

СЕЙСМИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ ВБЛИЗИ ДРЕМЛЮЩИХ КАВКАЗСКИХ ВУЛКАНОВ ЭЛЬБУРУСА И КАЗБЕКА

И.П. Габсатарова

Геофизическая служба РАН, г. Обнинск (Калужская обл.), ira@gsras.ru

Введение

В центральной части Северного Кавказа расположены уникальные природные парки, объединяющие различные тектонические зоны и прилегающие к вулканическим центрам Эльбруса и Казбека. Повышенный интерес к этим регионам вызван, прежде всего, тем, что здесь расположены, по мнению ряда исследователей, "спящие" молодые вулканы.

Сейсмический потенциал этой территории оценен картой «Общего сейсмического районирования Северной Евразии» (ОСР-97) [12] и характеризуется в основном 8-ми и 9-ти балльными зонами интенсивности сотрясений (на средних грунтах в баллах шкалы MSK-64). Границы этих зон рассчитаны при 10%, 5% и 1% вероятностях превышения расчетной интенсивности в течении 50 лет (периоды сотрясений 500, 1000 и 5000 лет соответственно процентам вероятности).

В ближайшем окружении известны сильные и разрушительные землетрясения. Наиболее значительный ущерб нанесло 8-ми балльное землетрясение 1350 г. (± 100 лет) с $M=5.9$ в Чегемском ущелье, когда под обвалами в горах было погребено несколько селений [7], Казбекское землетрясение 3 июля 1902 г. (Генал-Донский ледник), ощущавшее в г. Они силой в 7 баллов [1] (рис. 1).

Современная сейсмичность

Современная сейсмическая обстановка в зонах вулканических центров характеризуется различными проявлениями слабых сейсмических событий с $K_p=6-8$.

Распределение эпицентров слабых землетрясений, произошедших на исследуемой территории, сопоставлено с сейсмолинеаментами, используемыми в ОСР-2012 [11] (рис. 1). Районы вулканов лежат на линеаментах с $M_{max}=7.0$.

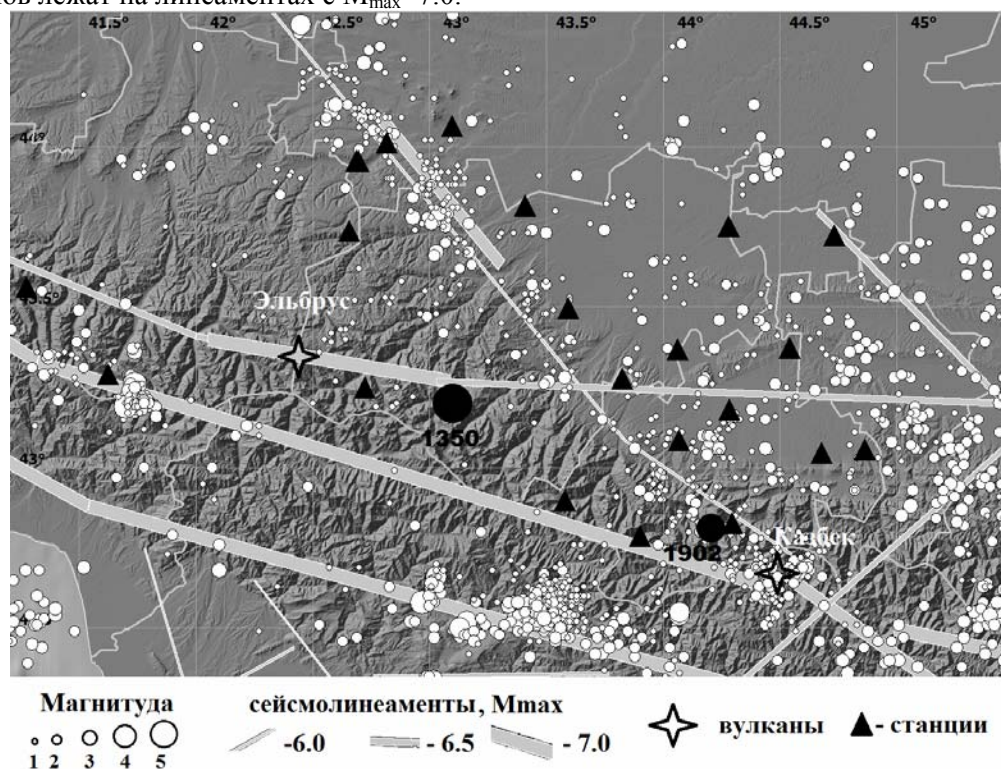


Рис. 1. Положение эпицентров землетрясений центральной части Северного Кавказа в 2011-2013 гг. по данным ГС РАН и Северо-Осетинского филиала ГС РАН на фоне сейсмолинеаментов, построенных в рамках работ по ОСР-2012 [11].

