

О соотношении проявлений землетрясений, вулканизма и катастрофических пульсаций ледников Северной Осетии в голоцене

Е.А. Рогожин¹, А.Г. Гурбанов², А.В. Мараханов³, А.Н. Овсяченко⁴,
А.В. Спиридонов⁵, Е.Е. Бурканов⁶

Получены сведения о древних, не известных ранее сильных землетрясениях, произошедших в голоцене на Центральном Кавказе, в пределах горной части республики Северная Осетия-Алания. Радиоуглеродные датировки палеосейсмодислокаций, древних ледово-каменных лавин и определение возраста продуктов древних извержений в Казбекском вулканическом центре показывают, что в последние 10 тысяч лет произошло семь сильных землетрясений с магнитудой 6,5–7,0, одно извержение вулкана Казбек и несколько катастрофических сходов ледников в долины рек Геналдон, Гизельдон и Мидаграбиндон. Период повторения сильнейших сейсмических событий составляет 500–1000 лет. Наблюдается соответствие во времени между периодами сейсмической активизации и катастрофическими сходами ледово-каменных лавин. Вулканическое извержение, произошедшее около 6 000 лет назад, согласно результатам радиоуглеродного датирования, соответствует во времени нескольким геологическим проявлениям сильного древнего землетрясения. Найдены также следы катастрофического схода ледника в долину р. Геналдон примерно в это же время.

ВВЕДЕНИЕ

Природные катастрофы на густо заселенной, проблемной с национальной и социальной точек зрения территории Северного Кавказа чреваты серьезными экологическими, политическими и экономическими последствиями. Поэтому изучение причин возникновения сильных землетрясений, извержений вулканов и сопутствующих экзогенных катастрофических явлений здесь представляется актуальной научной задачей. В последние десятилетия XX века Кавказский регион подвергся целой серии сильнейших землетрясений. Наблюдается его явная сейсмическая активизация. Большинство очагов сильных толчков (Чалдыранского 1976 г., Параванского 1986 г., Спитакского 1988 г., Рачинского 1991 г., Барисахского 1992 г.) сконцентрировалось в пределах крупнейшей геологической структуры, пересекающей Кавказский регион в меридиональном направлении, – в Транскавказском поперечном поднятии, коллизионной структуре типа континент-континент. 20 сентября 2002 г. произош-

ла Кармадонская ледниковая катастрофа – природная драма планетарного масштаба.

Центры новейшего вулканизма Кавказской подвижной области также тяготеют к Транскавказскому поперечному поднятию. Проявлявшие вулканическую активность в позднечетвертичное время вулканы Арарат, Арагац, Казбек, Эльбрус и др. приурочены к этой поперечной относительно всей складчатой области зоне. В центральном секторе Северного Кавказа в позднем плейстоцене и голоцене отмечались неоднократные извержения в Эльбрусском и Казбекском вулканических центрах [1; 9; 7]. Пик магматической активности Казбекского вулканического центра приходится на 280–180 тыс. лет назад, следующий всплеск произошел около 50 тыс. лет назад, а последние проявления вулканической активности датируются около 10 000 [5] и 6 000 лет тому назад [7]. При последнем извержении лавовый поток побочного вулкана Малый Ткаршети спустился в долину р. Терек, образовав временную подпруду. В результате прибрежный лес был погребен под

¹ Е.А. Рогожин – д.г.-м.н., ИФЗ РАН.

² А.Г. Гурбанов – к.г.-м.н., с.н.с. ИГЕМ РАН.

³ А.В. Мараханов – н.с. ИФЗ РАН.

⁴ А.Н. Овсяченко – н.с. ИФЗ РАН.

⁵ А.В. Спиридонов – н.с. ИФЗ РАН.

⁶ Е.Е. Бурканов – н.с. ИФЗ РАН.

мощными озерными отложениями. Радиоуглеродный возраст ископаемой древесины, определенный независимыми исследователями позволил определить временной интервал этого события – 5 950–5 920±180 лет назад [2; 19].

Таким образом, ледники Казбек-Джимарайского ледникового массива расположены в вулканической области, в которой последние всплески магматической активности, с геологической точки зрения, произошли совсем недавно. В прошлом ледово-каменные массы ледника Колка неоднократно проникали в долину р. Геналдон: в 1834 (1835), 1902 и 1969 гг. [8; 6]. При этом подвижки 1834 и 1902 гг. по своему размаху были близки Кармадонской катастрофе 2002 г. Есть основания полагать, что эти события были связаны с проявлениями эндогенной активности в окрестностях вулкана Казбек [3]. Но вопрос о роли вулканической и сейсмической активности и об их соотношении с катастрофическими проявлениями ледниковых процессов остается открытым в силу недостаточной изученности, прежде всего сейсмического режима этого региона.

Оценка сейсмической опасности для Кавказского региона, проведенная на базе кластерного анализа комплекса геолого-геофизических и сейсмологических данных [13], показала, что в горной части Северной Осетии возможны землетрясения с прогнозируемой максимальной магнитудой 6,5–7,1 [15]. Потенциальные очаги возможных землетрясений (ПОЗ) увязываются с Владикавказской флексурно-разрывной зоной, Адайком-Казбекским разломом, приуроченным к зоне так называемого Главного надвига Большого Кавказа, и Геналдонским меридиональным разрывным нарушением, выделенным в процессе полевых работ 2003 г. Эти ПОЗ за инструментальный и исторический периоды наблюдений проявили себя довольно вяло. В пределах Владикавказской флексурно-разрывной зоны известны лишь два значительных землетрясения: 14.01.1915 г. ($M = 5,4$; $h = 19$ км) и 10.02.1929 г. ($M = 5,3$; $h = 17$ км). Оба события произошли в южной части этой крупной структуры и приурочены к Садонско-Верхнеурухской шовно-депресссионной зоне, в пределах которой выделен ПОЗ с $M_{\text{макс}} = 7,0$. Сведения о землетрясениях с магнитудой более 5 для других ПОЗ отсутствуют. В то же время собранные авторами статьи палеосейсмогеологические материалы говорят о том, что в прошлом здесь, по-видимому, имели место сильнейшие землетрясения. К этому же выводу пришли и авторы, использовавшие материалы дешифрирования крупномасштабных аэрофотоснимков [11]. В силу сказанного представляет-

