



На правах рукописи

Васьков Игорь Михайлович

27 АВГ 2009

**ЛЕДОВО-КАМЕННЫЕ ОБВАЛЫ
В КАЗБЕК-ДЖИМАРАЙСКОМ ГОРНОМ УЗЛЕ
ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА И ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ**

Геозкология (25.00.36)

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата геолого-минералогических наук

Владикавказ 2009

Работа выполнена на кафедре геологии и поисково-разведочного дела горно-геологического факультета Северо-Кавказского горно-металлургического института (ГТУ)

Научный руководитель:

Доктор геолого-минералогических наук, профессор,
академик РАН В.И. Гончаров, СКГМИ.

Научный консультант:

Кандидат геолого-минералогических наук, доцент
А.П. Полквой

Официальные оппоненты:

Доктор геолого-минералогических наук, профессор
Н.В. Короновский;
доктор географических наук, профессор П.М. Лурье.

Ведущая организация: Учреждение РАН Центр геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН и Правительства РСО-Алания.

Защита состоится 18 сентября 2009 года в 14.00 часов в аудитории 1-300 на заседании диссертационного совета Д 800.017.01 при Международном университете природы, общества и человека «Дубна» по адресу: 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Университетская, д. 19, факс (49621) 2-27-89; e-mail kamanina@uni-dubna.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ МО Международного университета природы, общества и человека «Дубна».

Отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять Учёному секретарю диссертационного совета по указанному адресу.

Автореферат разослан 10 августа 2009 г.

Учёный секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук



И.И. Каманина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Катастрофа 20 сентября 2002 г. в долине р. Геналдон произошла на заселенной территории с развитыми системами мониторинга природной среды. Гигантская ледово-каменная лавина и порождённый ею гляциальный селевой поток почти мгновенно изменили ландшафт в придонной части долины на протяжении 34,8 км, на площади около 10 км². По официальным данным погибших и пропавших без вести 126 человек, материальный ущерб составил более 500 млн. руб. Подобная же катастрофа в Перу 10 января 1962 года разрушила шесть селений, при этом погибло 4 тыс. человек. Часть учёных считала, что повторяемость такого потока - около раза в столетие, а другая – даже в тысячелетие, но через 8 лет разразилась ещё более масштабная катастрофа. В результате мощных сейсмических толчков с северной вершины Уаскарана откололся громадный блок льда и горной породы. После удара о нижний ледник, образовавшаяся ледово-каменная лавина погребла город Юнгай, погибло 27 тыс. человек. Ярким примером «иррегулярности» обвалных процессов является Девдоракский ледник у г. Казбек. В период с 1776 по 1891 годы было отмечено 10 обвалных завалов долины р. Терек с интервалами от 2 до 36 лет. В специальной литературе нередко описания менее масштабных катастроф, произошедших в горных странах мира, испытывающих современный орогенез. Обвалы объёмом до первых десятков миллионов кубометров и дальностью выброса до 15-20 км обычно не привлекают внимания, т.к. происходят в не освоенной человеком высокогорной местности. Однако дальнейшее развитие человеческого сообщества вовлекает такие участки в сферу своей хозяйственной деятельности.

Детальное изучение Геналдонской катастрофы, комплексный анализ геоморфологических, орографических, климатических и других данных, позволили с новых позиций определить её генезис, что необходимо для предупреждения трагических последствий от их воздействия в горных и высокогорных районах. Значимость работы увеличивается особенно в настоящее время, когда расширяется присутствие человека в регионах современного активного орогенеза, таких как Кавказ, Альпы, Анды, Кордильеры и другие.

Целью работы является установление причин возникновения, динамики развития катастрофических процессов с участием больших масс горных пород и льда и их прогнозирование на примере Казбек-Джигарайского горного узла - определение генезиса Геналдонской катастрофы 20 сентября 2002 года и ей подобных. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

а) детально изучить и описать масштабные ледово-каменные катастрофы, произошедшие в Казбек-Джигарайском горном узле;

б) разработать методику прогнозирования катастроф, подобных Геналдонской 20.09. 2002 года, для территории горной страны, активно развивающейся в настоящее время, (Центральный Кавказ, Северная Осетия);

в) определить признаки проявления обвальных катастроф, их масштабов и границ зон поражения лавинообразных потоков;

г) разработать оптимальную систему мониторинга подобных катастрофических экзогенных процессов.

Методика исследований комплексная и основана на аналитическом подходе к анализу и интерпретации фактического материала. Совместно анализировались геологическое и геоморфологическое строение района, данные сейсмологических наблюдений, режимная гидрометеорологическая информация, литературные, исторические и этнографические сведения о подобных событиях прошлого и настоящего.

Научная новизна: - впервые в пределах Казбек-Джигарайского горного узла установлена и количественно описана связь новейших тектонических движений с развитием катастрофических экзогенных процессов, что послужило основой для прогнозирования обвальных катастроф;

- впервые для Северного Кавказа доказано и детально описано развитие и последствия ледово-каменного высокоскоростного лавинообразного потока (ЛОП);

- впервые определены признаки произошедших в прошлом природных катастроф типа Геналдонской, и на их основе в Казбек-Джигарайском горном узле выявлены долины, в пределах которых происходили в прошлом крупные обвальные процессы с образованием лавинообразных потоков.

- ледники и многолетнемёрзлые породы рассматриваются как неотъемлемая составляющая строения и развития горной территории, активно участвующая в экзогенных геологических процессах;

Защищаемые положения:

1. Впервые показано, что именно современные тектонические движения отдельных блоков пород по надвигам и пологим взбросам являются основной причиной, приводящей к обрушению склонов с образованием катастрофических обвалов и лавинообразных потоков (ЛОП).

2. Установлено, что общая деградация оледенения и многолетнемёрзлых пород в результате глобального потепления климата – фактор, приводящий к ускорению разрушения оттаявших частей склонов, увеличению количества опасных геологических процессов и их масштабов.

3. Доказано, что катастрофические лавинообразные потоки возникают при ледово-каменных обвалах больших (10^6 м^3 и более) объемов. Их прохождение приводит к изменениям геологического строения и морфологии придонной части долин, по которым можно определить основные параметры прошлых катастроф.

4. Впервые научно обоснованна система мониторинга и прогнозирования катастрофических ледово-каменных обвалов в горных областях

Научное значение работы заключается в установлении причин возникновения катастрофических обвалов и лавинообразных потоков в горной области Большого Кавказа, создания научной основы мониторинга и прогнозирования, как функции современного тектогенеза.

Практическое значение работы – предложенная система комплексного мониторинга даёт возможность на ранних стадиях выявить зарождение катастрофических обвальных и лавинообразных процессов, что позволит предотвратить гибель людей и минимизировать ущерб.

