

ISSN 2221-3198

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

№ 1/2013



СОДЕРЖАНИЕ

Березинский Н.А., Березинский И.Н., Капитанников А.В., Пашкевич М.Ю., Репин А.Н., Ружин Ю.Я., Трефилова Л.Н., Шаповалов А.В. О ВОЗМОЖНОСТЯХ СЕТИ МАЛОГАБАРИТНЫХ МЕТЕОРАДАРОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНЫХ АНОМАЛИЙ – ПРЕДВЕСТНИКОВ СЕЙСМОАКТИВНЫХ СОБЫТИЙ.....	3
Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Невский Л.Н., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Кануков А.С., Шепелев В.Д. МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ РСО-АЛАНИЯ	17
Идармачев Ш.Г., Черкашин В.И., Алиев И.А., Алибеков А.А., Идармачев И.Ш. ВАРИАЦИИ КАЖУЩЕГОСЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В СКВАЖИНЕ В РАЙОНЕ ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА В ПЕРИОД СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	28
Керимов И.А., Гайсумов М.Я., Бадаев С.В, Гайсумов О.М., Додуев А.А. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ТЕРРИТОРИИ ТЕРСКО-КАСПИЙСКОГО ПРОГИБА (ТКП).....	36
Шахрай М.М., Шахрай Я.М. ЛОКАЛЬНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ. МЕТОД ПАС – ПОПАРНЫЙ АНАЛИЗ СЕЙСМОГРАММ. БАЗОВАЯ ТАБЛИЦА СЕТИ СЕЙСМОСТАНЦИЙ ДАГЕСТАНА.....	45
Шемпелев А.Г., Невский Л.Н. НЕУДАВШИЕСЯ ВУЛКАНЫ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА	56

ДИСКУССИИ И ОБСУЖДЕНИЯ

Бергер М.Г., Чотчаев Х.О. О НЕКОТОРЫХ ФИЗИЧЕСКИХ И ФАКТИЧЕСКИХ ОСНОВАНИЯХ ПРЕДПОЛАГАЕМЫХ МЕХАНИЗМОВ СЕЛЕВЫХ ЛЕДНИКОВЫХ КАТАСТРОФ: КОЛКА, 2002	63
---	----

CONTENTS

Berezinskiy N.A., Berezinskiy I.N., Kapitannikov A.V., Pashkevich M. Yu., Repin A.N., Ruzhin Yu.Ya., Trefilova L.N., Shapovalov A.V. ABOUT CAPABILITIES OF NETWORKS OF COMPACT WEATHER RADARS FOR WEATHER ANOMALIES MONITORING – PRECURSORS OF SEISMIC EVENTS.....	3
Zaakishvili V.B., Nevskaya N.I., Melkov D.A., Dzeranov B.V., Kanukov A.S., Shepelev V.D. MONITORING OF HAZARDOUS NATURAL AND TECHNOGENIC PROCESSES ON THE TERRITORY OF RNO-ALANIA.....	17
Idarmachev S.H., Cherkashin V.I., Aliyev I.A., Alibekov A.A., Idarmachev I.S. VARIATIONS OF APPARENT RESISTIVITY OF ROCKS IN THE WELL IN THE EAST CAUCASUS DURING STRONG EARTHQUAKES	28
Kerimov I.A., Gaysumov M.Y., Badaev S.V., Gaysumov O.M., Doduev A.A. SPACE-TIME CHARACTERISTICS OF EARTHQUAKES OF TERSKO-KASPIYSKY BASIN TERRITORY	36
Shahray M.M., Shahray Ya.M. LOCAL SEISMOLOGY. METHOD PAS IS METHOD OF THE PAREWISE ANALYSIS OF SEISMOGRAMS. BASE TABLE OF THE NETWORK OF THE SEISMIC STATIONS OF DAGESTAN	45
Shempelev A.G., Nevsky L.N. FAILED VOLCANOUS OF NOTHERN CAUCASUS.....	56
DISCUSSIONS, DISPUTES	
Berger M.G., Chotchaev K.O. ON SOME PHYSICAL GROUNDS OF ALLEGED AND ACTUAL MECHANISMS OF GLACIAL MUDFLOWS CATASTROPHES: KOLKA, 2002	63

УДК 550.388.2; 551.594; 51.510.535

О ВОЗМОЖНОСТЯХ СЕТИ МАЛОГАБАРИТНЫХ МЕТЕОРАДАРОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНЫХ АНОМАЛИЙ – ПРЕДВЕСТНИКОВ СЕЙСМОАКТИВНЫХ СОБЫТИЙ

© 2013 Н. А. Березинский¹, И. Н. Березинский², А. В. Капитанников¹,
М. Ю. Пашкевич¹, А. Н. Репин³, Ю. Я. Ружин⁴, Л. Н. Трефилова⁴,
А. В. Шаповалов².

¹ Высокогорный научно-исследовательский испытательный центр авиационной техники и вооружения, Россия, 866030, г.Нальчик, пр. Ленина,2, e-mail: vniic@rambler.ru.

² Высокогорный геофизический институт, Россия, 866030, г.Нальчик, пр. Ленина,2, e-mail: vgikbr@rambler.ru.

³ ООО «Контур-НИИРС» 198095, г. Санкт-Петербург, ул. Швецова, д. 23, e-mail: public@kontur-niirs.ru.

⁴ Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова 142190, Россия, г.Троицк, Калужское шоссе, 4, e-mail: ruzhin@izmiran.ru.

В работе обсуждается возможность получения объективной многопараметрической информации на базе сети малогабаритных метеорологических радаров, созданной для непрерывных наблюдений за атмосферными образованиями – индикаторами подготовки землетрясений. В результате появится новая информация, необходимая для лучшего понимания динамики происходящих под землей процессов и выявления возможности улучшения прогноза реальных сейсмических событий.

Ключевые слова: атмосферные аномалии, предвестники, землетрясения

Проблема математического описания динамики сейсмических событий, прогноза их координат, времени и энергии относится к одной из самых важных и сложных проблем современной геофизики и геологии. Для ее решения используют многие достижения науки и техники: деформацию земной поверхности измеряют посредством лазерных деформографов, движение блоков земной коры фиксируют по спутниковым данным, выделение газов из недр Земли изучают с помощью новейших масс-спектрометров, моделирование процессов подготовки сейсмических событий выполняют на основе современного аппарата математической физики и т. д. [Добровольский, 1991].