ся актуальным исследование соотношения сейсмических, обвально-ледниковых и вулканических проявлений в этом активном с различных позиций узле.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В силу актуальности означенной проблемы были организованы полевые исследования, задачей которых явилось геолого-геоморфологическое изучение горной части Северной Осетии с целью поисков следов древних, неизвестных сильных землетрясений – палеосейсмодислокаций [17]. Существование палеосейсмодислокаций сильных землетрясений прошлого на Большом Кавказе безусловно доказано разными авторами в других районах: на северо-западном Кавказе [20], в Приэльбрусье [1], на западном Кавказе и в Сванетии [18], в Горном Дагестане и Северной Осетии [10; 11]. Поэтому поиски и изучение поверхностных нарушений, оставшихся от древних землетрясений, на Центральном Кавказе представлялись перспективными. При этом авторы настоящей статьи планировали изучение как первичных (сейсмотектонических), так и вторичных (гравитационных и вибрационных) деформаций. Помимо того, во время полевых исследований было проведено изучение следов древней обвально-ледниковой активности в долинах рек Геналдон и Мидаграбиндон. В процессе изучения всех этих объектов ставилась задача отобрать образцы захороненного материала, содержащего органическое вещество, пригодное для получения сведений о времени возникновения сейсмодислокаций, а следовательно, и для определения времени породивших их землетрясений. Датирование таких образцов радиоуглеродным методом (C^{14}) выполнялось в лаборатории Института географии РАН группой О.А. Чичаговой. Сопоставление многочисленных результатов определения возраста сейсмодислокаций разного генезиса делает реконструкции датировок возникновения древних землетрясений более надежными по сравнению с датировками отдельных типов дислокаций. Полученные возрастные оценки позволили сопоставить периоды возникновения сильных землетрясений с возрастом древних ледово-каменных лавин и уже известными периодами вулканических извержений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевое изучение следов сильных землетрясений доисторического прошлого на северной периферии Казбекского вулканического центра, в бассейнах рек Геналдон, Гизельдон и Фиагдон позволило выявить разновозрастные палеосейсмодисло-

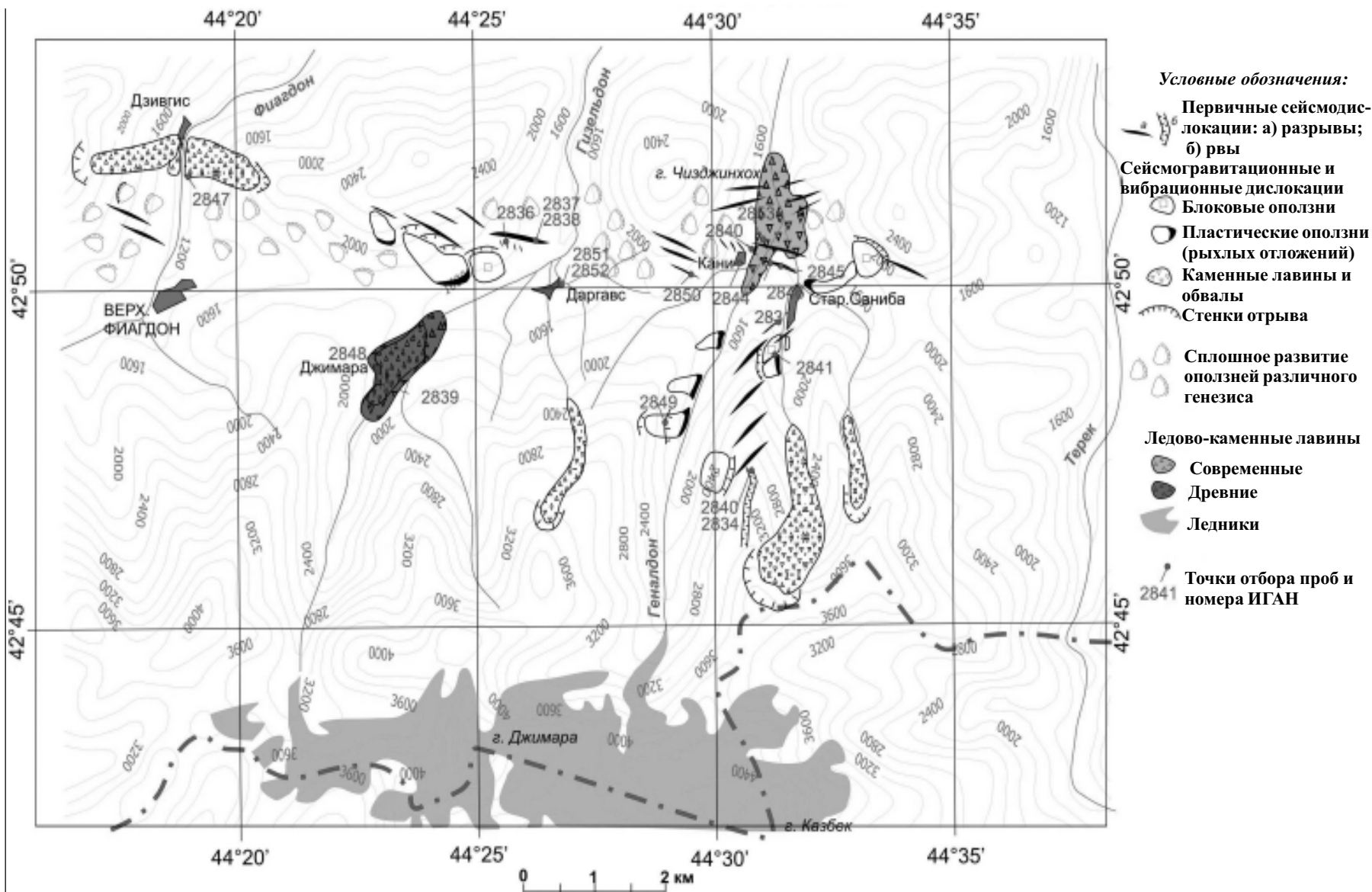


Рис. 1. Палеосейсмодислокации изученной горной части Северной Осетии.

кации как первичного, сейсмотектонического, так и вторичного, сейсмогравитационного и вибрационного генезиса (рис. 1).