В Эльбрусском вулканическом центре отмечается спокойная обстановка, здесь регистрируются только слабые землетрясения, магнитуда которых не превышает $M=1.5$. Отдельные события близповерхностной природы регистрировались в начале 80-х годов прошлого века в районе Эльбруса, когда были проведены опытные наблюдения низкочастотной аналоговой аппаратурой типа «Земля» [13]. В это время были зарегистрированы события, энергетический класс которых был оценен как $K=5.6-7.3$. Эти события отличались по форме записи и частотному составу от типичных записей локальных событий на Северном Кавказе. Отмечалось, что наблюдаемые события имели более низкочастотный состав колебаний, основная полоса частот – $1-2 \text{ Гц}$. Все они имели подобные по форме записи. Очаги располагались в районе Эльбруса на небольшой глубине, о чем говорило присутствие на записи интенсивной поверхностной волны. Кроме того, отмечались малые амплитуды поперечных волн и нечеткие первые вступления. Подобного рода события регистрировались в районе Эльбруса в 1992–1997 гг., когда на северном склоне Эльбруса на высоте 3600 м над уровнем моря была установлена сейсмическая станция «Эльбрус», входившая в состав радиотелеметрической системы, разработанной В.Н. Мишаткиным. В дальнейшем подобные по форме записи стали регистрироваться сейсмостанцией «Нейтрино», запущенной в эксплуатацию в 2008 г. в штольне Баксанской нейтринной лаборатории [5]. Природа регистрируемых низкочастотных событий пока достоверно не определена и требует продолжения исследований с использованием локальных площадных сейсмических групп, одна из которых уже установлена в штольне Баксанской нейтринной обсерватории. Сейсмической станцией «Нейтрино» регистрируются и другие слабые события, координаты эпицентров которых предположительно относятся к Эльбрусу, но определяются неточно из-за недостаточной чувствительности других станций сети (рис. 2)

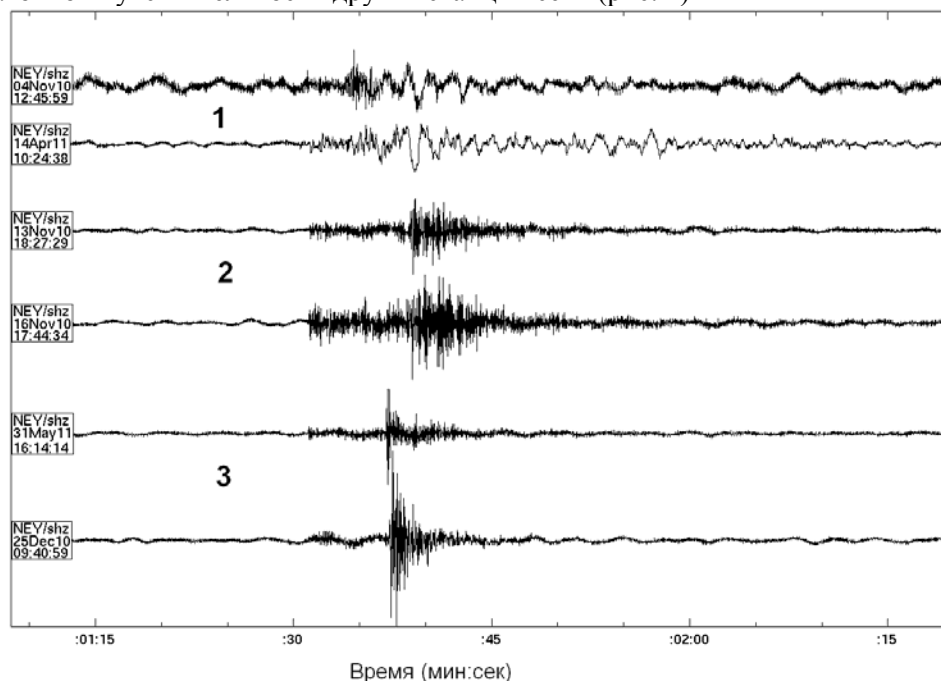


Рис. 2. Типы записей сейсмических событий в пределах Эльбрусского вулканического центра сейсмической станцией «Нейтрино».