Использованные материалы. В основу диссертации положен фактический материал, полученный в результате авторских полевых наблюдений в высокогорной части территории Северной Осетии и Центрального Кавказа в период 1971 – 2007 годов и их камеральной обработки. Полевые работы и камеральные построения осуществлялись на топографических картах масштабов 1:10000, 1:50000 и 1:100000, аэрокосмических фотоснимках. Определение гранулометрического, петрографического и минерального состава каменного материала лавинообразного потока (ЛОП) произведено в полевых и лабораторных условиях. Автором изучено и обработано около тысячи фотоснимков – аэрокосмических и наземных съёмок. На основе полевых и камеральных работ автором произведено определение, сбор и обобщение количественных и качественных параметрических характеристик Геналдонской катастрофы 2002 года.

Апробация основных положений диссертации выполнена: на Всероссийской конференции по селям 24-27.10.2002, г. Нальчик; на селевой конференции Северо-Кавказского межтерриториального регионального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды 25-29.09.2003г, г. Теберда; на международной конференции «Предупреждение опасных ситуаций в горных районах» 24-26.06.2004, г. Владикавказ; на семинаре в институте Общей физики РАН 08.06.2005, г. Москва; на семинаре-совещании Северо-Кавказского межтерриториального регионального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, «Проблемы изучения ледников на Северном Кавказе», КБР, 25-28.08.2005; на Всероссийской конференции по селям 26-28.10.2005, г. Нальчик; на научно-практической конференции Северо-Кавказского межтерриториального регионального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Гузерибль, 19-20 сентября 2006 года; на научно-практической конференции Северо-Кавказского межтерриториального регионального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды 18-20 сентября 2007 г. Архыз; на Международной научно-практической конференции «Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа», Владикавказ, 20-22 сентября 2007 г.

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 12 печатных работах, из них 3 в реферируемых журналах и приравненных к ним.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав и заключения общим объёмом 193 стр. в т.ч. 5 таблиц, 37 рисунков. Список цитированной литературы содержит 150 наименования.

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю, д.г.-м.н., профессору, академику РАН В.И. Гончарову. За постоянную под-

держку и ценные советы профессорам: д.г.н. В.Д. Панову, д.г.н. Ю.В. Ефремову, д.г.н. Ю.Б. Виноградову, д.г.-м.н. И.А., Богушу д.г.-м.н. М.Г. Бергеру, д. ф.-м.н. В.Б. Заалишвили, д.г.-м.н. В.Т. Трофимову, д.э.н. В.С. Вагину, д.т.н. К.Д. Басиеву, к.г.-м.н. А.П. Полквому, к.г.н. С.С. Черноморцу, М.Ю. Никитину, сотрудникам и коллегам по работе Л.Б. Валиевой, Е.П. Васьковой, М.А. Гогкаеву, Г.А. Долгову, С.А. Турлову, сотрудникам Высокогорного Геофизического института В.О. Тапасханову, А.Х. Аджиеву, доктору Stephen G. Evans.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Сведения о катастрофических процессах в Казбек-Джидарайском горном узле.

В главе проанализированы имеющиеся материалы по катастрофическим обвалам в долинах ледника Девдорак и реки Геналдон (ледник Колка). Использовались сведения как о древних катастрофах (предания, топонимика), так и литературные и фондовые материалы XVIII-XXI веков. Катастрофические завалы на Военно-Грузинской дороге в долине Терека исследовались и описывались А.И. Духовским, А.С. Грибоедовым, Б.Н. Статковским, Г.С. Хатисяном, Е.Г. Вейденбаумом, С.И. Абигом и др. В 1910 г. в двух экскурсиях на ледник Абано участвовал журналист из Владикавказа С. Миронов (С.М. Киров).

Все исследователи того времени рассматривали ледники как автономно развивающиеся объекты, не имеющие связи ни с геологическим строением долин, ни друг с другом, а также приходили к выводу, что основной причиной обвальных катастроф являлась неустойчивость ледников на горных склонах. При этом не учитывалось то, что кроме льда в выбросах всегда присутствовали значительные количества обломков горных пород и фирна, т.е. материала который не характерен для языков ледников (особенно фирн).

Наиболее полную характеристику событий 3, 6 июля 1902 года в Геналдонском ущелье дал Э.А. Штебер (1903). Л.А. Варданыц (1932) первым из исследователей высказал предположение, что катастрофы Девдорака и Геналдона связаны с «геотектоникой и геосейсмикой Дарьяла»

Подвижка ледника Колка 1969-1970 годов, и её последствия изучались экспедицией института географии АН СССР в период 1970-1978 г.г. К.П. Рототаевым, А.Н. Кренке, В.Г. Ходаковым и др. (1983) В результате был сделан вывод о том, что Колка является типичным пульсирующим ледником с периодом пульсаций около 70 лет.

Изучение Геналдонской катастрофы 20 сентября 2002 года производилось по различным направлениям исследователями России и зарубежья. Учеными МГУ (В.Д. Поповнин, С.С. Черноморц, М.Ю. Никитин др.) исследовались географо-геоморфологические аспекты катастрофы, институтом географии РАН (В.М. Котляков, О.В. Рототаева, Л.В. Десинов и др.) развивалась теория пульсации ледников. Исследования эндогенных процессов в районе катастрофы производились А.Г. Гурбановым, А.Г.Кусраевым, В.Н. Арбузки-

ным и др. Соотношения землетрясений, вулканизма и катастрофических пульсаций рассматривались в работе Е.А. Рогожина А.В. Мараханова и др. Аспекты сейсмической составляющей освещались в работах В.Б. Заалишвили, Н.И. Невской, К.С. Харебова, И.В. Бондырева, Годзиковской и др.

Зарубежные исследователи C. Huggel, S. Zraggen-Oswald, W. Haeblerli, Oldrich Hungr, Stephen G. Evans, Nicholas F. Bishop, Lionel Fidel Smoll, Patricio Valderrama Murillo, Juan Zagarra Loo, Anthony Oliver-Smith, Tanya S. не только принимали участие в изучении феномена Геналдонской катастрофы с публикацией своих мнений и выводов, но и в свете новых взглядов на их генезис выявляли подобные катастрофы в других районах мира – в Альпах (M. Chiarle, G. Mortara, 2004), в Перу - Cordillera Blanka (Stephen G. Evans, Nicholas F. Bishop и др. 2008).

Геналдонской катастрофе посвящено много работ, в которых высказываются различные точки зрения на её генезис.

Глава 2. Краткий очерк геологического строения Казбек-Джигарайского горного узла.

Диссертационная работа основана на современных представлениях о развитии Большого Кавказа в альпийскую эпоху. Вывод о том, что Большой Кавказ, как в целом и Кавказский регион, в позднеальпийское время находился в состоянии общего субмеридионального сжатия, которое и продолжается в настоящее время (В.Е. Хаин, М.Г. Ломизе, 2005; Е.Е. Милановский, Л.М. Рассветаев, 2006; Ю.Г. Леонов, Н.В. Короновский, Л.И. Дёмина и др., 2007) использовался как опорный.

В результате анализа и обобщения результатов геологических исследований прошлых лет в пределах горной части Северной Осетии и Казбек-Джигарайского горного узла в частности (Г.П. Ольховский, С.М. Тибилов, 1998) выделены позднеколлизийные (современные) тектонические зоны (с юга на север): - зона Центрального поднятия, включающая Мамисон-Казбекский реликтовый рубец (геосутуру) и Шаухох-Дарьяльское поднятие, Дигоро – Осетинская зона и зона северных моноклиналей.