К первичным дислокациям, т.е. к следам выхода очага землетрясения на поверхность, относятся эшелонированные системы палеосейсморазрывов меридиональной и субширотной ориентировки с различной амплитудой смещений (1–10 м). Система сейсморазрывов субширотной ориентировки увязывается с восточным продолжением Нузальского взбросо-надвига, который был выделен в качестве сейсмоактивного дизъюнктива в более западных частях Кавказа в долине реки Ардон [11]. Этот разлом образует южную, Садонскую ветвь Владикавказской флексуно-разрывной зоны и ограничивает с юга куэстовую гряду Скалистого хребта.

В коренных породах – алевролитах и глинистых сланцах ранне-среднеюрского возраста разлом выражен мощными зонами ожелезнения, с медной минерализацией, окварцевания и дробления. На поверхности с зоной разлома связаны многочисленные, характерные для эпицентральных зон современных сильных землетрясений микроформы рельефа, представленные уступами и кулисообразными системами линейных ложбин и валов вспучивания. Ложбины сопровождаются цепочками родников и обильной, густой травянистой растительностью, контрастирующей с соседними склоновыми участками альпийских лугов. В покровном чехле четвертичных отложений с этими ложбинами связаны клиновидные тела и узкие линзы черной, богатой гумусом, палеопочвы, имеющие аномально большую мощность (около 1 м и более) при ширине 1,5–2,5 м. Древняя палеопочва обычно перекрывается более молодым линзовидным телом палеопочвы, не столь богатой гумусом. Мощность этой палеопочвы, имеющей темно-бурый цвет, составляет 0,5 м при ширине линзы 3–3,5 м. Сверху оба линзовидных узких тела палеопочвы перекрываются либо делювиальными отложениями, либо современной почвой. Линзы палеопочв прослеживаются на всем изученном участке бассейнов рек Гизельдон и Геналдон на большое расстояние и часто деформированы более поздними импульсными подвижками в зоне разлома.

Ложбины, квалифицируемые как сейсмотектонические разрывы, имеют простираение $310\text{--}340^\circ$ при общей ориентировке разломной зоны в субширотном направлении. Это говорит о правосторонней сдвиговой компоненте, присущей зоне Нузальского разлома, на изученном участке. Существование узких клиньев и линз палеопочв, его сопровождающих, может свидетельствовать в пользу древних актов сей-

смических смещений сдвигового характера в зоне разлома. В эти моменты возникала система эшелонированных зияющих трещин отрыва, которые заполнялись окружающей почвой. Из этих трещин отобраны образцы палеопочв на радиоуглеродное датирование, которые показали возраст соответственно $6\,730\pm 40$, $6\,190\pm 40$, $5\,370\pm 60$, $5\,220\pm 30$ и $3\,390\pm 80$ лет (образцы ИГАН 2 840, ИГАН 2 850, ИГАН 2 837, ИГАН 2 844 и ИГАН 2 838).

Очевидно, сдвиговые сейсмогенные смещения помимо образования открытых трещин растяжения сопровождалось возникновением сопряженных с ними структур сжатия – валов вспучивания. Эшелонированная система таких валов была закартирована в зоне разлома, на левом борту р. Гизельдон, напротив с. Даргавс. При сжатии происходило надвигание и сдвигание рыхлого четвертичного чехла. Погребенная при этих движениях палеопочва дала возраст $5\,890\pm 60$ лет (ИГАН 2 836).

Вертикальная составляющая смещений в зоне разлома особенно четко проявилась в образовании взбросового уступа на водоразделе рек Геналдон – Кауридон, напротив с. Кани (рис. 2). Высота усту-

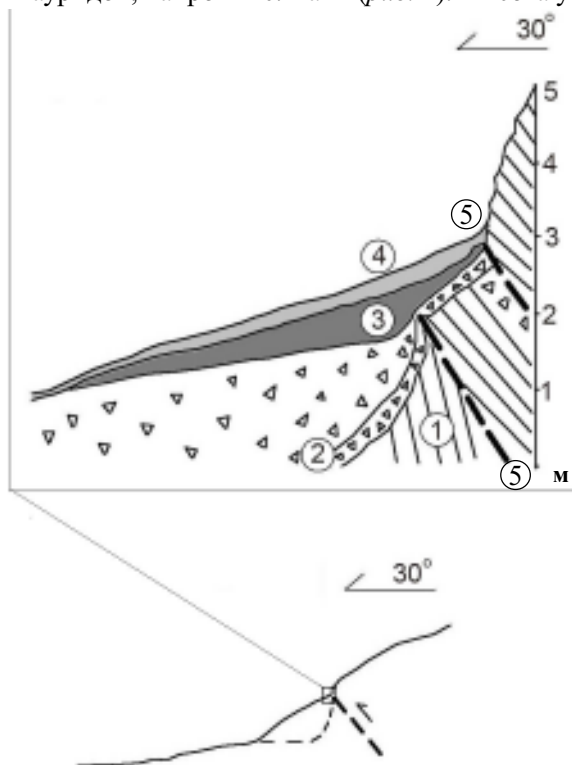


Рис. 2. Стрoение взбросового уступа на водоразделе рек Геналдон и Кауридон.

1 – коренные породы (среднеюрские сланцы); 2 – коллювиально-делювиальный материал (щебень, древесина); 3 – черная погребенная палеопочва; 4 – бурая палеопочва, у поверхности переходящая в тонкую (10 см) современную почву; 5 – линии сместителей и тектоническая брекчия.

па составляет около 2 м. В его подножии серий шурфов вскрыты ожелезненные и передробленные коренные сланцы и кальцитовые жилы. Выше лежат дресвяно-щебнистые отложения коллювиального клина, подошва которых в нескольких метрах севернее уступа круто уходит вниз.

Строение разреза, слагающего коллювиальный клин, неоднородно. В нем отмечаются прослои различного по степени сортировки, окатанности и содержанию грубообломочной фракции материала. Этот грубообломочный материал, вероятно, ссыпался с поднятого блока, сразу после сейсмоструктурной подвижки, обновившей взбросовый уступ, и захоронил горизонт палеопочвы, радиуглеродный возраст которой составляет $7\,230 \pm 50$ лет (ИГАН 2 846). У подножия эскарпа, на дресвяно-щебнистых отложениях, залегает горизонт преотложенной палеопочвы, смещенной с поднятого блока при последнем обновлении взброса. Возраст этой палеопочвы 400 ± 30 лет (ИГАН 2 845). Выше лежит бурая палеопочва, кверху переходящая в современный почвенный слой.