Гораздо большее число землетрясений произошло в пределах Казбекской глубинной структуры (403 за 2003 – первую половину 2013 гг.) – или в зоне пересечения ее Большекавказским мантийным флюидоподводящим каналом (МФК), который простирается с юго-запада на северо-восток по общекавказскому направлению через Казбек к Эльбрусу и далее [10]. Отмечается более высокая сейсмическая активность в пределах Казбекского вулканического центра в сравнении с зоной Эльбрусского центра. Кроме того, замечен рост числа регистрируемых вблизи Казбека сейсмических событий в последние 3 года относительно периода 2003–2010 гг. с 28 землетрясений в среднем за год до 70-90 в год. Сейсмическая сеть в этом районе с 2006 года практически не меняется, поэтому замеченный факт увеличения числа землетрясений возле Казбека привлек внимание исследователей. Среди зарегистрированных событий имеются как тектонические землетрясения, так и по виду похожие на близповерхностные.

В 2012 г. среди рекордного числа землетрясений возле Казбека отмечена зависимость от времени года, а именно летом (с апреля по август) число регистрируемых толчков вблизи Казбека

существенно меньше, чем в холодные месяцы года. В связи с этим можно предположить, что часть регистрируемых событий связана с ледовыми сколами. Казахстанскими сейсмологами подобная ситуация замечена в более значительном масштабе на Памире [6]. Среди всех зарегистрированных событий кроме поверхностного характера выделяются и типичные тектонические землетрясения.

Разрушительные процессы в Приэльбрусье и в Приказбекском районе нередко обусловлены селевой деятельностью [10]. Район Тырныауза несколько раз в последнее десятилетие был подвержен катастрофическим сходам селей. Мощнейший сель сошел на город в 2000 г. Первый удар стихия нанесла в ночь с 18 на 19 июля в 23.50, когда по руслу реки Герхажан-Суу со страшным гулом помчалась к городу пятимиллионнотонная грязевая стена. Это событие было записано на станции «Кисловодск», удаленной на расстояние примерно 65 км и проявилось превышением амплитуд шума в 8 минутном интервале в довольно широком частотном диапазоне от 1.8 до 8.6 Гц. Наибольшее превышение амплитудного уровня в спектре на 3 Гц – 13 дБ, на 4.5 Гц – 10 дБ, в полосе 6–8 Гц – 5 дБ. Примечательно, что подобная в спектральном отношении, но более мощно выраженная по амплитуде, волновая картина наблюдалась на записях схода ледника в Кармадонском ущелье Республики Северной – Осетии Алании в сентябре 2002 г. в Приказбекском районе [3].

Несомненно, области с довольно высоким сейсмическим уровнем потенциально возможных магнитуд нуждается в проведении детальных работ по сейсмическому мониторингу и отработки методических приемов получения параметров землетрясений, включая и вопросы распознавания природы зарегистрированных сейсмических событий.

Сейсмическая сеть и ее регистрационные возможности

Современное состояние сейсмической сети ГС РАН на Северном Кавказе позволяет регистрировать без пропусков землетрясения с $M \geq 1.5$ на большей части исследуемой территории, благодаря созданию и развитию сетей Северо-Осетинского филиала и лаборатории мониторинга Кавказских Минеральных Вод ГС РАН. В 2006-2008 гг. эта сеть получила развитие на территории Кабардино- Балкарской Республики, где были установлены две новые станции: «Нальчик» и «Нейтрино» [5]. Эти станции оснащены цифровым 24-разрядным регистрационным оборудованием «UGRA» («Микросейсм», Обнинск), широкополосным сейсмометром СМЗ – ОС в «Нальчике» и короткопериодным СМЗ-КВ на «Нейтрино». Введение в эксплуатацию этих станций позволило существенно расширить регистрационные возможности региональной сейсмической сети в районе Эльбрусского вулканического центра.