Мамисон-Казбекский реликтовый рубец (геосутура) на рассматриваемой территории протягивается в широтном направлении от верховьев р. Фиагдон до долины. Терека. Аккреционный клин геосутуры выполнен вулканогенно-осадочным комплексом пород *циклаурской свиты* ($T?-J_{1ck}$) - глинистыми, филлитовидными, аспидными и узловатыми сланцами, алевролитами и песчаниками с многочисленными потоками, линзами, силлами, дайками и штоками основной магмы. Особенностью циклаурской свиты является обилие сингенетичных вулканогенных пород основного состава от андези-базальтов до габброидов и пикритов. Контакты свиты с подстилающими и перекрывающими отложениями тектонические. Для всех осадочных и вулканогенных образований свиты характерно наличие тонкой, в большей своей части сингенетической, вкрапленности сульфидов железа, реже меди и полиметаллов.

Шаухох-Дарьяльское поднятие состоит из разновеликих блоков кристаллического фундамента, слагающих ядерные части отдельных антиклиналей. В составе фундамента гранитоиды *кассарского комплекса* ($\gamma PZ_2 ks$), слагающие Дарьяльский и Гвилетский массивы, а также оварцованные конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты и вулканогенно-осадочный комплекс верхнего карбона (*баддонская* (C_3bd) и *мидаграбындонская свиты* (C_3-P_1md); мраморизованные карбонатные отложения пермского возраста (*Гизельдонская свита* ($P_{1-2}gz$)). Составляющие поднятие Гизельдонская и Дарьяльская антиклинали разделены Чачским покровом. Блоки фундамента с юга «обтекаются» раннемезозойскими образованиями (циклаурская свита) аккреционного клина геосутуры. Северное крыло Шаухох-Дарьяльского поднятия сложено породами *кистинской свиты* (J_1kst), которые залегают на верхнепалеозойских породах стратиграфически несогласно. Местами этот контакт тектонический. С породами циклаурской и белореченской свит контакты тектонические. Сложена кистинская свита глинистыми, местами графитизированными, и узловатыми сланцами, кварцитовидными песчаниками, кварцитами, туфами и лавами среднего состава с обильной пиритизацией пород, интенсивность которой заметно уменьшается с юга на север. В этом же направлении ослабевает и степень окварцевания пород.

Дигоро – Осетинская зона находится к северу от Шаухох-Дарьяльского поднятия. В её сложении принимают участие: *белореченская свита* (J_1bl) - кварцитовидные алевролиты, окварцованные глинистые сланцы, пиритизированные кварцевые песчаники; *галиатская* (J_1gl), *ксуртская* (J_1ksr), *зинцарская* ($J_{1-2}zn$) и *армхинская* (J_2ar) свиты сложенные глинистыми сланцами, алевролитами, песчаниками с редкими прослоями глинистых и мергелистых известняков и конкрециями сферосидеритов. Примечательна различная степень динамометаморфизма глинистых сланцев, увеличивающаяся с севера на юг.

В строении зоны северных моноклиналей принимают участие мезозойские (верхняя юра) и кайнозойские (мел-палеоген) отложения карбонатного и карбонат-терригенного состава.

Четвертичный период, плейстоцен-голоцен (Q_{p-n}). Континентальные образования, приуроченные к днищам и склонам эрозионных и тектонических депрессий, принадлежат к следующим основным генетическим группам: ледниковые отложения (g) - морены всех типов; флювиогляциальные (f), аллювий (a) и пролювий (p); склоновые отложения - делювий (d), коллювий обрушения (Co) и оползания (gr); вулканические образования различного состава.

Наибольший интерес для определения динамики современных тектонических процессов представляют коллювиально-гляциальные и пролювиально-гляциальные отложения. Их состав соответствует составу породных комплексов верховий долин, откуда они были вынесены лавинообразными потоками и гляциальными селями, зародившимися в результате ледово-каменных обвалов. В целом их распространение контролируется северной границей Мамисон-Казбекского реликтового рубца (геосутуры).

Коллювий сползания и гравитационно-сейсмогенные структурные оползни коррелируются с современными взбросо-надвиговыми структурами и широко развиты вдоль эскарпа Скалистого хребта.

Неотектонический период охватывает позднеальпийский коллизийный этап развития региона, с которым связана основная структурная перестройка описываемой территории, которая происходит и на современном этапе. Продвижение Закавказской плиты к северу привело к тангенциальному (лобовому) сжатию, складчатым деформациям в осадочном чехле, к сокращению ширины по фронту земной коры и ее утолщению, в результате чего сформировалась орогенно-складчатая морфоструктура Большого Кавказа. На данной площади основными элементами коллизийной структуры являются асимметричное складчато-глыбовое Шаухох-Дарьяльское поднятие с обтекающими его с юга тектонизированными образованиями геосутуры (рис. 1). Воздымания по оси поднятия Главного хребта, с учетом денудационного среза за этот период (около 11 млн. лет), достигает 9-10 км, в том числе воздымания в позднеплиоцен-плейстоценовое время (1-2 млн. лет) в бассейне р. Терек 1,5-2 км. Средняя скорость поднятия этой зоны в плейстоцене достигает в среднем 4 мм/год, а в настоящее время 13-15 мм/год (*А.Н. Писменный, 2006*). Большие скорости поднятия подтверждаются образованием переуглублённой долины р. Терек в Казбекском районе (*Н.В. Короновский, 1964*).

В настоящее время современные разломы сопровождаются сейсмической и тектонической активностью со смещениями форм рельефа и четвертичных отложений. Установлены сейсмофокальные плоскости, связанные с тектоническими разломами. Они имеют крутое погружение (угол 60-90°) и прослеживаются до глубин 5-10 км и более (до 20-30 км).

При анализе геологического строения района Джимарай-Казбекского горного массива обращает на себя внимание то, что долины ледников Колка, Девдорак, Цатадонского, Кауридонского и Мидаграбинского находятся в аналогичных геологических и структурно-тектонических условиях при большой схожести геоморфологических элементов, что обусловлено единством современной геодинамики. Активные тектонические движения приводят к горизонтальным перемещениям отдельных частей пологих надвиговых структур со скоростями до 14-16 мм/год. У всех рассматриваемых долин один из бортов (для Колки, Абано, Девдорака и Мидаграбина – правые, а для Цатадона и Кауридона – тыловые) представляет собой обнаженную фронтальную часть надвиговых чешуй, движение которых продолжается в настоящее время. Современные взбросо-надвиговые подвижки в условиях существующего рельефа на поверхности реализуются увеличением крутизны склонов, что приводит к увеличению количества накопленной ими (склонами) потенциальной энергии. Разрядка потенциальной энергии, регулируемая её количеством и изменениями климатических условий, определяет динамику экзогенных процессов.