Внутреннее строение сейсморазрыва особенно ярко демонстрируется зарисовкой стенки зачистки, пройденной в с. Кани (рис. 3). Здесь отчетливо видны следы нескольких сейсмоструктурных смещений, при которых разрывы проникли в отложения рыхлого покрова четвертичных отложений. Неоднократные катастрофические землетрясения привели здесь к интенсивной тектонической переработке поверхностного чехла. Обломки пород передроблены, часто вплоть до мелкой крошки, и закономерно расположены в соответствии с ориентировкой сместителей. Зеркала и борозды скольжения указывают на правостороннюю взбросо-сдвиговую кинематику смещений.

В пространстве между обломками затянута многочисленная изогнутые тонкие нити и линзы суглинков и палеопочвы. Сами обломки покрыты налетом белого известковистого порошка. В нижней части расчистки вскрыты грибообразные тела суглинков, разжиженные в силу своей пластичности и протрудированные в обломочную массу. В рельефе описанной сейсмоструктурной структуре соответствует вытянутый в плане вал, похожий на описанные выше валы вспучивания.

Система палеосейсморазрывов меридиональной ориентировки обнаружена и закартирована на гребне хребта между вершинами Реком и Каманаихох. В верхней части хребта, у вершины Каманаихох наблюдается сейсмогенный ров, представляющий собой систему крупных расщелиний осевой части хребта меридионального простирания, прослеженную на протяжении 2 км. К южной части этой структуры приурочена зона отрыва грандиозной древней каменной лавины, сошедшей в долину р. Кауридон. В 1 км севернее вершины Каманаихох в бессточной ложбине, оперяющей основной сейсмогенный ров, взята проба палеопочвы, возраст которой $4\,690 \pm 80$ лет (ИГАН 2 835). Эта датировка, по-видимому, отражает либо время возникновения рва и, соответственно, сейсмического события, его породившего, либо время одной из сейсмических подвижек в зоне этого нарушения. В северной своей части система нарушений представлена многочисленными, непротяженными рвами северо-восточной ориентировки, образующими эшелонированную систему меридионального направления.

Одно из нарушений этой системы изучено у южной окраины села Старая Саниба. Этот разрыв

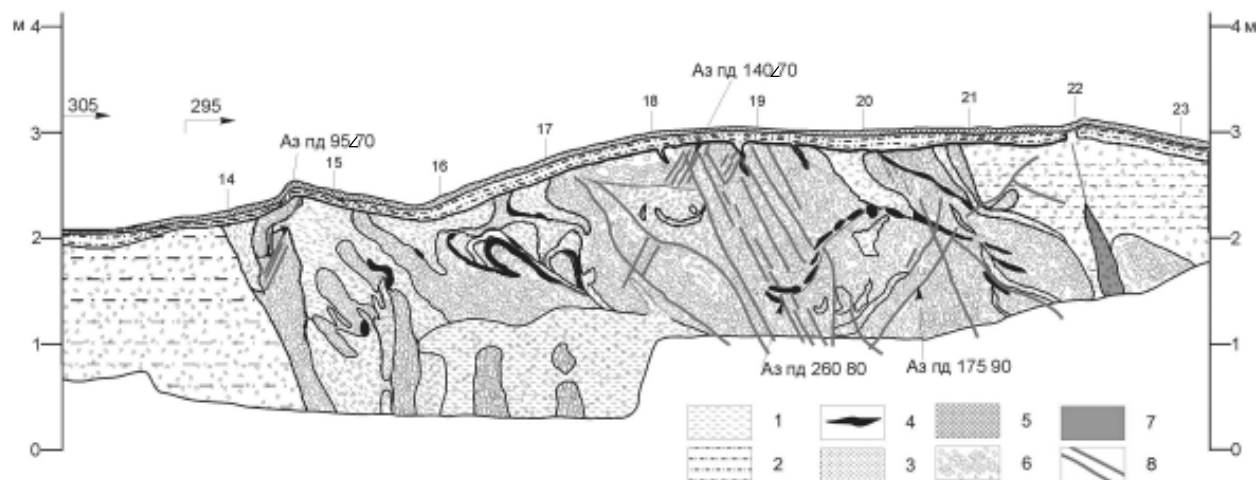


Рис. 3. Зарисовка стенки зачистки в с. Кани, демонстрирующая внутреннее строение сейсморазрыва. 1-3 четвертичные отложения: 1 – глины; 2 – суглинки; 3 – супеси; 4 – линзы палеопочв; 5 – современный почвенный слой; 6 – обломочный материал; 7 – зоны ожелезнения; 8 – линии сместителей.

выражен прямолинейной ложбиной на обоих бортах долины р. Кауридон. К ложбине приурочена густая, обильная растительность и родники. В самом днище долины в зоне разлома обнажен мощный (около 1 м) горизонт палеопочвы, погребенной под грубообломочным коллювием. На отдельных участках наблюдаются протрузионные, косейсмические внедрения палеопочвы в вышележащую коллювиальную толщу. Очевидно, что захоронение древнего почвенного горизонта произошло после сейсмического сдвигового смещения, в образовавшейся открытой трещине отрыва. Радиоуглеродное датирование палеопочвы дало возраст $8\ 570 \pm 50$ лет (ИГАН 2 831).

К палеосейсмодислокациям вторичного, гравитационного типа относятся многочисленные оползни рыхлых склоновых отложений, блок-оползни коренных пород, обнаруженные повсеместно в подножии южного склона Скалистого хребта и в долинах рек Геналдон и Кауридон. Как сейсмогравитационные дислокации квалифицируются тела древних обвалов горных масс и каменных лавин. Крупные обвалы и каменные лавины часто вызывали образование подпрудных озер, которые также с определенной долей условности можно отнести к разряду вторичных сейсмодислокаций. Сейсмодислокациями вторичного типа и вибрационного генезиса являются нептунические дайки и диапиры в рыхлых четвертичных отложениях. В случае обнаружения древних погребенных почв, пригодных для радиоуглеродного (C^{14}) датирования, отбирались образцы для определения возраста ряда вторичных палеосейсмодислокаций.