В работе [4] получены расчетные значения представительных энергетических классов $K_{P_{\min}}$ на определенных расстояниях, соответствующих дальности регистрации землетрясений сейсмической станций «Нейтрино» (NEY) и «Нальчик» (NCK) исходя из уровня микросейсмического шума на станциях.

Как известно, основным фактором, ограничивающим способность сейсмостанций к обнаружению сейсмических источников и оценке их параметров, являются микросейсмические помехи. Последние вызываются суммарным воздействием множества факторов.

Получены средние значения спектральной амплитуды микросейсмического шума в полосе 2–5 Гц. Уровни шума двух станций в этой полосе различаются по амплитуде почти на два порядка. Средний уровень в полосе 2–5 Гц на станции «Нейтрино» A_n составил $A_n = (0.0003 \pm 0.0001) \mu$, на станции «Нальчик» – $(0.034 \pm 0.008) \mu$.

Расчетные значения $K_{P_{\min}}$ сейсмической станций «Нейтрино» (NEY) составили $K_{P_{\min}} = 3.3, 4.8, 5.9, 6.1, 6.2, 6.8, 7.5, 8.0$ на расстояниях $\Delta = 10, 50, 100, 150, 200, 250, 300$ и 500 км, для станции «Нальчик» (NCK) на этих же расстояниях $K_{P_{\min}}$ в 1.5-2 раза выше.

Для исследования тонкой структуры сейсмичности в вулканических центрах Северного Кавказа необходимо развитие сети с установкой не менее двух ближайших сейсмических станций в пределах каждого центра.

Особенности записей сейсмических событий

В ходе выполненных исследований была замечена особенность на записях локальных и региональных землетрясений станцией «Нейтрино», заключающаяся в том, что вопреки имеющимся представлениям, в P -волне на вертикальной компоненте почти всегда регистрируется сигнал слабее, чем в этот же момент на одной из горизонтальных компонент, соответствующей направлению прихода луча. Вероятно, это объясняется спецификой регистрации сейсмических лучей в штольне на глубине около

2000 м. Этот факт отмечался на записях всех землетрясений с очагами в земной коре, сейсмические волны от которых регистрировались с различных направлений. Записи приводятся к стандартному виду – с максимальными смещениями в Р-волне на вертикальной компоненте, в S-волне на одной из горизонтальных компонент, после процедуры ротации с использованием значений азимута на эпицентр и соответствующего угла выхода луча, в результате которой строятся трансверсальная и радиальная компоненты. Такая процедура трансформирования трехкомпонентной записи может производиться в программе «Geotool» [14].

Кроме того, отмечено, что на записях землетрясений, эпицентры которых находились к западу от сейсмостанции «Нейтрино» (например 2 сентября 2010 г. в $08^h 36^m$, $Az^{NEY}=288^\circ$), значения амплитуд в объемных волнах оказывались ниже, чем у других станций на подобных расстояниях. Соответственно значение энергетического класса на станции «Нейтрино» было ниже среднесетевого примерно на одну единицу. Причиной этому могут служить поглощающие свойства магматического очага под Эльбрусом, через который проходит трасса распространения объемных волн этих землетрясений. В других направлениях такого эффекта не отмечается.

Для очагов землетрясений в верхней части земной коры линейная поляризация Р-волны позволяет устойчиво определять азимут на эпицентр. Значения азимутов со станции на эпицентр, вычисленных по трем компонентам записей сейсмостанции «Нейтрино», находятся в хорошем согласии с азимутами, полученными при сетевой обработке.

Еще одно интересное явление, напрямую связанное с вулканом Эльбрус было замечено на записях станции Шиджатмаз «SHAR» землетрясений, удаленных от станции на региональные расстояния в узком азимутальном створе $Az=175-185^\circ$. Например землетрясение 23 мая в $11^h 04^m$ с $K_p=8.0$ зарегистрированы в пограничном районе с Грузией. Трасса источник-станция SHAR проходит близко к вулкану Эльбрус и должна пересекать в коре зону магматической камеры, и магматического очага, ранее питающего вулкан, а в настоящее время положение их проявляется в аномалиях теплового поля и др. геофизических полей [8]. Очаг расположен на глубинах 20–40 км и как было показано [9] является поглощающим фильтром для поперечных волн, при этом оказывает резонансное влияние на объемные волны (рис. 13).