Для Казбек-Джимарайского горного узла и прилегающих территорий проявления отмеченных выше положений являются:

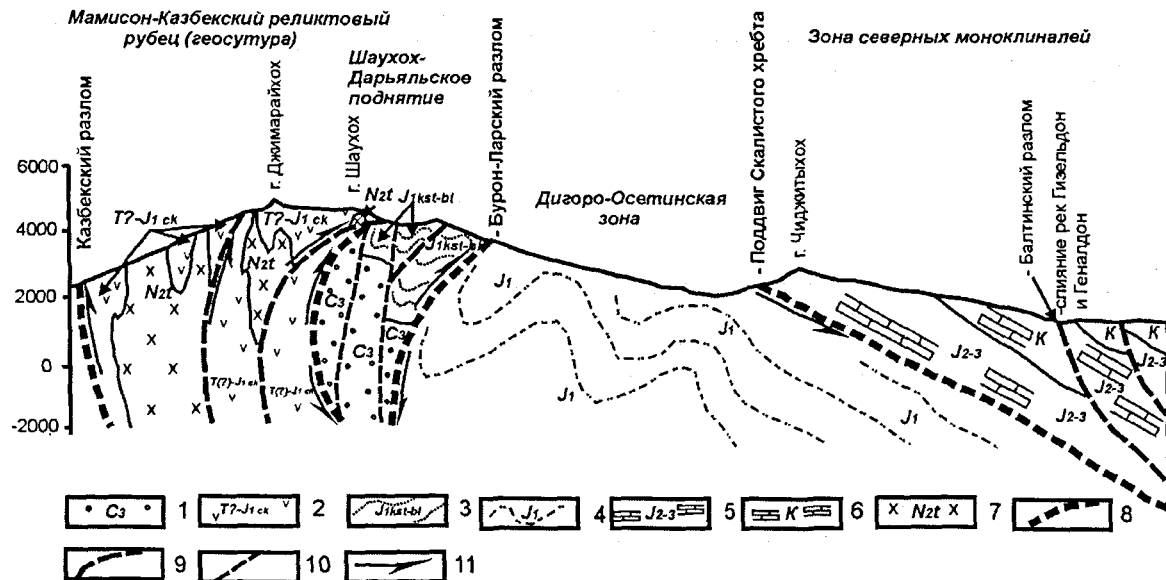


Рис. 1. Поперечный профиль по гребню левого борта долины р. Геналдон.

Палеозойский фундамент. 1. Бадонская свита (C_3), окварцованные конгломераты. Мезозой: 2. Циклаурская свита (T_7-J_{1ck}) - алевролиты, песчаники, вулканы андезибазальтов. 3. Кистинская и белореченская свиты ($J_{1kst-bl}$) - окварцованные алевролиты, песчаники. 4. (J_1) Галиатская, ксурская, армхинская свиты - глинистые сланцы, алевролиты, песчаники. 5. Иронская - матламская свиты (J_{2-3}) - известняки, доломиты. 6. Кобанская - ичкерийская свиты (K) - известняки, мергели. 7. Кайнозойский интрузивный комплекс (Nzt) - гранодиориты, андезидациты. 8. Раздомы на границах тектонических зон. 9. Взбросо-надвиги в пределах тектонических зон. 10. Трещины скола. 11. Направление движения отдельных блоков.

Пространственная приуроченность зоны зарождения каменно-ледовых обвалов к взбросо-надвиговым структурам Мамисон-Кзбекского реликтового рубца (геосутуре). В Казбек-Джимарайского горном узле взбросо-надвиговые структуры участвуют в строении наиболее высокой части (до 5000 м) Бокового хребта и находятся в пределах нивальной зоны, что определяет особенности динамики вызванных ими экзогенных процессов.

Максимальная концентрация всех типов оползней и крупных обвалов в зоне развития подвига Скалистого хребта на высотах до 2500 м н.у.м.

Глава 3. Фактологические и параметрические характеристики Геналдонской катастрофы 2002 года, место и значение наблюдаемых фактов и параметров.

В главе детально рассматривается динамика изменений природной среды в качественных и количественных (числовых) характеристиках с целью раскрытия генезиса Геналдонской катастрофы и возможного механизма её образования на основе детального анализа фактов, рассмотрения их (фактов) взаимосвязей и взаимовлияний, производства основных и проверочных расчетов.

Отрыв блока горных пород и ледово-фирновых полей с северного склона восточного отрога г. Джимарай-хох произошел в интервале высот 4150-4450 м на протяжении (по ширине) – 900м. Поверхность ледника Колка в зоне обрушения имела высотные отметки 3270-3350м. В период после 20.09.02 до августа 2004 г зона обвала в верхней части расширилась на восток до 2500 м, а в августе 2007 г. до 2800 м.

Сравнение топографических карт 1964 и 2004 годов съёмок показало, что суммарный объём материала, обвалившегося с восточного гребня г. Джимарай-хох в течение 2002 – 2004 годов составляет не менее 90 млн. м³.

Результаты изучения новообразованных мезоформ рельефа, позволяют сделать однозначный вывод об их экзотектоническом происхождении. Верхняя часть катастрофического трога по морфологии напоминает структуру «разбитой тарелки», но приложение сил, образовавших описанную структуру, осуществлялось сверху вниз.

Положение и морфология поперечных валов, также как и экзотектонические структуры, однозначно свидетельствуют об ударном (обвальном) механизме формирования ЛОП, а также о начальном вращательном движении обвального блока относительно нижней точки опоры.

Практически полная эвакуация ледово-каменного материала из зоны катастрофического трога свидетельствует о том, что обвальные массы обладали высокой энергией, которая способствовала образованию высокоскоростного лавинообразного потока (ЛОП).

Зона транзита ЛОП начинается от восточного ската нижних поперечных валов. По зоне транзита, ниже языка ледника Майли, не отмечалось значительных объемов отложений льда и обломков горных пород в придонной части долины. Суммарный объем отложений в так называемых «заплесках» едва

ли превышал 1.5 – 2.0 млн. м³. Ширина зоны поражения ЛОП составляла 600-550 м в верховьях долины, около 1000 м в районе ледника Майли, по долине р. Геналдон от минеральных источников до кур. Кармадон – 450 – 500 м. Изменения площади поперечного сечения ЛОП происходили скачкообразно. Разница в размерах площадей сечений достигает 5 раз. Вероятно, что это могло быть вызвано увеличением, или уменьшением плотности потока.

Основная масса ЛОП остановилась на входе в «Кармадонские ворота», образовав завальное тело объёмом 110-115 млн. м³. Ниже окончания завала, в начале зоны транзита гляциального селевого потока на протяжении около 400 м дно долины было перегорожено поперечными валами ледово-каменной «брекчии» высотой до 15-20 м с расстоянием между гребнями около 100 м. Завальная масса - крупнообломочная брекчия, состоящая из остроугольных, слабо обитых обломков льда, фирна и горных пород в соотношении лед - порода ~ 7 : 3. По соотношению литологических разностей каменная часть завала полностью (более 90%) соответствует составу циклаурской свиты, отложения которой обнажаются только по правому борту долин ледников Колка и Майли.