Наиболее крупные из сейсмогравитационных дислокаций в прошлом полностью перекрывали долины рек Фиагдон, Гизельдон и Кауридон. При этом возникли и существовали некоторое время запрудные озера. Впоследствии сейсмогенные природные дамбы были прорваны течением рек, а озера спущены.

Блок-оползни на южном склоне Скалистого хребта возникли в древности в условиях одноактной импульсной подвижки большой интенсивности и в дальнейшем уже не смещались. Они как бы повисли на склонах. Это также свидетельствует в пользу сейсмогенной природы гравитационных нарушений.

В верховьях р. Кауридон обнаружено тело грандиозной каменной лавины длиной более 4,5 км, сложенное несортированным, неокатанным, грубообломочным материалом. Поверхность этого тела имеет сложный, расчлененный холмисто-грядовый рельеф. По характеру поверхности и составу отложений тело лавины четко отличается от моренных образований. Древняя лавина полностью заполняет верховья до-

лины, перекрывая основную зону питания реки Кауридон, при этом река вытекает единым потоком из-под тела лавины. Похожее строение имеют и два других каменно-лавиных тела в верховьях правых притоков р. Кауридон и Гизельдон (рис. 1).

Зона отрыва каменной лавины на левом борту долины хорошо выделяется на снимках, сделанных с вертолета, и имеет характерную раковистую форму. Она находится на продолжении первичной сеймотектонической дислокации, описанной выше, замыкая сейсмогенный ров, пересекающий хребет у вершины Каманай-хох. Таким образом, образование каменной лавины связано с сейсмической подвижкой в зоне разлома, к которому приурочены дислокации. Кроме того, если в результате подвижки в привершинной части водораздела один фрагмент восточного склона обрушился в долину реки Кауридон, в виде грандиозной каменной лавины, то **другой фрагмент склона в результате сотрясения пришел в неустойчивое положение, и весьма вероятно его обрушение при следующем сейсмическом событии достаточной силы. Этот вывод имеет серьезное практическое значение, так как в долине Кауридона в 2,5 км ниже фронтальной части древней каменной лавины расположена деревня Нижняя Саниба. Неустойчивый участок склона водораздела по отношению к деревне расположен ближе, чем зона отрыва древней лавины. Это позволяет предположить, что сход новой каменной лавины представляет серьезную опасность для деревни.**

В процессе исследований обнаружено несколько участков с развитием разрезов озерных отложений, залегающих на аллювиальных террасах в долинах рек Фиагдон, Гизельдон и Кауридон. По-видимому, эти озера имели подпрудное происхождение и сформировались в результате возникновения древних обвалов и оползней, перегораживавших русло рек. Осадки, накопившиеся в этих озерах, сохранились на поверхности аллювиальных террас. Часто эти озерные отложения перекрывают горизонты древних почв. Датирование таких палеопочв помогает установить возраст древних подпрудных озер, а следовательно, и время возникновения породивших их обвалов. Образцы палеопочв, отобранные из оснований двух озерных горизонтов в долине Гизельдона, дали возраст $8\ 520 \pm 60$ лет и $7\ 410 \pm 60$ лет (ИГАН 2 851 и ИГАН 2 852).

В долине р. Фиагдон, южнее с. Дзивгис, река была подпружена двумя каменными обвалами, обрушившимися со склонов Скалистого хребта. Обвалы сошли с обоих бортов Фиагдона и сомкнулись

в долине. Такие соотношения двух обвалов, сошедших одновременно навстречу друг другу, свидетельствуют в пользу их сейсмогенного происхождения. Разрез аллювиально-озерных отложений, изученных непосредственно выше по течению реки от тел упомянутых обвалов, включает песчано-глинисто-гравийные осадки двух древних озер, разделенных нормальным горным аллювием. Из подножия верхнего (по разрезу) озерного горизонта отобран образец погребенной палеопочвы. Радиоуглеродная датировка образца – $7\,700 \pm 40$ лет (ИГАН 2 847).

Следы еще одного подпрудного озера были встречены в долине р. Кауридон. Здесь озеро было образовано крупным блок-оползнем, сошедшим с левого борта долины. Следы подпрудного озера представляют собой гравийно-глинистые осадки с отчетливо выраженной горизонтальной слоистостью. Эти гравийные отложения захоронили слой палеопочвы, радиоуглеродный возраст которой составляет $5\,780 \pm 120$ лет (ИГАН 2 841).

Кроме описанных палеосейсмодислокаций, в бассейнах рек Геналдон и Гизельдон обнаружены следы древних ледово-каменных лавин (обвалов) и связанных с ними подпрудных озер. Так, в районе с. Старая Саниба обнаружен разрез озерных отложений, соответствующих, по крайней мере, двум древним озерам. На стрелке долин рек Геналдон и Кауридон изучен разрез перемежающихся слоев аллювиальных галечников и крупноглыбовых осадков древних каменных или ледово-каменных лавин (обвалов). Таких лавин в Кармадонской котловине, по видимому, насчитывается 5–6. Причем имели место лавины, сложенные не только кристаллическим материалом из области зоны Главного хребта, но и местными глинисто-алевролитовыми обломками.

Выявлены осадки, накопившиеся в запрудном озере в Кармадонской котловине, существовавшем в прошлом. Из палеопочвы, захороненной лимническими отложениями, отобран образец, радиоуглеродный возраст которого $5\,890 \pm 40$ лет (ИГАН 2 853). Эта датировка близка к возрасту образования валов вспучивания, ко времени образования подпрудного озера в долине Кауридона и к моменту формирования лавового потока в долине Терека [2; 19].

В среднем течении р. Мидаграбиндон на левом и правом борту долины обнаружена серия валов, образованная, предположительно, несколькими разновозрастными каменно-ледовыми лавинами. Строение отложений ледово-каменных лавин чрезвычайно похоже на строение моренных отложений, что естественно, учитывая общее для этих двух генетических типов отложений происхождение. В то же

время существует принципиальное различие, заключающееся в быстром катастрофическом переносе огромных ледово-каменных масс на большие расстояния, в случае лавин. Представляется чрезвычайно важным различать эти два типа отложений для корректного выделения ледово-каменных лавин. Для этой цели необходимо различать те черты в строении отложений лавин, которые обусловлены именно катастрофическим переносом и которые только и отличают их от морен.