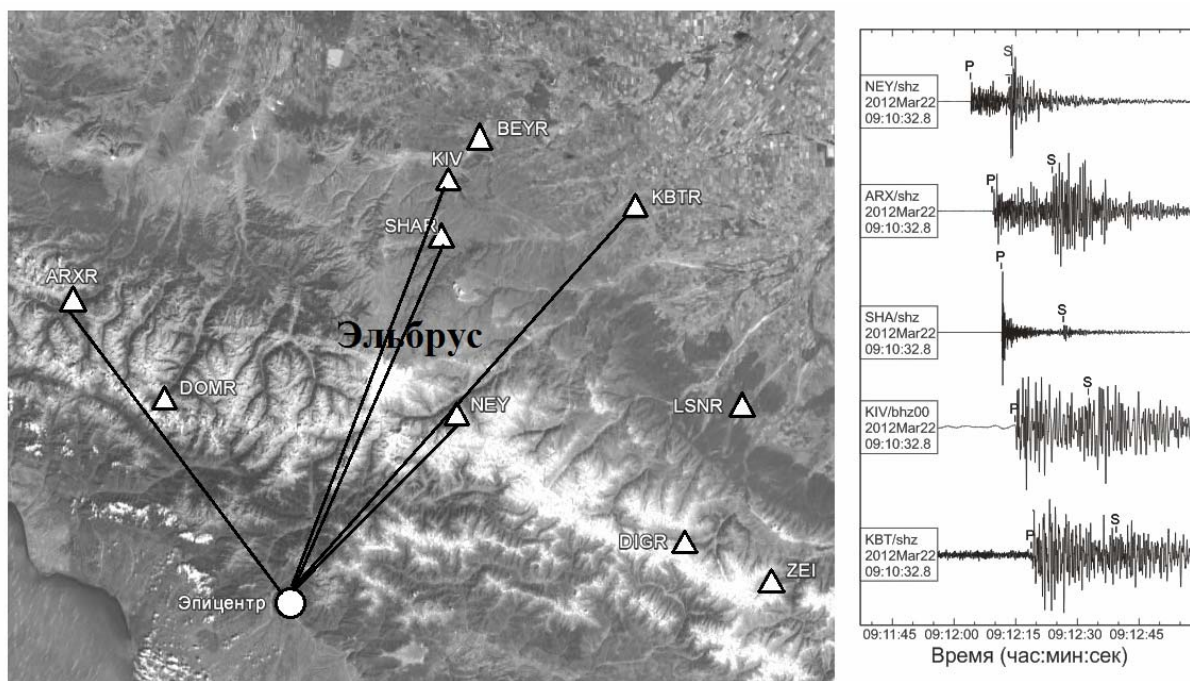


Рис. 3. Трехкомпонентные записи нескольких станций: NEY ($\Delta=77$ км), ARXR ($\Delta=110$ км), SHAR ($\Delta=121$ км), KIV ($\Delta=143$ км) и KBTR ($\Delta=163$ км) землетрясения 22 марта 2012 г. в $09^h 11^m$ с $K_p=9.9$, очаг которого расположен в Грузии на трассе источник – станция «Шиджатмаз», пересекающей магматический очаг под Эльбрусом.

Методические аспекты обработки результатов наблюдений

При исследовании слабой сейсмичности на Северном Кавказе важное значение имеет вопрос идентификации записей событий различной природы. Кроме тектонических землетрясений, в этом

регионе могут регистрироваться техногенные явления, такие как химические взрывы в промышленных карьерах, и различные экзогенные процессы, такие как оползни, сходы ледников, селевых потоков и лавин. Неправильная интерпретация сейсмических записей может привести к появлению ложных очаговых зон сейсмической активности.