21 сентября 2002 г 8 часов утра, на поверхности завального тела не отмечалось скоплений воды, небольшие озера только начали образовываться перед завалом по рекам Геналдон и Кауридон.

При остановке основной части ЛОП у «Кармадонских ворот», вниз по каньону р. Геналдон была выброшена масса в виде гляциального селя, состоящая из обломков горных пород, льда и фирна. Высота границы зоны воздействия (поражения) изменялась от 80-60 м на входе в каньон Скалистого хребта, до 25-30 м в 1.5 км к северу от устья ручья Скатыком. Отложения зоны разгрузки гляциального селевого потока начинаются в 0.6 км южнее устья р. Скатыком, имеют протяженность 8.2 км, при средних ширине и мощности 160 и 3.3 м соответственно. Общий объем оценивается в 6.0-7.0 млн. м³, в том числе твердого (каменного) материала 4.5 млн. м³. Максимальная мощность селевых отложений достигала 6-7 м

Скорость движения гляциального селя ниже слияния рек Гизельдон и Геналдон составляла не менее 100-120 км/час (28-33 м/с).

Скорость движения ЛОП рассчитывалась в нескольких вариантах. По свидетельству очевидцев её значение составило 80-100 м/сек. По данным станций локальной сейсмической сети получена скорость 90 м/сек. Центром геофизических исследований ВНЦ РАН (*В.Б. Заалишвили, К.С. Харебов, 2008*) исследованиями динамических характеристик инструментальных записей сейсмических станций Северной Осетии и Кавказских Минеральных Вод установлено что скорость движения ЛОП на участке от северного склона предвершинного гребня г. Джимарай-хох до ледника Майли составляла около 320 км/час; на участке от ледника Майли до Кармадонских ворот - около 400 км/час, меняясь по данным разных станций от 107 м/с до 115 м/с.

Поперечные валы находятся в тыловой и фронтальной части ложа ледника Колка, на левой стороне ледника Майли и в узком каньоне, ниже окон-

чания завального тела и по своему положению и форме похожи на застывшие продольные волны. Наличие поперечных валов может свидетельствовать о высоких энергиях и скоростях процесса в целом, о возникновении неких волновых процессов в местах энергетических инверсий, воздействие которых и привело к образованию поперечных валов, а также об особенностях динамики и механизма движения ЛОП.

Установлено, что катастрофическое событие обусловлено следующими факторами;

а) определяющим явилось современное поступательное движение надвиговой чешуи в северном направлении со средней горизонтальной скоростью около 12-14мм/год, что приводит к постоянному увеличению коэффициента неустойчивости склона на правом борту долины ледника Колка.

б) большая крутизна и ступенчатость склона в верхней части, со средним углом 44° , что совпадает с выводами В.С. Федоренко о крутизне склонов наиболее благоприятной для возникновения обвалов и подтверждается имеющимися данными;

в) приуроченность склона к фронтальной части аллохтонного блока крупного современного надвига, ограничивающего с юга долину ледника Колка;

г) неоднородность геологического разреза склона в строении, которого принимают участие (снизу – вверх): штоки гранодиоритов, силлы долеритов, жесткие пачки вулканогенных пород в переслаивании с пластичными алевритами и мощные, до 80 м, толщи льда в верхней его части склона;

д) накопление масс льда и фирна в области питания висячих ледников, особенно быстрое зимой 2001-2002 годов;

е) резко замедленные скорости эрозионных процессов в нивальной зоне, нарушающее баланс между созидательными эндогенными процессами (вздымание горного сооружения и отдельных его частей) и разрушительными экзогенными процессами (нивелирующими поднятия по мере их роста) в пользу первых.

Расчёты балансов объёмов и энергий показали что общий объем выброшенного материала складывается из объёмов: завального тела – 110-115 млн. м^3 ; селевого потока – 6 млн. м^3 ; "заплесков" на борта долины по зоне транзита ЛОП - 1-2 млн. м^3 ; отложений ледовых валов и льда по долине р. Колка на высотах ниже 3000 м – 4-5 млн. м^3 ; отложений ледово-каменного материала на теле ледника Майли – 8-10 млн. м^3 ; селевых отложений в пойме реки Геналдон от языка оползня Бетерзык до тыловой части завального тела – около 2 млн. м^3 . Итого общий объем пришедшего в движение материала составлял 131 – 140 млн. м^3 , (средний 136 млн. м^3), что совпадает с расчетами ученых МГУ (130 – 140 млн. м^3) (В.Д. Поповнин, 2003). Объем материала, выброшенного из ложа ледника Колка, не превышает 70 млн. м^3 . При общем объёме перемещённого материала в 130 – 140 млн. м^3 , дополнительный объём за счет обвала составляет 65 млн. м^3 . Так как обрушение отдельных частей происходило и до основной фазы обвала, то для расчетов принят объём основной час-

ти обвала в 60 млн. м³; объем льда в обвале - 35 млн. м³; доля горных пород в пределах 25 млн. м³, что, при объемном весе 2.8 г/см³, составит 70 млн. т. Соответственно общая масса обвала могла составить 105 млн. тонн, а суммарная движущаяся масса – 175 млн. т. (Объемный вес льда, в виду его значительной насыщенности каменным материалом, принимается равным 1 г/см³). При высоте падения 800 м и массе обвала 105 млн. т кинетическая энергия в точке удара составила 0.8×10^{16} Дж. Кинетическая энергия массы ЛОП, при скорости движения 90 м/с = 0.7×10^{16} Дж, что подтверждает соблюдение энергетического баланса.

Расчет параметров, при которых возможно саморазрушение (пульсация) ледника произведён на основе прочностных характеристик льда, полученных экспериментальным путём (В.В. Лавров, 1969). Рассчитывались критические значения физико-механических условий, при которых ледовое тело на горном склоне может резко изменить характер движения под действием собственного веса (G), зависимость такого изменения от угла наклона ложа ледника (α) и его толщины (H).

В результате получена формула для расчета предельной толщины льда (H_к):

$$H_k = a^2 : 2\alpha.$$

Полученное выражение (равнобочная гипербола с эксцентриситетом $a=66$) описывает состояние льда, как хрупкого тела, без учёта его реологических свойств.

На основе результатов экспериментальных исследований и натурных наблюдений за динамикой развития ледовых тел на горных склонах, сделан следующий вывод:

- при увеличении толщины льда на склоне происходит увеличение срезающей нагрузки в основании толщи, что приводит к уменьшению вязкости льда нижних частей ледовых тел и увеличению скоростей течения всех слоев; увеличение температуры льда также ведет к уменьшению его вязкости. Вследствие этого, толщина ледников, находящихся в пределах снеговой линии или ниже неё (в условиях, когда среднегодовая температура -3°C и выше), вряд ли может достигать критической.

Глава 4. Сравнительные геоморфологические характеристики долин Казбек-Джимарайского горного узла, где происходили ледово-каменные обвалы.