Наблюдения ряда лет во многих регионах Земли выявило наличие аномальных облачных явлений, длительно сопровождающих сейсмические процессы и вместе с ними изменяющими свою конфигурацию и активность. Над разломами суши, морского дна выявляются резкие границы облачных полей, узкие безоблачные зоны внутри облачных массивов или гряды облаков в безоблачном пространстве [Морозова, 2005; Guo, Wang, 2008; Дода и др., 2009]. Протяженность облачных аномалий достигает сотен километров. Цепочки облаков – полосы над разломами, имеют ширину всего несколько сотен метров. При этом отмечается слабо возмущенное со-

стояние атмосферы, но, несмотря на ветер, облака стоят на месте. Проекция резкой границы облачности на поверхность Земли совпадает с положением и конфигурацией разлома.

Имеется несколько модельных попыток объяснения их появления [Липеровский, 2006]. Отметим наше понимание взаимосвязи атмосферных и сейсмических явлений.

При подготовке и прохождении сильных землетрясений возникают специфические вариации параметров атмосферы и ионосферы, наблюдаемые в регионе подготовки, размеры которой определяются формулой Добровольского $R = \exp M$ (км), где R – радиус области подготовки землетрясения, а M – его магнитуда [Добровольский, 1991]. Чем больше радиус подготовки сейсмического явления, тем больше его магнитуда.

В сейсмоактивных областях перед землетрясениями отмечается возникновение острова тепла. Спутниковые измерения над сейсмоактивными областями с использованием инфракрасных радиометров [Горный и др., 1988] выявили подтверждение наличия тепловых (метеорологических) аномалий, обнаруженных ранее с помощью наземных измерений [Милькис, 1986].

В соответствии с вариациями активности сейсмического процесса изменяется и эманация газов, ионов и паров в атмосферу. Ионы в данном случае проявят себя как ядра конденсации, а водяной пар соответственно будет конденсироваться на них, образуя облачные капли. Соответствующим образом откликнутся на это и параметры образовавшихся облаков: высоты основания и верхней границы, концентрации и спектра размеров облачных частиц, водности, радиолокационной отражаемости, электрической активности и др. Существование облака зависит от степени его подпитки. Сносимая от разлома ветром часть облака теряет подпитку и испаряется. А над разломом, при сохранении подпитки, часть облака будет восстанавливаться. Это приводит к динамическому сохранению облака в целом и его стационарного положения над разломом. Конфигурация облака будет соответствовать трассе подпитки, т. е. конфигурации сейсмического разлома.

Линейные облачные аномалии (ЛОА) достаточно точно повторяют конфигурацию разлома земной коры при порождающем их сейсмическом событии, а вариации облачных параметров соответствуют вариациям тектонических событий в литосфере [Pulinets et al., 2006; Уткин, Юрков, 1998]. Они существуют длительное время в регионе развития процесса, что благоприятствует его планомерному радиолокационному исследованию [Волков, 2009].

Проводя непрерывные радиолокационные наблюдения облаков – спутников сейсмического явления, можно отслеживать динамику подземных процессов достаточно подробно и непрерывно. Это приведет к появлению новых сведений, если не обо всем процессе, то, хотя бы, о его активной фазе.

До настоящего времени все гипотезы относительно формирования облачных процессов над тектоническими разломами строились на основании спутниковых радиолокационных наблюдений. Несомненно, такие наблюдения весьма перспективны из-за своего объема информации и способности покрывать обширные территории, но, несмотря на свои преимущества, у этого метода имеется ряд недостатков:

– отрывочность наблюдений за облачными процессами – возникают значительные паузы, связанные с определенным циклом обращения спутника, или наличие зон наблюдения с низким разрешением на краях зон обзора;

– отсутствие информации о высоте верхней и нижней границ облачности, структуры рассеивающих электромагнитные волны частиц (концентрации, спектра размеров, фазового состава и др.), динамики внутриоблачных процессов и т. д.;

– низкая разрешающая способность радиолокационных станций по причине большого удаления и конечной ширины диаграммы направленности;

– экранирования облаков нижнего яруса при многоярусном состоянии облачности – наиболее часто отмечаемого в весенний и осенний периоды года.

Все эти недостатки могут быть устранены при использовании в наблюдениях наземных радиолокаторов, объединенных в информационную сеть. Наиболее удобным в этом отношении является использование малогабаритных радиолокаторов. Радиолокационный комплекс, созданный на базе легко перемещаемых радиолокаторов (вес 65 кг) и аппаратуры передачи данных, можно быстро развернуть на любой, интересующей исследователей, территории Земли.

Для правильного описания сейсмического события и его достоверного прогнозирования необходимо глубокое понимание физики подземных явлений, проходящих в период подготовки землетрясений, и динамики их развития. Поэтому важны долговременные непрерывные наблюдения и измерения на обширной территории, но в то же время, измерения с высоким разрешением возможны только на малых дистанциях.

С этой целью мы предлагаем создать автоматизированную радиолокационную сеть на базе переносных радиолокаторов в диапазоне 3,2 см наблюдения для детального изучения хронологии развития сейсмического процесса по трансформации его индикатора – тектонических облаков на обширных территориях.

Наиболее информативными признаками определения мест и магнитуды прогнозируемого землетрясения являются облачные сейсмоиндикаторы, которые повторяют контуры активных участков границ литосферных плит, блоков или разломов и часто проявляются в виде линейных или углообразных структур.

О связях наличия необычных облаков с активизацией процессов в разломах Земли было обращено внимание ряда отечественных и зарубежных ученых, например [Devi, 2007; Guo, 2008; Voinov, 1992].

Облака специфической конфигурации могут свидетельствовать о скором землетрясении. Они выстраиваются в четкие линейные структуры. Найдена тесная связь появления аномально прямых облачных структур с мощными подземными толчками. Именно такие структуры отмечались на космических снимках с метеорологических спутников в районе армянского города Спитак накануне сильнейшего землетрясения 1988 года [Voinov, 1992]. На аналогичных космических снимках Юго-Восточной Азии накануне сильнейшего цунами 29 декабря 2011 года наблюдаются прямые линии из облаков, изогнутые под прямым углом, которые протянулись от Шри-Ланки до Южно- Китайского моря. Отсюда и родилась гипотеза, что эти и другие облачные аномалии (например, «сетчатые» облака) возникают над разломами земной коры в период активизации сейсмических процессов.

