы Всерос. симпозиума «Глубинные флюиды и геодинамика» (Москва, 19-21 ноября 2003 г.) / [отв. ред. Ю.Г. Леонов, И.Г. Киссин, В.Л. Русинов]; Геологический институт РАН. М.: Наука, 2006. 283 с.

47. Чотчаев Х.О. Периодические сходы ледника Колка – следствие тектонической активности // Тезисы докладов Международной научно-практической конференции «Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа». 20-22 сентября 2007 г. Владикавказ, 2007. С. 35-36.

48. Штебер Э.А. Ледниковые обвалы в истоках Геналдона // Терский сборник. Владикавказ, 1903. Вып. 6. С. 233-248.

49. Evans S.G., Tutubalina O.V., Drobyshev V.N., Chernomorets S.S., McDougall S., Petrakov D.A., Hungr O. Catastrophic detachment and high-velocity long-runout flow of Kolka Glacier, Caucasus Mountains, Russia, in 2002 // Geomorphology. 2009. V. 105. P. 314-321.

ABOUT REASONS OF INTENSIFICATION OF ROCKFALLS ON GLACIER KOLKA BEFORE ITS CATASTROPHIC DISCHARGE ON 20 SEPTEMBER 2002 AND SOME QUANTITATIVE ESTIMATIONS OF THESE FALLS VOLUMES

Berger M. G., Sc. Doctor (Geol.), prof.

International Innovation Scientific-Technological Centre «Sustainable Development of Mountain Territories», Center of Geophysical Investigations of VSC RAS and RNO-A, Vladikavkaz, Russia, e-mail: berger7@rambler.ru

Perceptions about tectonic reasons of pre-catastrophic intensification of rockfalls on glacier Kolka in July-September 2002 were refuted. As many other anomalous in nature and intensity natural phenomena took place in the region in this period – in a stage of preparation of catastrophic paroxysmal gasodynamic discharge of glacier Kolka, falls intensification was caused by long-term powerful concentrated (jet) breakthrough to the surface (in region of lower pressure) high-pressure deep postvolcanic gases, accompanied by rock failure, including outstripping cracking in surficial and subsurficial zones under pressure of expanding compressed gases in ways of their rising jet migration.

Rockfalls intensification was also contributed by thermal influence of postvolcanic gases on rocks of cryolithic zone in upper part of rock massive. Despite their abnormal intensity precatastrophic falls on glacier Kolka play no significant role in the glacier discharge, and were neither not main nor secondary it's reason. Baselessness and falseness of some quantitative estimations of rockfalls volumes are shown. Theory about giant rockfall on the glacier Kolka on 20 September 2002 is refuted.

Long-term pre-catastrophic intense rockfalls on glacier Kolka is one of precursors of paroxysmal explosion-type gasodynamic discharge of glacier Kolka, results and signature of processes of its preparation. In no other respect these falls and their intensive investigation in more than past 10 years are not of scientific or practical interest.

Keywords: glacier Kolka, postvolcanic gases, catastrophic gasodynamical discharge, precatastrophic rockfalls intensification

**ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА
ЮГА РОССИИ
(№3. 2012г.)**

Подписано в печать 08.10.2012 г. Формат 60×84 1/8.

Усл. печ. лист 10,1. Гарнитура «Times».

Бумага офсетная. Печать цифровая. Тираж 100 экз.

Отпечатано ИП Цопанова А.Ю.
362000, г.Владикавказ, пер.Павловский, 3.