Все ледники и вмещающие их долины в пределах Казбек-Джимарайского горного узла, находятся в аналогичных геолого-структурных и орографических условиях, но только некоторые из них характеризуются проявлениями крупных и быстро текущих экзогенных процессов типа ледово-каменных обвалов. Это верховья долин рек Цатадон, Кауридон, Амалишка (Девдорак), с находящимися в их истоках ледниками. На основе детального обследования были выявлены геологические и геоморфологические особенности, присущие как этим доли-

нам, так и долине Геналдона. Для сравнения приводятся аналогичные характеристики ледника Майли, по которому обвальные события не зафиксированы ни в памяти людей, ни в геологических фактах.

На примере Геналдонской и других изученных катастроф процесс, от зарождения обвала до распада гляциального селевого потока, разделяется на ряд участков или зон:

- 1) Потенциально опасный обвальный склон;
- 2) Подошва опасного склона;
- 3) Ледник долинный или присклоновый;
- 4) Зона транзита, включает в себя подзоны - склона морен и речной долины;
- 5) Завальная зона;
- 6) Зона транзита гляциального селевого потока;
- 7) Зона распада гляциального селевого потока.

Геоморфологические особенности долин, верховья которых потенциально опасны по возникновению ледово-каменных обвалов, определяются их геологическим строением, динамикой современных тектонических процессов и наличием в ударной зоне ледовых тел (частей ледников), соизмеримых по объему с обвальными массами. Вследствие этого ледово-каменные обвалы в Казбек-Джигмарайском горном узле, как произошедшие и обследованные в XIX – XXI веках, так и более древние, чьи четкие геологические следы обнаруживаются в ряде долин, являются результатом разрядки потенциальной энергии, накопленной при движении взбросо-надвиговых блоков на поверхности Земли.

Объемы катастрофических обвалов могут колебаться в пределах от десятков (Кауридон около 11 млн. м³) до сотен миллионов кубометров (Геналдон). Их энергетический потенциал зависит также от высоты и крутизны обвального склона, а размеры зон поражения являются производной от первых двух факторов.

Ледово-каменные обвалы могут возникать в нивальных зонах горных систем альпийского возраста, в местах, где современные взбросо-надвиговые дислокации проявляются на поверхности с максимальными амплитудами перемещения.

В последние годы, на основе анализа детальной информации о Геналдонской катастрофе, в отечественной и мировой литературе появился ряд публикаций, в которых произошедшие ранее события рассматриваются с позиций обвального генезиса части крупномасштабных каменно-ледовых лавин и/или гляциальных селевых потоков.

Изменившийся взгляд на произошедшие ранее события представлен М. Киарле и Дж. Мортара (2004) при описании каменно-ледовой лавины на леднике Бренва в 1997 году.

Похожие описания механизма многочисленных (67) селевых потоков, отмеченных на ледниках Аляски в середине прошлого века, приведены в кни-

ге «Современные проблемы гидрологии» Ю.Б. Виноградова и Т.А. Виноградовой (2008).

В приведённых случаях происходило «скольжение» обвальных масс по поверхности ледников, потому что объёмы последних более чем на порядок превосходили объёмы обвалов

В этой же книге, при описании катастроф произошедших в Перу в 1962 и 1970 годах XX века, отмечается, что Уаскаран (6 768 м) является высочайшей вершиной Кордильеры—Бланка — горной цепи в Перуанской Западной Кордильере, *несущей наиболее значительное в этом районе оледенение (выделено авт.)*. Движение масс характеризуется как высокоскоростная скально-ледяная лавина.

Уаскаран 1970 и Геналдон 2002 очень близки и по значениям таких параметров как объём (в пределах $n \times 10^6 \text{ м}^3$) и скорость (в пределах 100 м/сек) движущихся масс. Совпадают и структурно-тектонические позиции – в обоих случаях обвальные блоки приурочены к висячим крыльям современных разрывов взбросо-надвигового характера.

Приведённые примеры показывают, что разномасштабные обвалы горных пород со льдом, вызываемые современными подвижками взбросо-надвигового типа, происходят достаточно часто в молодых горных странах альпийского орогенеза.

Глава 5. Посткатастрофические природные процессы в долине Геналдона.

В результате исследований определены общие тенденции развития природных процессов и вызванных ими геологических и морфологических преобразований следов катастроф.

Гидрометеорологические процессы в период 2002-2007 годов отличались повышенным температурным фоном, особенно на высотах более 2500 м. В 2007 году отклонения температуры воздуха от нормы в сторону повышения в горных районах достигали 4-7°, что вызвало значительное усиление активности таяния ледово-снежных массивов в горах, в том числе и в верховьях р. Геналдон. К августу 2007 года объёмы оставшихся после катастрофы правых притоков ледника уменьшились на одну треть и полностью покрыты обломочным чехлом. Повышение температуры воздуха и увеличение продолжительности тёплого периода привело к поднятию высоты снеговой линии и уменьшению площади нивальной зоны и зоны многолетнемёрзлых пород. В результате, лед, оставшийся на дне и правом борту долины Колки, интенсивно тает.

В дальнейшем, при сохранении положительного тренда потепления, не будет восстановлена целостность многолетнемёрзлых пород, натёчных льдов, фирновых и ледовых полей, висячих ледников нивальной зоны, всего того, что как «ледовая броня», защищала фронтальную часть современного надвига от разрушения. Эрозионные процессы в виде небольших обвалов и осыпей будут разрушать выходящий на дневную поверхность неустойчивый фронт

надвига, и приводить потенциально обвальный склон к углу естественного равновесия, свойственного для интенсивно трещиноватых пород.

Разработанные на настоящее время сценарии изменения климата на северном склоне Большого Кавказа до 2050 года, представленные в работах П.М. Лурье (2002), Ю.П. Хрусталёва (2002), Ю.В. Ефремова (2007), Б. Лучкова (2007) и др., не предусматривают изменения направленности климатических процессов.

Оползневые процессы к 2007 году перешли в стадию временной стабилизации. Склоны, подрезанные и ободранные ЛОП, за счёт активизации осыпных процессов, возвращаются к устойчивому равновесно-напряжённому состоянию и зарастают луговой и древесной растительностью, а материал «заплесков» удаляется со склонов небольшими селями и осыпями.

На всем протяжении долины р.Геналдон к 2007 году в пойме скопилось более 15 млн.м³ селеобразующего материала. Полное разрушение сохранившейся части завала в створе «Кармадонских ворот» и выход вод Геналдона из тоннеля на поверхность приведёт к увеличению уклона русла реки, что увеличит вероятность вовлечения в селевую деятельность рыхлого материала, скопившегося выше по течению.

Обвалы явились одной из основных причин возникновения Геналдонской катастрофы 2002 года и других, ей подобных. В весенне-летние периоды 2003-2005 годов развивались обвально-осыпные процессы на бортах катастрофического трога, образованного ЛОП. Активная обвально-осыпная деятельность продолжается на правом борту долины ледника Колка и в 2009 году.