Землетрясение в Испании 11 мая 2011 г. и спутниковые фотоснимки [Морозова, 2011]

Землетрясение было небольшой магнитуды, но на небольшой глубине –1 км и потому разрушительным. Первый толчок $M=4.5$ произошел в 15 ч 5 мин, второй $M=5.1$ в 16 ч 47 мин. 11 мая 2011 г. Оба в одном эпицентре у г. Лорка. Его пред-

вестник – линейные облачные аномалии, проявился на спутниковых снимках за 2 месяца до землетрясения – 9 марта над Атлантикой в виде безоблачного просвета в низкой облачности, протяженностью 3000 км и гряды облаков над Бискайским заливом. С октября 2010 г., когда был начат спутниковый мониторинг линейных облачных аномалий (ЛОА), аномалии над этим регионом возникли впервые.

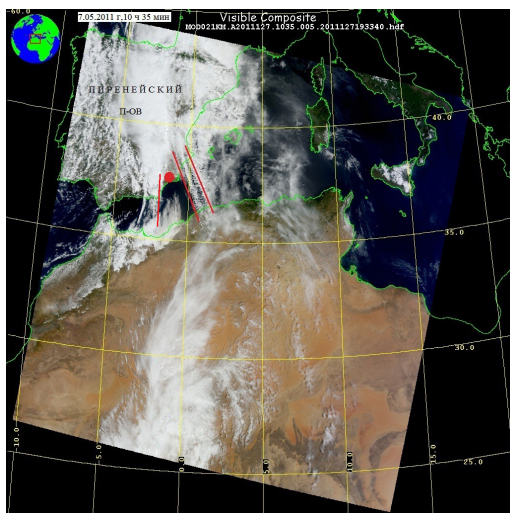


Рис. 1. Активизация разломов, примыкающих к эпицентру будущего землетрясения 7.5.2011 г.

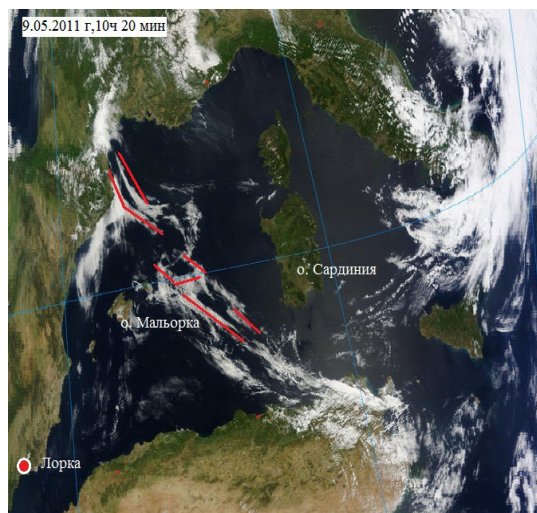


Рис. 2. Сейсмоиндикатор ЛОА вне зоны облачных полей 9.05.2011 г.

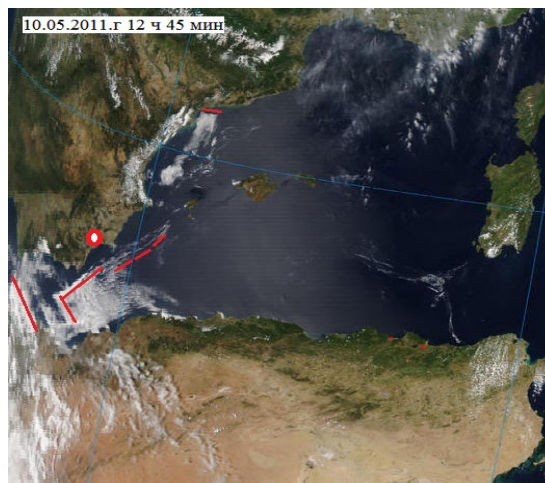
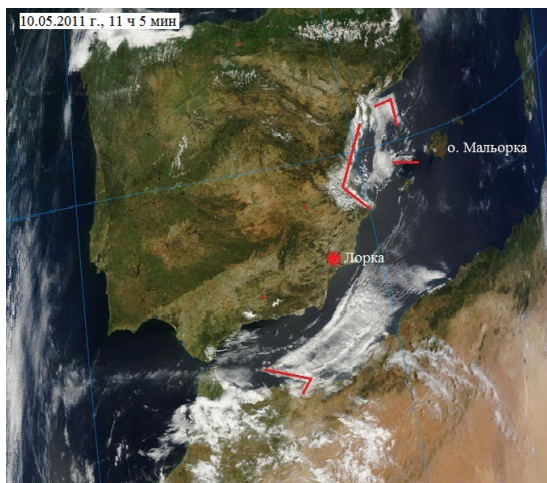


Рис. 3,4. Сейсмоиндикаторы 10.05.2011 г. в регионе будущего землетрясения

Активизация разломов, примыкающих непосредственно к эпицентру землетрясения в г. Лорка, началась 7 мая – за 4 суток до толчка. На снимке большого масштаба в облачном массиве над Пиренейским полуостровом и прилегающей акваторией находились две ЛОА: одна к востоку от очага в виде гряды, соединяющей Пиренеи с Африкой; вторая – к западу, северная её половина – на границе облаков, а южная в виде узкого просвета в облачности над морем (рис. 1). Эти ЛОА были северо-западной ориентации, что соответствует сейсмической активизации породивших их разломов.

8 и 9 мая в регионе землетрясения облаков не наблюдалось (рис.2), но Западное Средиземноморье с небольшим количеством облачности, судя по наличию здесь ЛОА, уже было охвачено сейсмическим процессом. 10 мая на двух последователь-

ных снимках (рис. 3,4) в облачных массивах вблизи эпицентра запечатлены ЛОА в виде резких линейных углообразных границ разрывающейся облачности.

11 мая в 12 ч над Атлантикой, там же, где и в начале процесса 9 марта, повторно возник протяженный просвет в поле низкой облачности. Первый толчок произошел спустя 3 ч 5 мин. На крупномасштабном снимке в 13 ч 25 мин, полученном за 1 ч 40 мин до толчка, видно, что тектонический процесс развился, в облачности проявилось 7 разломов: два из них на северо-западе полуострова имеют северо-западное направление (рис. 5).