Таковыми чертами являются:

- характерная беспорядочно-волнистая поверхность тел ледово-каменных лавин;
- наличие забросов крупноглыбового материала высоко на склоны долин, иногда сопровождающиеся перебросами через перевалы и другие положительные формы рельефа; оббитый характер поверхности обломков и глыб;
- резкие незакономерные фациальные переходы внутри отложений от крупных валунов «моренного» вида до горного аллювия и озерных отложений (образование подобных сочетаний отложений различного происхождения наблюдается в настоящий момент в долине реки Геналдон при быстром таянии ледово-каменной лавины, сошедшей в сентябре 2002);
- наличие остатков деревьев (захваченных в процессе быстрого перемещения по долине) в отложениях, что указывает на катастрофический характер их образования, тем более, что трудно предположить наличие большого количества растительных остатков в отложениях морен, образующихся преимущественно в нивальной зоне.

Все вышеописанные черты характерны для обнаруженных валов в долине реки Мидаграбиндон. Кроме этого, долина реки Мидаграбиндон выше тыльной части последнего (самого молодого) вала имеет чашеобразную форму с плоским дном и крутыми бортами и характеризуется практически полным отсутствием крупноглыбового обломочного материала, большое количество которого наблюдается в зоне развития валов. Еще выше по течению, в суженной части долины, в бортах хорошо видны борозды и полки, образовавшиеся за счет выпахивания последней лавины, а также срезанные ею древние конусы выноса.

Выше по долине реки от этого тела сохранились остатки озерных отложений. Видимо, тело обвально-лавиного материала запрудило реку, и в прошлом здесь существовало подпрудное озеро. Из озерных отложений на второй аллювиальной террасе был отобран образец захороненной палеопочвы. Ее возраст составил $4\,880 \pm 50$ лет (ИГАН 2 839).

Полученная датировка, по-видимому, отражает время образования подпрудного озера, а следовательно, и время схода последней лавины. Обращает на себя внимание близость этой датировки к датировке сейсмогенного рва у вершины Каманаихох ($4\,690 \pm 80$ лет). Логично предположить, что обе описанные структуры образовались в одно время и являются результатом одного и того же сейсмического события.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как видно из приведенного материала, разные виды дислокаций рельефа (активные сейморазрывы, обвалы, оползни, каменные лавины и подпрудные озера) возникали неоднократно в короткие интервалы времени, иногда практически синхронно в разных частях данной горной зоны в процессе ее голоценового развития. По-видимому, короткие периоды формирования нарушений разреза молодых отложений и рельефа довольно уверенно можно отождествлять с моментами сильных землетрясений.

Сильные сейсмические события, по большей части, имели независимый характер, но в одном случае, видимо, сопровождали извержение вулкана (около 6 000 лет назад).

Такие периоды сейсмической активизации, согласно вышеприведенным палеосейсмогеологическим и другим данным, намечаются примерно 8 500, 7 300, 5 900, 5 200, 4 700, 3 400 и 300–400 лет тому назад (рис. 4).

Имеются исторические сведения о сильном землетрясении на северном склоне Большого Кавказа, происшедшем в 1688 году ± 1 год, то есть более 300 лет тому назад [12]. Это Терское землетрясение, согласно данным каталога, характеризуется координатами $43,7^\circ \pm 1^\circ$ с.ш. и $44,7^\circ \pm 1^\circ$ в.д., магнитудой $5,3 \pm 0,7$ и интенсивностью 7 ± 1 баллов. При землетрясении в Терской области наблюдалось разрушение строений. Это землетрясение, очевидно, породило молодые сейсмодислокации в долинах рек Баксан и Адырсу, в Приэльбрусье [1]. В то же время приведенные в каталоге сведения о положении эпицентральной области данной сейсмической катастрофы и магнитуде, конечно, крайне приближены. В реальности очаг землетрясения мог располагаться в Приэльбрусье и протягиваться в восток-юго-восточном направлении в район Казбекского вулканического центра, а магнитуда могла превышать 7,0. Дата Терского землетрясения близка к радиоуглеродному возрасту переотложенной палеопочвы, смещенной с поднятого блока при последнем обновлении взбросового уступа в зоне Нузаль-

ского разлома (400 ± 30 лет). При этом амплитуда смещения была незначительной (не более 20 см). Подобная связь деформаций в разломных зонах с сильными землетрясениями, выраженная в возрастании размаха смещений с последующей стабилизацией, при расстояниях в десятки – первые сотни километров от эпицентра землетрясения, была отмечена в ходе деформационных измерений в зонах разломов с помощью деформографов [4].

Сравнение периодов сейсмической активизации, установленных на основании вышеприведенных палеосейсмогеологических данных, с продатированными древними ледово-каменными лавинами (обвалами) и периодами голоценовой вулканической активности Казбекского вулканического центра показывает, что намечается корреляция во времени проявлений этих форм эндогенной и экзогенной активности. Так, вулканическое извержение, произошедшее около 6 000 лет назад, во времени соответствует радиоуглеродному возрасту нескольких проявлений сильного древнего землетрясения и следов катастрофического схода ледника в долину р. Геналдон. Возраст древней ледово-каменной лавины в долине Мидаграбиндона ($4\,880 \pm 50$ лет) близок возрасту палеопочвы, заполнившей зияющую трещину при сейсмотектонической подвижке на гребне хребта у вершины Каманаихох ($4\,690 \pm 80$ лет).

Довольно тесная взаимосвязь между сейсмическими сотрясениями и сходами ледника Колка намечается и при детальном рассмотрении событий не столь далекого прошлого. Так, имеются сведения о землетрясении (Казбекское), зарегистрированном 3 июля 1902 г. с координатами $42,8^\circ \pm 0,5^\circ$ с.ш. и $44,2^\circ \pm 0,5^\circ$ в.д., магнитудой $4,7 \pm 0,7$ и интенсивностью 7 ± 1 баллов [12]. Вероятно, именно это землетрясение спровоцировало подвижку ледника, случившуюся также 3 июля 1902 г. Ледник, превратившись в пульпу из льда, воды и камней, преобразовался в скоростной сель, промчавшийся в считанные минуты по долине, до створа с. Тменикау [8]. То есть, в тот раз он не заполнил Кармадонскую котловину.