Первоначальная площадь завала составляла 2,4 км². За период наблюдений с 28.09.02 по 12.10.05 г. площадь сократилась до 1,2 км² (на 45%), а объём – до 29 млн. м³, т.е. на 74%. На август 2007 г. остаточная мощность завальных масс составляла: в нижнем сечении 50 м; в среднем сечении - 25÷30 м; в верхнем - 10÷15 м. Снижение скорости деградации связано с замедлением таяния из-за образования защитного рыхлообломочного чехла на поверхности, за счёт интенсивной осадки и уплотнения завальной массы, сокращения интенсивности термокарстовых процессов и размыва ледовых масс текущими водами после образования современной речной долины на поверхности деградирующего завала.

С течением времени долины с выровненной поверхностью, сформировавшиеся выше завальных плотин, будут разрезаны водными потоками с образованием узких и глубоких врезов по руслам рек, образуя террасы, очень похожие на верховья долин рек Цатадон, Харес, Гизельдон в Даргавской котловине, Амали в нижнем течении, Фастаг.

Сразу после остановки ЛОП и формирования завальной плотины в её южной части (верхнем бьефе) по долинам рек началось накопление воды, особенно по Геналдону, и образование озёр. По многочисленным трещинам воды рек нашли проходы внутри тела завала, и частично ушли под него, тем не менее, в третьей декаде сентября 2002 г. образовалось 13 озёр различной величины. Наиболее крупным было озеро «Горная Саниба» в долине р. Кауридон.

Уровень озера Горная Саниба с 21.09.2002г. поднимался неравномерно, иногда достигая значений до 1-2 м/час и 23 октября была достигнута максимальная отметки 1332 мБс при глубине около 28 м и объеме 3,8 млн. м³. С 23 сентября начался интенсивный перелив воды через верхнюю (южную) перемычку и дальнейший её путь проходил по трещинам и каналам подледного стока и к концу 2003 г. уровень озера понизился на 15,5 м, объём сократился до 1 млн. м³. До конца 2007 г. происходило понижение уровня воды до 1307,6 мБс и уменьшение объёма до 150-160 тыс. м³, при средней глубине 3.8 м. Практически установилось равновесие между притоком и оттоком воды, т.е. подлédный сток непосредственно из озера практически отсутствует.

Установленная динамика посткатастрофических природных процессов в долине Геналдона катастрофы позволяет сделать ряд обоснованных выводов о характере её развития в будущем.

В последующие 50-60 лет направленность развития климатических параметров будет препятствовать началу формирования предкатастрофических состояний потенциально обвального северного склона гребня Джимарайхох – Майлихох и ледника Колка.

Потенциальную угрозу возникновения крупномасштабных ЧС создаёт возможность схода селевых потоков объёмом до 2 млн. м³ по всей долине Геналдона.

Плановая и вертикальная деформация русел рек Геналдон и Гизельдон, вызываемая транспортировкой водным потоком большого количества наносов, постоянно будет способствовать активной эрозии берегов и подтоплениям.

Большие скорости трансформации и перераспределения рыхлообломочного материала практически исключают любую производственно-хозяйственную и строительную деятельность в пределах воздействия активных геологических и гидрологических процессов по всей долине Геналдона. Стабилизация активности опасных природных процессов, вызванных Геналдонской катастрофой, возможна после таяния ледовой составляющей Кармадонского завала.

С течением времени, вновь образуемые геоморфологические элементы в долине Геналдона приобретают всё больше общих черт с таковыми по долинам рек Цатадон, Кауридон, Амали, Гизельдон.

Глава 6. Признаки и возможности прогнозирования природных катастроф типа Геналдонской в Горной Осетии.

Основанием для разработки комплекса признаков послужили полученные в процессе исследований детальные качественные и количественные характеристики катастрофического процесса. Их наличие и раскрытие генезиса обвальных катастроф позволили подойти к выявлению круга факторов и признаков, характерных для высокогорных долин, где происходили в прошлом, и, следовательно, могут повториться и в будущем подобные явления.

Геологический фактор определяет основное условие возникновения обвалов - достижение критически неустойчивых углов склона подвижного бор-

та долины при проявлении современных тектонических подвижек надвигового типа. «Накопление» неустойчивости единичным склоном и её разрядка могут определять условные временные рамки повторяемости крупных событий в данном месте, но уловить такую периодичность чрезвычайно сложно. В то же время фронтальная часть надвиговой чешуи может разрушаться поочередно, отдельными блоками различных объёмов. В этом случае перерывы между крупными обвалами в одном ущелье могут длиться и десятки лет, и годы, а, может быть и месяцы и дни. Именно с такой позиции можно объяснить сдвоенную Геналдонскую катастрофу 1902 года и десятикратное «обрушение» Девдорацкого ледника с 1776 по 1891 год. Следствием современных тектонических движений является и сейсмическое воздействие. Серии слабых (до 2 баллов), мелкофокусных и близповерхностных землетрясений чаще всего отражают движения по поверхностям смещения надвигового и взбросового характера.

Орографические и геоморфологические факторы – форма и крутизна склонов, прямолинейность и ширина долин в зоне транзита и т. д.

Климатический фактор определяет изменение температурного режима в нивальной зоне, в сторону увеличения средних годовых температур атмосферного воздуха, что приводит к деградации оледенения и увеличению числа ледников при уменьшении площади оледенения.

Определены следующие признаки проявления ледово-каменных обвалов:

Наличие в высокогорной зоне современных надвигов и взбросов, фронтальные части которых постоянно надвигаются на ледниковые долины.

Присутствие внутри и на поверхности ледника большого количества каменных обломков.

Наличие специфических комплексов рыхлых отложений, остающихся после таяния льда завальных тел ЛОП и так называемых «каменных глетчеров» с родниковыми истоками рек в верхней части долин.

Ровная поверхность флювиогляциальных отложений в тыловой части завалов, на которой выделяются отдельно стоящие крупные (до 4–5 м высоты), не окатанные глыбы горных пород

Выпукло-вогнутая форма склонов бортов ледниковых долин, их значительные (в пределах 1000 м) превышения над дном долины и большие (43–45° и более) углы склонов.

Прямые, V или U образные, узкие (300–500 м) долины, способствующие увеличению дальности выброса ЛОП и его производных.

Присутствие специфических отложений гигантских гляциальных селевых потоков, которые располагаются ниже по течению на значительном (до 5–10 км) удалении от завальных тел.

Уменьшение площади ледников и увеличение их количества в результате длительного потепления при одновременном росте количества твердых осадков в нивальной зоне.

Соответствие литологического состава специфического комплекса рыхлых отложений завала и отложений гляциального селевого потока только комплексу пород, слагающих обвальный склон верховий долины.

Наличие участков долин с плоским дном и отдельно стоящими крупными угловатыми глыбами горных пород, которые по составу присущи зоне обвала.

Размещение горных сел на значительной высоте над дном долины, зачастую в неудобных местах.

Наличие в местном фольклоре легенд и преданий о катастрофических событиях.

На основе выявленных факторов и признаков определяется последовательность выработки прогнозов.