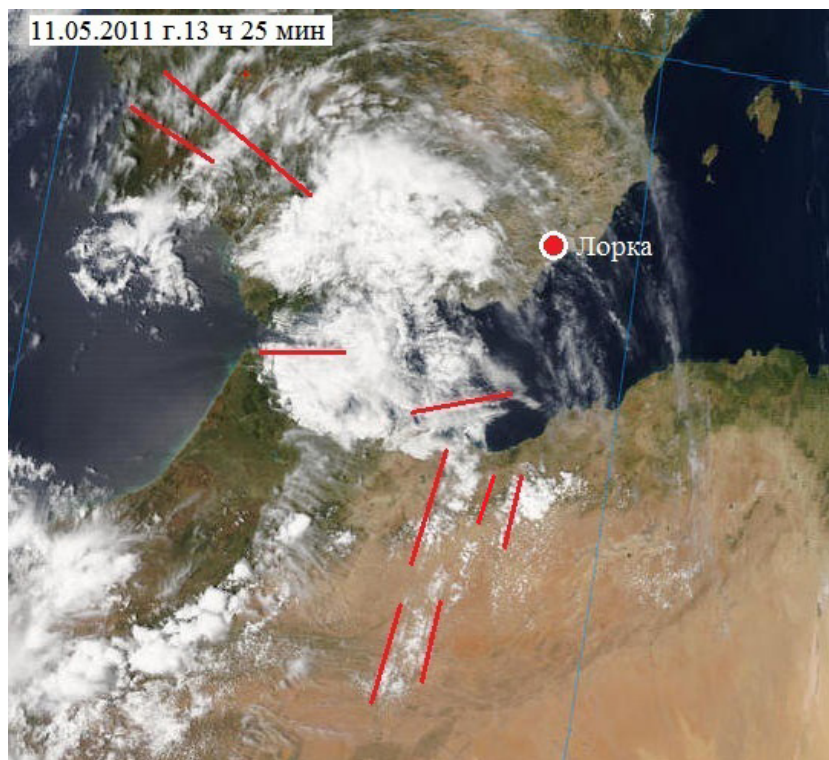


Рис.5. Активизация сейсмической активности в регионе перед самым землетрясением

Появление только одной ЛОА 9 марта и целого их «роя» с 7 мая перед землетрясением, служит доказательством проявления активности сейсмического события в атмосфере и является краткосрочным предвестником времени и региона землетрясения. При подробном изучении конфигурации и активности облаков данного региона можно было бы построить последовательные схемы напряжений коренных пород, появление и развитие подземных разломов, движения магматических пород и другие эффекты сейсмического события. Концентрация разных систем наблюдения и разностороннего исследования одного сейсмического события могло бы стать революционным явлением в науке о землетрясениях.

Радиолокационные исследования облаков

Каждое облако, как объект наблюдений, представляет собой своеобразное сочетание двух облаков разного типа с несовпадающими границами. Одно из них состоит из частиц, размеры которых не превосходят нескольких десятков микрон. Именно его мы видим. Оно содержит основную массу облачной воды, от него зависят: видимость в облаках, обледенение самолетов, вклад облаков в радиационный

баланс атмосферы и т. д. Другое облако состоит из частиц, размеры которых составляют сотни микрон (более 75 мкм). Радиолокационная отражаемость от него увеличивается на два-три порядка по сравнению с радиолокационной отражаемостью от первого облака. Такое облако играет большую роль в процессе формирования осадков и свидетельствует о том, что в облаках существуют достаточно эффективные механизмы формирования и удержания сверхкрупных частиц.

Обнаружение сверхкрупных капель и кристаллов в облаках, не дающих осадков, и установление особенностей их распределения по размерам явилось импульсом для поисков механизмов, объясняющих эти особенности. Ясное понимание того, что является носителем радиолокационного сигнала от облаков, дает возможность не только правильно интерпретировать радиолокационные данные, но и разрабатывать новые способы получения метеорологической информации на основе радиолокационных наблюдений.

В настоящее время интенсивное развитие получили радиолокационные методы измерения важнейших параметров облаков и осадков – их водности, микроструктуры, поля воздушных потоков внутри облаков и т. п.

Параметры облаков и осадков, получаемые с помощью наземных метеорадиолокаторов, соответствуют термодинамическим условиям атмосферы, которые с большой достоверностью описываются различными физико-математическими моделями атмосферы.

Целью настоящего предложения является организация непрерывных наблюдений за атмосферными образованиями, как индикаторами землетрясений, для лучшего понимания динамики происходящих под землей процессов и выявления возможности в дальнейшем реальных сейсмических событий.

Для проведения регулярных радиолокационных наблюдений метеорологических образований на обширных территориях у нас в стране и ряде зарубежных стран используются высокопотенциальные метеорологические радиолокационные станции МРЛ-5. Эти станции имеют диаметр параболической антенны 4,5 м с эффективным радиусом действия порядка 220-240 км. Дальнему обнаружению поддаются локальные очаги осадков средней и большой интенсивности IR от 100 до 1000 мм/час км.

Практика исследований [Калинин, 2000] показала, что при длине волны радиолокатора $\lambda > 6$ см мощность отраженного сигнала для определенной длины волны $P_r(\lambda)$ сильно падает вследствие уменьшения релеевского коэффициента отражения (поглощение при $\lambda > 6$ см в осадках ничтожно мало). При $\lambda < 3$ см $P_r(\lambda)$ также резко уменьшается вследствие возрастающего поглощения в осадках. Коэффициент ослабления $K_{осл}$ (дБ/км) для жидкокапельных облаков ($IR \approx 100$ мм/час км.) прямо пропорционален их водности и обратно пропорционален λ^2 : $K_{осл} = (0,438q/\lambda^2) f(t)$; а численные значения $K_{осл}$ для $\lambda = 0,9$ см больше $K_{осл}$ для $\lambda = 3,2$ см примерно в 18,5 раз.

Таким образом, предварительный анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о целесообразности применения для обнаружения слабых облаков $IR < 100$ мм/час км радиолокационные станции диапазона 3,2 см.

В диапазоне 3,2 см коэффициент ослабления в слабых облаках без осадков не превышает 0,05-0,1 дБ/км. Но пренебрегать этим нельзя, т. к. эти искажения могут сказаться на отображении структуры радиолокационного сигнала. В практике метеорадиолокационных работ этот вопрос решается за счет использования много-

позиционных (сетевых) наблюдений. При обработке радиолокационной информации по возможности не используются сигналы, полученные при пересечении мощного радиоэхо.

Радиолокационная сеть из 3-х переносных радиолокаторов «Контур-Метео-01» (радиус действия каждого ~ 150 км) покрывает ~ 200 000 км² приземной поверхности в любом интересующем исследователей районе Земли в сейсмоопасном регионе.

В настоящее время на вооружение гидрометеорологической службы России поступает новый доплеровский метеорадиолокатор – ДМРЛ. Это стационарная станция с эффективным радиусом действия ~ 220-240 км. Стоимость ее составляет 90 млн. рублей. Чтобы эту станцию на время эксперимента переместить в интересующий район, необходимы большие капитальные вложения.