Вопрос о распознавании взрывов и землетрясений возник сразу же при развертывании локальной системы наблюдений в районе Кавказских Минеральных Вод в 1984 г. Тем более, что вблизи Эльбрусского вулканического центра в 30 км к северо-востоку располагались карьеры Тырныаузского горно-обогатительного комбината, взрывы в котором достигали 30% сейсмических событий в этой зоне. Первоначально «чистка» каталогов от взрывов производилась на основании информации о времени и местах проведения взрывов, получаемой из организаций «Взрывпрома». Используя эти данные, а также цифровые записи различных станций были отработаны методические приемы распознавания записей взрывов и выработана методика классификации событий по их природе [2]. После схода селей в 1999 и 2000 гг. производство взрывов в Тырныаузском ГОКе практически прекратилось, но отработанные методические приемы для распознавания слабых взрывов и землетрясений стали использоваться в других районах Северного Кавказа в условиях, когда априорная информация о взрывах по ряду причин стала менее доступна.

Практика использования методики распознавания показала, что наиболее устойчиво из многих отработанных признаков на Северном Кавказе работает отношение амплитудных спектров фрагментов *P*- и *S*-волн в высокочастотной части спектра (4–20 Гц).

Вывод

Установленные вблизи вулканических центров сейсмические станции с чувствительным цифровым оборудованием позволяют регистрировать различные сейсмические явления вблизи вулканов. Накопленный опыт и отработанные в других районах Северного Кавказа методики, позволяют достаточно детально исследовать и идентифицировать записи слабых сейсмических событий. Однако вопрос определения природы и более точного местоположения слабых локальных событий, фиксируемых этими станциями, требует развития и, в первую очередь, расширения сети сейсмических станций.

Список литературы

1. Ананьин И.В. Сейсмичность Северного Кавказа. – М.: Наука, 1977. – 148 с.
2. Габсатарова И.П. Методика выявления взрывов в ряде действующих карьеров Северного Кавказа //Землетрясения Северной Евразии в 2000 году. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 347–358.
3. Габсатарова И.П., Девяткина Л.В., Селиванова Е.А. Северный Кавказ //Землетрясения Северной Евразии в 2002 году. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 103–127.
4. Маловичко А.А., Габсатарова И.П., Каширгова Р.Р., Долов С.М., Современное состояние сейсмического мониторинга в Кабардино-Балкарии // Сейсмические приборы. 2011б. Т. 47. №4. –С. 5 – 22.
5. Маловичко А.А., Мехрюшев Д.Ю., Горожанцев С.В., Шевченко А.В. Новая сейсмическая станция на территории Кабардино-Балкарии // Сейсмические приборы. 2011а. Т.47, №1– С. 68–74.
6. Михайлова Н.Н. Ледниковые землетрясения Центрального Тянь-Шаня / Н.Н. Михайлова, И.И. Комаров / Вестник НЯЦ РК. - 2009 - Вып 3. С. 120-126.
7. Новый каталог землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. II б. Кавказ / Отв. сост.: Т.О. Бабаян, Ф.Т. Кулиев, В.Г. Папалашили, Н.В. Шебалин, Н.В. Вандышева. – М.: Наука, 1977. – С. 69–170.
8. Собисевич А.Л. Избранные задачи математической геофизики и вулканологии. – М.: Учреждение Российской академии наук Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 2010. –464 с.
9. Собисевич Л.Е., Нечаев Ю.В., Собисевич А.Л. и др., Мониторинг магматических структур вулкана Эльбрус / Под редакцией академика Н.П. Лаверова. М.: ОИФЗ РАН, 2001. 192 с.
10. Собисевич А.Л., Лаверова Н.И., Собисевич Л.Е., Микадзе Э.И., Овсяченко А.Н., Башорин В.Н., Пронин А.П., Гурбанов А.Г., Шевченко А.В. Сейсмоактивные флюидно-магматические системы Северного Кавказа / Под ред. академика Н.П. Лаверова. – М.: ИФЗ РАН, 2005. – 225 с.
11. Уломов В.И., Богданов М.И. Новый комплект карт Общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР-2012). //ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ, 8/2013, –С. 8–17.
12. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1: 8 000 000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоактивных районах. – М.: ИФЗ РАН, 1999. – 57 с.
13. Хитаров Н.И., Шукин Ю.К, Сизов А.В. К оценке активности вулкана Эльбрус // ДАН СССР. М.: 1984. Том 275. №4 – С. 952–954.
14. Coyne John, Clark Karen, Lloyd Stephen. IDC Documentations Geotool Software User Tutorial. 16 July 2003. P 59.