На первом этапе, на основании анализа геологических карт выявляются места, потенциально способствующие развитию катастрофических ледово-каменных обвалов, уточняются направления и относительные скорости перемещения подвижных тектонических блоков. Анализируются каталоги сейсмических событий для оценки активности приповерхностных мелкофокусных землетрясений. Отстраиваются сейсмофокальные поверхности и сравниваются с положением известных в районе надвиго-взбросовых структур, в выявленных потенциально опасных районах проводится комплекс целевых полевых исследований. На основании работ первого этапа строятся карты долгосрочного прогноза (фоновые) с повторяемостью событий раз в 200 – 1000 лет.

На втором этапе на выявленных потенциально опасных объектах выстраивается достаточная система мониторинга.

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

Исходя из положения о приоритете современных тектонических движений при образовании крупных обвалов (ледово-каменных в том числе), на основе выявленных признаков и с учётом взаимодействующих факторов, предлагается организация системы мониторинга со следующими задачами:

Мониторинг геологической среды – определение горных долин потенциально опасных проявлением катастрофических обвалов;

Оперативный контроль изменений геодинамической обстановки в опасных районах на основе полевых геологических, геодезических и геофизических наблюдений, в т.ч. за изменениями крутизны потенциально опасных склонов;

Сейсмический мониторинг – выявление мелко фокусных землетрясений на подконтрольной территории, построение современных сейсмофокальных поверхностей и контроль сейсмической активности в режиме реального времени;

Гидрометеорологический мониторинг – контроль динамики гидрометеорологических процессов в пределах выделенных потенциально опасных территорий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе решена проблема происхождения катастрофических ледово-каменных обвалов, что определило возможность их прогнозирования и систему мониторинга.

Выявлены и доказаны следующие положения – составляющие элементы геодинамики опасных территорий:

Современные тектонические движения отдельных блоков пород по надвигам и пологим взбросам являются основной причиной, приводящей к обрушению склонов с образованием катастрофических обвалов и лавинообразных потоков (ЛОП). Выявлена причина иррегулярности обвалов в пределах единого обвального склона, заключающаяся в поэтапном обрушении отдельных неустойчивых блоков.

Общая деградация оледенения и многолетнемерзлых пород в результате глобального потепления климата – фактор, приводящий к ускорению разрушения оттаявших частей склонов, увеличению количества опасных геологических процессов и их масштабов.

Катастрофические лавинообразные потоки, возникают при ледово-каменных обвалах больших (10^6 м^3 и более) объемов. Их прохождение приводит к изменениям морфологии придонной части долин, по которым, на основе сопоставления ряда критериев и признаков, можно определить основные параметры прошлых катастроф.

Определение генезиса катастрофических ледово-каменных обвалов и признаков их прохождения позволило построить научно обоснованную систему их мониторинга. При этом:

- определены скорости и энергии движения, как собственно обвала, так и отдельных фаз лавинообразного потока;
- детально изучен петрографический и минеральный состав обломочного материала ЛОП и гляциального селя, в результате чего установлен источник каменного материала обвальных масс;
- получена зависимость для определения минимальной толщины льда, при которой может произойти саморазрушение ледового тела на горном склоне.

Основные результаты исследований опубликованы в следующих работах соискателя:

1. Динамика движения масс ледово-каменного обвала в верховьях р. Геналдон (Республика Северная Осетия – Алания) 20 сентября 2002 года. Васьков И.М. с соавторами: Долгов Г.А., Музаев И.Д., Пикалюк Г.В. Вопросы инженерной и экологической геологии. МОИП, МГУ, 2004, с. 73-87.
2. Возможный механизм обвала и динамика движения ледово-каменных масс в верховьях р. Геналдон (на Центральном Кавказе в сентябре 2002 года). Васьков И.М. Вестник Владикавказского научного центра №2, том 4, 2004, с. 34-45.
3. Оценка физических параметров каменной части Геналдонского обвала. Васьков И.М. с соавторами: Калов Р.Х., Кумукова О.А., Хаджиев М.М.

- Тезисы Всероссийской конференции по селям 26-28 октября 2005 г. ВГИ, Нальчик, 2005, с. 15-16.
4. К вопросу о составе грязекаменной части Геналдонского завала. Васьков И.М. с соавторами: Калов Р.Х., Кумукова О.А., Хаджиев М.М. Труды Всероссийской конференции по селям 26-28 октября 2005 г. URSS Москва. Стр. 191-201.
 5. Параметрические характеристики катастрофического обвала в долине ледника Колка. Васьков И.М. Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН №1(13), 2005, Нальчик, с. 73-80.
 6. Возможные признаки и критерии образования катастрофических обвалов. Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах, доклады международной конференции, Владикавказ-Москва, 23-26 июня 2004 г. Васьков И.М. «Олимп», Владикавказ, 2006, с. 80-91.
 7. Периодические селевые выбросы по долине р. Фастаг и их связь с современной тектоникой. Васьков И.М. Вестник Владикавказского научного центра №1, том 6, 2006, с. 28-32.
 8. К вопросу о признаках и возможности прогнозирования природных катастроф типа Геналдонской в Горной Осетии. Васьков И.М. в соавторстве Гончаров В.И. Труды Северо-Кавказского горно-металлургического института (ГТУ), Владикавказ, 2006, с. 239-254.
 9. О возможности быстрого разрушения ледников на горных склонах. Васьков И.М. в соавторстве Гагкаев М.А. Вестник Владикавказского научного центра №3, том 6, 2006, с. 35-37.
 10. Некоторые особенности отложений раннечетвертичного гляциального селя по реке Гизельдон (Северная Осетия). Васьков И.М. с соавторами: Мотозюк Г.К., Турлов И.С. Материалы VI международной конференции 20-30 мая 2007 г. «Инновационные технологии для устойчивого развития горных территорий», Владикавказ, 2007, с. 214-215.
 11. Признаки проявления и возможности прогнозирования природных катастроф в горных районах (на примере Геналдонской катастрофы 20.09.2002 г.). Васьков И.М. в соавторстве Гончаров В.И. Труды ЮНЦ РАН, Т. III, Биоразнообразие и трансформация горных экосистем Кавказа. Из-во ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, 2007, с. 11-28.
 12. Геологические и морфологические особенности строения долин – генераторов катастрофических ледово-каменных обвалов в Казбек-Джигарайском горном узле, Северный Кавказ. Васьков И.М. Бюллетень МОИП, Отдел геологии, 2008, Т. 83, вып. 2, с 75-84.
 13. Последствия Геналдонской катастрофы 20 сентября 2002 г. – вчера, сегодня, завтра. Труды международной научно-практической конференции, Владикавказ, 20-22 сентября 2007 г. «Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа» Васьков И.М., с соавторами: Турлов С.А., Валиев А.Л. Владикавказ, 2008, с. 122 - 144.

Подписано в печать 22.06.09. Формат 60x84¹/₁₆. Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Усл.п.л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 208
Отпечатано в отделе оперативной полиграфии СКГМИ (ГТУ). Издательство «Терек».
362021, Владикавказ, ул. Николаева, 44.