Затраты на приобретение и развертывание предлагаемой мобильной сети наблюдений по сравнению со стационарными метеорадиолокаторами ниже в 8-10 раз.

Малогабаритный метеорологический радиолокатор «Контур-МЕТЕО-01»

Малогабаритный метеорологический радиолокатор Контур-МЕТЕО-01 предназначен для обнаружения и классификации метеообразований, анализа метеообстановки и предупреждения об опасных метеоявлениях. Метеорадиолокатор работает совместно с персональным компьютером (ПК), выполняющим функции пульта управления, устройства обработки информации и индикатора. Управление метеорадиолокатором и обмен информацией с ПК осуществляется по проводной линии связи «Ethernet» с использованием стека протокола TCP/IP, при этом никаких специальных доработок ПК не требуется. Программное обеспечение (ПО) метеорадиолокатора осуществляет построение карт отражаемости, интенсивности осадков, высоты верхней и нижней границ облачности, видимости в осадках. Имеется возможность просматривать увеличенное изображение выбранного участка метеообразования и изображение вертикального профиля. Метеорадиолокатор «Контур-МЕТЕО-01» может работать в режиме удаленного доступа через Интернет с сохранением всех функций управления радиолокатором и получения от него информации. Внешний вид метеорадиолокатора «Контур-Метео-01» показан на рисунке 6.

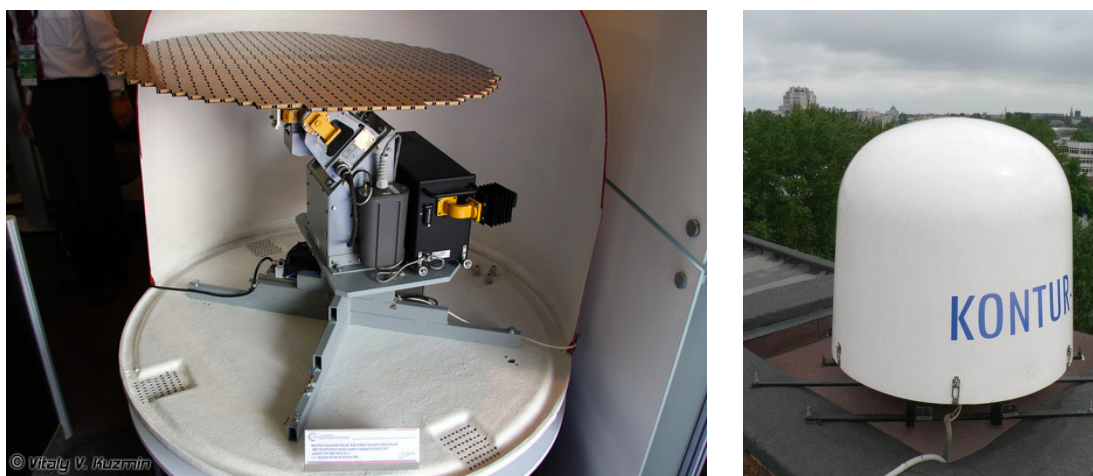


Рис.6. Малогабаритный метеорадиолокатор «Контур-Метео-01» в защитном кожухе (стандартная конструкция, установленная на крыше здания)

Малогобаритный метеорадиолокатор «Контур-Метео-01» является высокотехнологичным и надежным изделием, разработанным и изготовленным с использованием современной элементной базы и алгоритмов обработки сигналов. Он способен решать многие задачи, возложенные сейчас на «большие» метеорадиолокаторы, при этом имеет место значительная экономия в стоимости, затратах на монтаж и обслуживание, а также на развертывание в составе наблюдательной сети. Основные характеристики малогобаритного метеорадиолокатора «Контур-Метео-01» приведены в таблице 1.

В комплект поставки входят собственно метеорадиолокатор с радиопрозрачным укрытием, компьютер (по согласованию с заказчиком), специальное программное обеспечение (СПО) управления, обработки и визуализации метеоинформации, монтажный комплект. ПО радиолокатора работает в ОС Windows (может быть адаптировано для работы в ОС Linux).

Метеорадиолокатор «Контур-Метео-01» совместим по формату выходной информации с действующей сетью метеорадиолокаторов Росгидромета. Для обработки и визуализации информации используется ПО «MRLVIS».

Габариты и масса метеорадиолокатора позволяют устанавливать его как на наземных пунктах мониторинга, так и на подвижных объектах (автомобиль, корабль).

Таблица 1

Основные характеристики малогобаритного метеорадиолокатора «Контур-Метео-01»

Обзор по азимуту	Круговое вращение
Пределы перемещения антенной решетки по углу места, град	– 5... +93
Максимальная скорость вращения по азимуту, град/с	36
Длина волны, см	3,2
Импульсная мощность, кВт	не менее 5
Длительность импульсов, мкс	1,0; 2,0; 4,0
Частота повторения импульсов, Гц	400 ÷ 1400
Размеры антенной решетки, мм	760 × 760
Ширина диаграммы направленности, град	3,0 × 3,0
Радиус действия, км	50-100-200
Период обновления информации, мин	> 3
Характер обнаруживаемых метеорологических явлений	Облачность, зоны осадков (снег, дождь, град), грозовые фронты
Напряжение питания	220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность, Вт	не более 250
Диапазон рабочих температур, °С	От –40 до +60
Вес, кг; не более	65
Габариты радиопрозрачного колпака, мм	Диаметр –1100, высота – 1050

Современные средства связи и разработанное программное обеспечение позволяют осуществлять прием и передачу данных в единый информационный центр. Модемы передачи данных должны иметь производительность не менее 5 Мбит/сек.

За рубежом имеются аналогичные радиолокаторы однопунктного наземного базирования (могут устанавливаться и на небольших мачтах).

На рисунке 7 демонстрируются технические возможности радиолокационной сети в отображении обширного метеорологического явления на значительной территории.