Иной сценарий имела следующая подвижка, которая началась 28 сентября 1969 г. Начав активное продвижение фронта 28 сентября, ледник за 6 суток прошел 1 300 м. К началу января 1970 г. он увеличил длину еще на 4 100 м [14]. За два дня до начала подвижки, т.е. 28 сентября 1969 г., в мраморном карьере в долине Мидаграбиндона, был произведен мощный взрыв, породивший сейсмический толчок, зафиксированный зарубежными и отечественными сейсмологами и фигурирующий в Эдинбургском каталоге в качестве землетрясения с магнитудой 5,6. Вполне

вероятно, что это событие в совокупности с другими факторами, в основном экзогенного характера, могло привести к подвижке ледника.

Очевидно, события 2002 г. развивались по подобному сценарию. 29.07.2002 станциями Цей, Кисловодск и Гумбаши зарегистрирован толчок с координатами $42,99^{\circ} \pm 0,5^{\circ}$ с.ш. и $44,31^{\circ} \pm 0,5^{\circ}$ в.д., с магнитудой 3,8 (ISC Bulletin). По свидетельствам жителей сел в долинах рек Гизельдон и Мидаграбиндон, в конце июля 2002 г. ощущался сейсмический толчок. В результате этого события в 1 км к северу от села Ламардон произошло отседание древнего, на тот момент стабилизированного блок-оползня, амплитудой не более 0,5 м. Трещины отседания прослежены нами на расстоянии нескольких сотен метров. Произошли обвалы крупных глыб в долине р. Мидаграбиндон. Среди поврежденных в искусственных объектах отмечены многочисленные мелкие трещины в стенах домов сел, расположенных в Гизельдонской долине, а кое-где – их отседание и крен. Характерно, что сразу после этого, по свидетельству жителей села Верхний Кармадон, резко упал уровень воды в р. Геналдон и оставался крайне низким вплоть до схода ледника Колка 20 сентября 2002 г. При этом исследованиями гляциологов установлено, что спусковым механизмом подвижки ледника стало именно накопившееся в нем огромное количество воды. При этом лед всплыл, и

ледник оторвался от ложа [8]. Вода могла накопиться в результате изменения динамических и термических параметров в теле ледника, после сейсмического толчка. Понятно, что, кроме этого, действовали многие другие факторы, но очевидно, что сейсмический толчок в какой-то степени «подготовил» эту катастрофу. Можно говорить лишь о том, что ход экзогенных процессов (особенно катастрофических) в таких активных с разных позиций районах, как Горная Осетия, в значительной мере обусловлен эндогенными, в том числе сейсмическими процессами.

ВЫВОДЫ

Согласно собранным палеосейсмогеологическим и другим данным сильные землетрясения в северной части Казбек-Джимарайхохского горного узла происходили примерно 8 500, 7 200, 5 900, 5 200, 4 700, 3 400 и 300–400 лет тому назад (рис. 4). То есть, за голоцен мы имеем сведения, по крайней мере, о семи сейсмических событиях. Период повторяемости составляет примерно от 500 до 1500 лет. Магнитуда этих сейсмических событий составила, по-видимому, 6,5–7,0. При этом надо иметь в виду, что какие-то палеоземлетрясения, происходившие за это время, оказываются пропущенными в силу того, что их сейсмодислокации просто не были найдены. По литературным

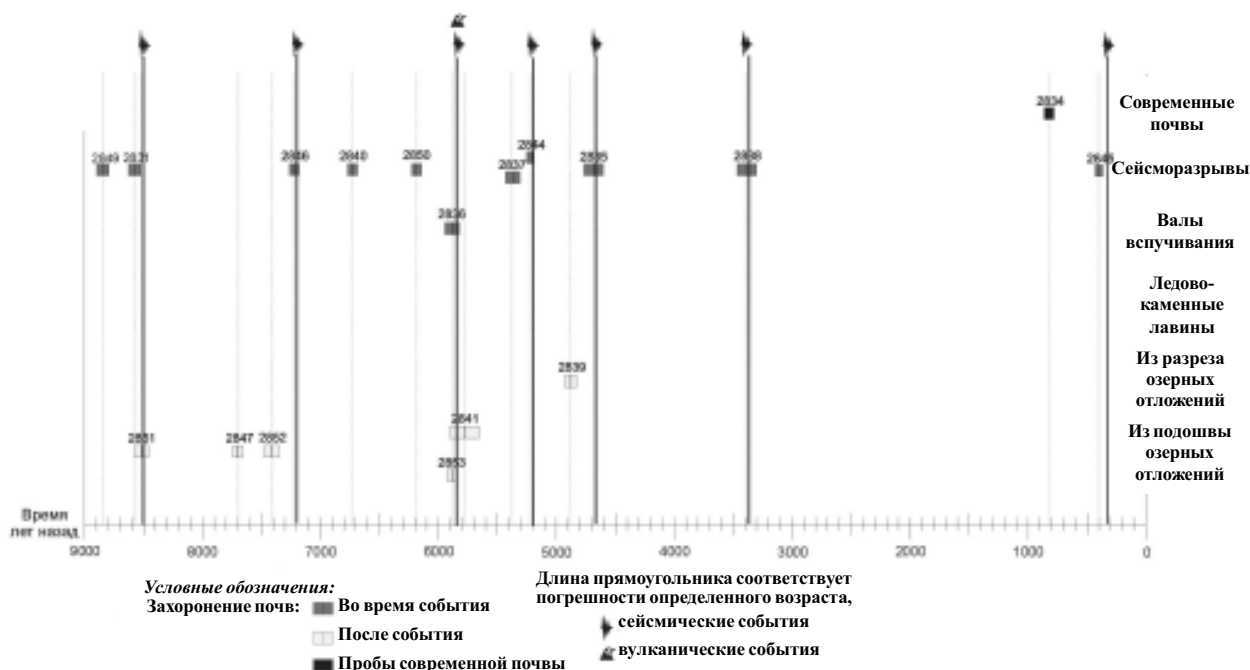


Рис. 4. График проявлений разных типов палеосейсмодислокаций во времени.