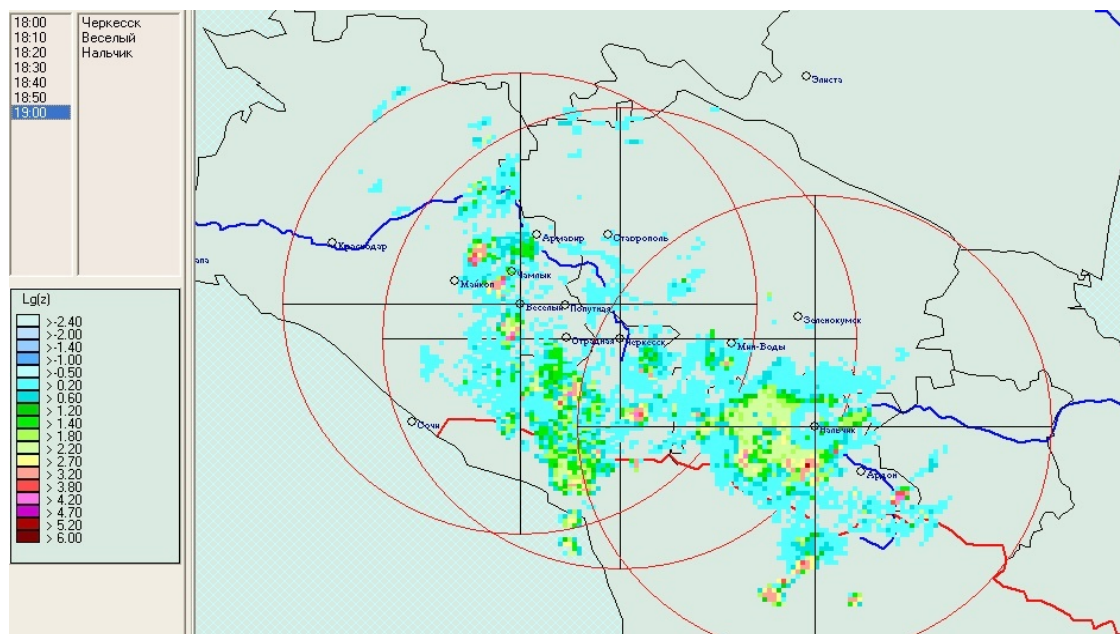


Рисунок 7. Пример формы отображения объединенной карты метеорологических явлений, полученной в результате обработки информации от трех радиолокаторов сети на территории ~ 200000 км². Август 2012 (18/15:20).

Применение сети радаров позволит исследовать весь комплекс явлений в атмосфере в период подготовки землетрясений. Атмосферные сейсмоаномалии (возможные предвестники) в настоящее время включают генерацию электромагнитного КВ -УКВ излучения [Voinov et al., 1992; Ruzhin et al., 2000], появление зарядовых (грозовых) облаков накануне землетрясений [Voinov et al., 1992; Ruzhin, Nomicos, 2007], изменение условий распространения УКВ радиоволн [Devi et al., 2007, 2010, 2012]. Даже при распространении вблизи горизонта GPS сигналов над зоной подготовки проявляется эффект аномальной рефракции за несколько дней до землетрясений [Милькис, 1986], который вызван повышенным влагосодержанием и температурными вариациями.

Таким образом, развертывание КВ- и УКВ-приема, совместно с радиолокационной сетью наблюдений, расширяет получаемый ряд данных о предвестниках землетрясений. Без особых затрат на пунктах радиолокационного зондирования можно установить УКВ-приемники (с учетом зон закрытия). Сбор, обработка и передача дополнительной информации по электромагнитному излучению может осуществляться с помощью сетевой аппаратуры обмена данными. Такой комплексный подход к мониторингу сейсмических событий несомненно повысит надежность и достоверность прогноза землетрясений. С этой точки зрения необходимо обратить внимание на нижеуказанные исследования.

Предложена модель [Ruzhin et al., 2007], и создана теория процесса [Sorokin et al., 2011] модификации атмосферы накануне землетрясений. Показано [Koulouras et al., 2009], отличие генерируемого УКВ предвестника от возмущений, обусловленных солнечной активностью. Перечисленные проявления в атмосфере грядущей сейсмоактивности могут происходить в комплексе и отдельно. Это, по-видимому, связано с локальностью их генерации, которая определяется геологией и/или местными метео-особенностями (условиями), которые в ходе мониторинга могут быть выявлены с помощью метеорадаров.

На рисунке 8 показан пример развития предвестника итальянского землетрясения (L, Aguila 2009 г.).

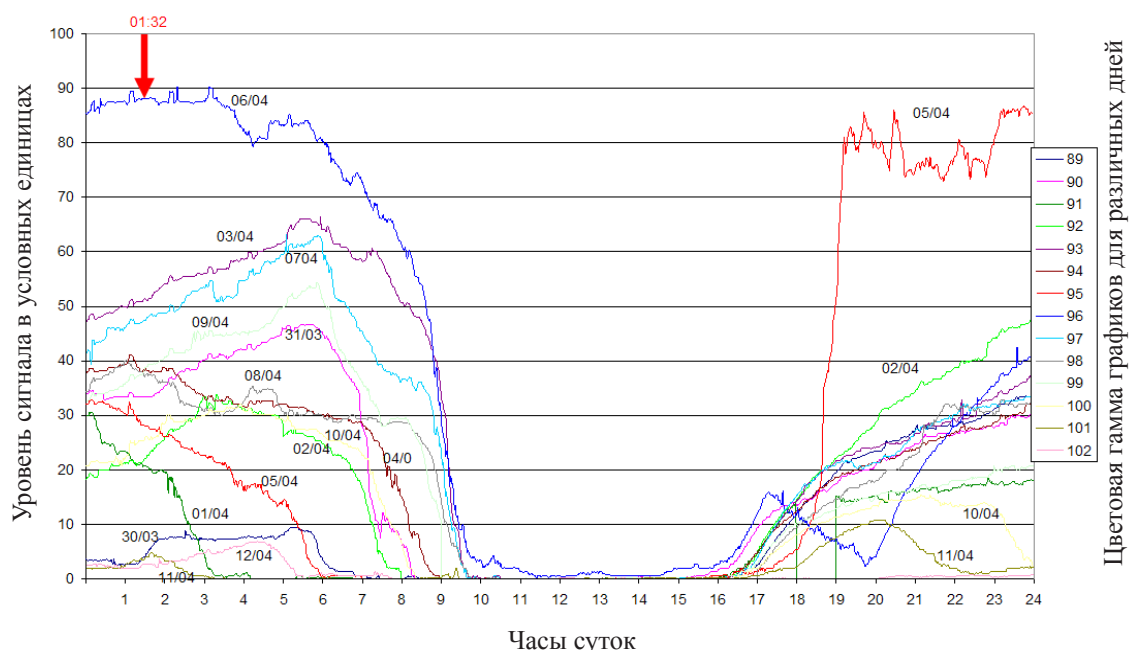


Рис.8. Развитие предвестника итальянского землетрясения (L, Aguila 2009 г.)

На рисунке 8 изображен ход сигнала, принимаемого на частоте 46 МГц. Стационарный приемник находится на острове Занте (УКВ сеть, Греция [Nikolopoulos et al., 2012] рис. 9). Взят период времени с 89 по 102 день 2009 года (с 30 марта по 12 апреля). В данном временном промежутке, а именно 06 апреля в 01:32 UT произошло землетрясение силой 6.3 по шкале Рихтера. На рисунке оно отмечено красной стрелкой с указанием времени. Как видно на графике, максимальный всплеск приходится на время самого землетрясения. На рисунке хорошо видны временной ход распространения сигнала, а именно, всплески в ночные часы.

В некоторые дни, например 1 и 4 апреля, максимальные значения приходились на 1-ый и 24-ый час. Основное количество максимумов приходилось на 5-6 часов, так, например, 30 и 31 марта, 3 и 7 апреля. Абсолютный максимум отмечается в день землетрясения 6 апреля в районе 2-3 часов. Накануне, 5 апреля так же сильный сигнал (около 86 у.е.) отмечается в 23-24 часа. На графике хорошо видно, что в период с 10 до 16 часов, наблюдается, как бы провал сигнала. Только 6 апреля сигнал протягивается в этом временном интервале (с 10 до 16 часов) над нулевым уровнем (около 1-2 у.е.), тогда как во все остальные дни в этом временном интервале наблюдается слияние сигнала с уровнем нуля.

На рисунке 9 приведена геометрия приема сигнала. Пунктирной линией соединены станция приема (остров Zante, Ионическое море, Греция) и эпицентр. Звездочка – граница зоны подготовки, определенная по формуле Добровольского. Дальнее распространение УКВ, по-видимому, происходит за счет эффекта суперрефракции в области атмосферы в окрестности границы земля-море (юго-восток Италии, в пределах зоны радиуса Добровольского).

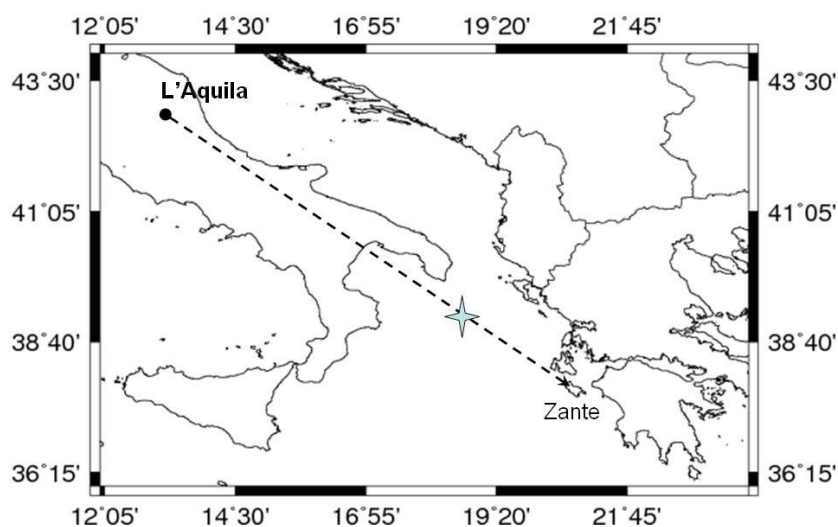


Рис. 9. Геометрия приема дальнего распространения УКВ- сигнала по географическим координатам

На рисунке 10 представлен пример зависимости высоты УКВ излучающих источников [Nikolopoulos et al., 2012] от дальности для 3-х избранных землетрясений по данным нескольких станций сети (Греция).

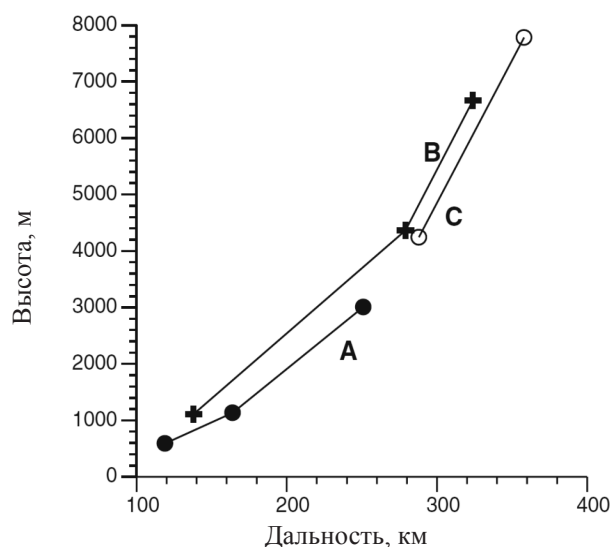


Рис. 10. Зависимость высоты УКВ излучающих источников от дальности для 3-х землетрясений (Греция) [Nikolopoulos et al., 2012]

Из рисунка видно, что для приема УКВ-сигналов на расстояниях 300-400 км (без привлечения эффекта аномалий атмосферной рефракции) высота излучателей может достигать 5-8 км над уровнем моря.

Следствием появления облаков пространственного заряда и их динамики (разрядов в особенности) может быть существенное изменение наших современных представлений о сейсмогенном взаимодействии литосферы с ионосферно-магнитосферной системой. В качестве первого шага в исследовании этих процессов предлагается установить на спутниках устройства для глобального мониторинга сейсмо-

генного УКВ излучения, подобного обнаруженному на сети станций острова Крит. Учитывая, что заряженные области в атмосфере могут лоцироваться со спутников оптическими и радиотехническими средствами, можно рекомендовать проработку таких средств и методик для будущих объектов спутниковой системы.

Так как мониторинг всевозможного сейсмогенного УКВ излучения проводился непрерывно и длительное время, то анализируемый материал получен для всех возможных событий, происшедших почти за трехлетний период наблюдений. Область генерации высокочастотного сейсмо-предвестника (HF radioemissions) находится в атмосфере (над поверхностью моря) на высотах 0,1-10 км. Предложена и обоснована модель генерации высокочастотного предвестника землетрясений, в основе которой лежит предположение об образовании заряженных облаков в атмосфере над зоной подготовки землетрясения и последующих электрических разрядах, служащих (являющихся) источником ЭМИ в УКВ диапазоне.

Размер термической конвективной ячейки определяется в основном градиентом температуры и может варьироваться от сотен метров до десятков километров. Для типичного радиуса конвективной облачности величиной в 1 км и разности температур в $0,5^{\circ}\text{K}$ оценка дает скорость подъема равную 7,5 м/с. Таким образом, при помощи термической конвекции вещество/заряды/кластеры с поверхности моря могут быть доставлены на высоту 2-2,5 км всего за 5 минут.