1-2 – ^{14}C -датировки радиоуглеродной лаборатории Института географии РАН: 1 – нижняя возрастная граница сейсмического события; 2 – верхняя возрастная граница сейсмического события; 3 – возраст дислокаций, возникших в момент землетрясения; 4 – номера проб на радиоуглеродный анализ; 5 – временные рамки цикла вулканической активности [7; 5]; 6 – момент древнего землетрясения.

данным установлено, что сейсмическое событие, имевшее место около 5 900 лет назад, практически совпадает с последним известным извержением Казбека. Кроме того, и это землетрясение, и некоторые другие древние сейсмические события сопровождалось образованием каменных (или ледово-каменных) лавин. Остатки нескольких таких лавинных тел найдены в изученном регионе и датированы. По-видимому, ледово-каменные лавины, сошедшие с ледника Колка в Геналдонское ущелье в 1834, 1902 и 1969 гг., также были спровоцированы сейсмическими толчками умеренной силы или сейсмическим воздействием взрыва (1969 г.).

Полученные результаты исследований свидетельствуют в пользу очень высокого уровня опасности природных катастроф в горных, южных районах Республики Северная Осетия-Алания. Кроме эндогенных катастрофических явлений здесь регулярно происходят связанные и не связанные с первыми экзогенные опасные процессы. Поэтому данную территорию следует признать зоной повышенной комплексной опасности угрожающих природных явлений.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты №№ 02–05–64946, 04–05–79054, 03–05–64215, 03–05–96744, 03–05–79080) и при финансировании от Президиума РАН (Программа № 13).

Литература

1. Богатилов О.А., Рогожин Е.А., Гурбанов А.Г., Марханов А.В., Спиридонов А.В., Шевченко А.В., Бурканов Е.Е. Древние землетрясения и вулканические извержения в районе Эльбруса // ДАН, 2003. Т.390. №4. С. 511–516.
2. Бурчуладзе А.А., Джанелидзе Ч.Г., Тогоидзе Г.И. Применение радиоуглеродного метода для решения некоторых вопросов палеогеографии плейстоцена и голоцена Грузии // Актуальные вопросы современной геохронологии. – М.: Наука, 1976. С. 238–243.
3. Варданянц Л.А. Геотектоника и геосейсмика Дарьяля как основная причина катастрофических обвалов Девдоракского и Геналдонского ледников Казбекского массива // Известия государственного географического общества. 1932. Т. LXIV, вып. 1. С. 51–60.
4. Гольдин С.В., Дядьков С.В., Селезнев В.С., Шерман С.И. Некоторые результаты исследования в связи со среднесрочным прогнозом на Южно-Байкальском геодинамическом полигоне // Проблемы сейсмологии 3-го тысячелетия. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. С. 11–32.
5. Гуценко И.И. Извержения вулканов мира (каталог). – М.: Недра, 1979. 475 с.
6. Запорожченко Э.В. Проблемы Кармадонского каменно-ледового завала // Строительство и эксплуатация транспортных сооружений в районах развития опасных геологических процессов. – М.: МИИТ, 2003.
7. Катастрофические процессы и их влияние на природную среду // Т.1. Вулканизм. – М.: Изд-во «Регион. общест. организ. ученых по пробл. прикладн. геофиз.», 2002. 435 с.
8. Котляков В.М., Рототаева О.В., Десинов Л.В., Осокин Н.И. Причины и следствия катастрофического выброса пульсирующего ледника Колка в Центральном Кавказе // ДАН, 2003. Т. 389, № 5. С. 688–692.
9. Милановский Е.Е., Короновский Н.В. Орогенный вулканизм и тектоника Альпийского пояса Евразии. – М.: Недра, 1973. 279 с.
10. Никитин М.Ю. Неотектоника Восточного Кавказа // Бюлл. МОИП. Отд. Геол. 1987. Т. 62. №3. С. 21–36.
11. Никитин М.Ю., Никонов А.А., Болотов С.Н., Беляков Г.А. Палеосейсмодислокации в бассейне р. Ардон и их значение для оценки сейсмического потенциала Большого Кавказа // ДАН, 1993. Т. 330. №6. С. 740–744.
12. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Отв. ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин. – М.: Наука, 1977. 535 с.
13. Рейснер Г.И., Иогансон Л.И. Сейсмический потенциал Западной России, других стран СНГ, Балтии // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии, вып.1. – М., 1993. С.186–195.
14. Рототаев К.П., Ходаков В.Г., Кренке А.Н. Исследования пульсирующего ледника Колка. – М.: Наука, 1983. 169 с.
15. Рогожин Е.А. Современная геодинамика и потенциальные очаги землетрясений Кавказского региона. // Современные математические и геологические модели природной среды // Сб. научн. трудов. – М.: Изд. ОИФЗ РАН, 2002. С. 244–254.
16. Рогожин Е.А., Собисевич Л.Е., Нечаев Ю.В. и др. Геодинамика, сеймотектоника и вулканизм Северного Кавказа // Под ред. акад. Н.П. Лаверова. – М.: Изд-во «Регион. общест. организ. ученых по пробл. прикладн. геофиз.», 2001. 338 с.
17. Солоненко В.П. Палеосейсмогеология // Физика Земли, 1973. №9. С.3–16.
18. Хромовских В.С., Солоненко В.П., Семенов Р.М., Шилкин В.М. Палеосейсмология Большого Кавказа. – М.: Наука, 1979. 188 с.
19. Чернышев И.В., Аракелянц М.И., Лебедев В.А., Бубнов С.Н. К-Ar-изотопная систематика и возраст новейшего вулканизма Казбекской вулканической области, Большой Кавказ // ДАН, 1999. Т.367. №6. С. 810–814.
20. Rogozhin E. A., Yunga S. L., Marakhanov A. V., Ushanova E. A., Ovsyuchenko A. N., and Dvoretzskaya N. A., 2002. Seismic and tectonic activity of faults on the south slope of the NW Caucasus // Russian Journal of Earth Sciences, Vol 4, No. 3, June 2002. <http://www.agu.org/WPS/rjes/> или http://eos.wdcb.rssi.ru/rjes/rjes_r00.htm
21. International Seismological Centre (ISC Bulletin:1904 to March 2003): <http://www.isc.ac.uk>
22. Wells D.L., Coppersmith K.J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. Bull. Seis. Soc. Am. V. 84. No. 4. P. 974–1002.