В нашей модели количество конвективных ячеек генерируемых в атмосфере (и их размер) является случайным процессом. Такие ячейки заполняют площадь подготовки землетрясения хаотически и, в результате, поле конвективных ячеек является проекцией (на поверхность моря) зоны активных процессов в литосфере. В результате конвективного переноса зарядов создаются локальные условия, способствующие генерации грозового электричества, появление и время жизни, а также, горизонтальный масштаб которого определяется процессами как в литосфере так и в атмосфере. Таким образом, появление электрических зарядов у поверхности моря и транспортировка их в дальнейшем по высоте до 10 км в нашей модели происходит за счет энергии, выделяющейся со дна моря в виде газов и тепла.

Выводы

1. Линейные облачные аномалии, длительно существующие над тектоническими разломами, являются следствием деятельности сейсмического процесса в регионе и отражают его динамику. Несмотря на важность задачи детального понимания динамики сейсмического процесса, это явление детально не изучено.

Отслеживание динамики характеристик и параметров аномальных облаков может помочь пониманию хронологической последовательности и пространственно-развития вызывающих их сейсмических процессов.

2. Наблюдение облаков тектонического происхождения необходимо проводить методами спутникового мониторинга и с использованием мобильных метеорологических радиолокаторов, объединенных в гибкую информационную сеть.

Сеть может быть задействована в непрерывном режиме от периода подготовки сейсмического процесса до его релаксации в любом месте Земли. По завершении программы наблюдений радиолокационные станции могут быть мобильно перенацелены для выполнения других задач.

3. При подробном изучении конфигурации и активности облаков данного региона можно обозначить последовательные схемы напряжений коренных пород, по-

явление и развитие подземных разломов, движения магматических пород и другие эффекты сейсмического события.

Применение различных систем дистанционного и прямого наблюдений одного сейсмического события может стать важным явлением в науке о землетрясениях.

Литература

1. Волков А. Землетрясение можно предсказать по облакам. Элементы большой науки. URL: www.inauka.ru (дата обращения: 07.04.2009).
2. Горный В.И., Сальман А.Г., Тронин А.А., Шилин Б.В. Уходящее инфракрасное излучение Земли – индикатор сейсмической активности // ДАН СССР. 1988. Т. 301. № 1. С. 67-69.
3. Добровольский И.П., Теория подготовки тектонического землетрясения // АН СССР. Ин-т физики Земли им. О.Ю. Шмидта. 224 с. 1991.
4. Дода Л., Новикова Н., Пахомов Л., Степанов И. Космический мониторинг предвестников землетрясений // Наука в России. № 6. 2009. С. 30-37.
5. Калинин Н.А. Исследование атмосферы с помощью импульсных метеорологических радиолокаторов / Н.А. Калинин; Пермь: Перм. ун-т, 2000.
6. Липеровский В.А. Физические модели связи в системе литосфера – атмосфера – ионосфера // Лекции Байкальской Школы Фундаментальной Физики. 2006. С. 58-65.
7. Милькис М.Р. Метеорологические предвестники сильных землетрясений // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1986. С. 36-47.
8. Морозова Л.И. Спутниковый мониторинг землетрясений. Владивосток: Дальнаука, 2005. 137 с.
9. Морозова Л.И. Землетрясение в Испании 11 мая 2011 г. и спутниковые фотоснимки. URL: <http://www.roscosmos.ru/main.php?random=213877&random=693009&id=2&nid=16992>
10. Уткин В.И., Юрков А.К. Динамика выделения радона из массива горных пород как краткосрочный предвестник землетрясения // Доклады РАН. 1998. т.358, № 5.
11. Devi M., Barbara A. K., Ruzhin Yu. Ya., Depueva A. H. Beyond the horizon propagation of VHF signals, atmospheric features and earthquake // Электронный научный журнал «Исследовано в России». URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2007/129e.pdf>. 2007.
12. Devi M., Barbara A. K., Depueva, A. H., Ruzhin, Yu. Ya., Depuev, V., 2010, Anomalous Total Electron Content (TEC) and atmospheric refractivity prior to very strong China earthquake of May 2008, International Journal of Remote Sensing, 31, 3589-3599.
13. Devi M., A. K. Barbara, Ya. Yu. Ruzhin, M. Hayakawa. 2012. Over-the-Horizon Anomalous VHF Propagation and Earthquake Precursors. Surv Geophys DOI 10.1007/s10712-012-9185-z. 2012.
14. Guo G.M. & Wang B., 2008, Cloud anomaly before Iran earthquake, International Journal of Remote Sensing, V29.7, pp.1921-1928.
15. Guo G.M. & Wang B., 2008, Cloud anomaly before Iran earthquake, International Journal of Remote Sensing, V29.7, pp.1921-1928.
16. Koulouras G., G. Balasis, I. Kiourktsidis, E. Nannos, K. Kontakos, J. Stonham, Y. Ruzhin, K. Eftaxias, D. Kavouras, C. Nomikos, Discrimination between pre-seismic electromagnetic anomalies and solar activity effects, Physica Scripta 79 (2009) 45901/1-12.

17. Nikolopoulos, D., Petraki, E., Marousaki, A., Potirakis, S. M., Koulouras, G., Nomicos, C., Panagiotaras, D., Stonham, J., Louizi, A., 2012. Environmental monitoring of radon in soil during a very seismically active period occurred in South West Greece. *J. Environ. Monit.* 14, 564-578.

18. Pulinets S.A., Ouzounov D., Karelin A.V., Boyarchuk K.A., Pokhmelnikh L.A. The physical nature of the thermal anomalies observed before strong earthquakes, *Physics and Chemistry of the Earth.* – 2006. – №31. – P.143-153.

19. Ruzhin Y., Nomicos C., and Valianatos F. 2000. High frequency seismoprecursor emissions. In: *Proceed. 15th Wroclaw EMC Symposium.* 512-516.

20. Ruzhin Yu., Nomicos C. Radio VHF precursors of earthquakes. 2007. *Natural Hazards.* V. 40. 573-583. DOI 10.1007/s11069-006-9021-1.

21. Sorokin V.M., Yu. Ya. Ruzhin, V.D. Kuznetsov, A.K. Yaschenko. Generation of VHF radio emissions by electric discharges in the lower atmosphere over a seismic region. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics,* 73 (2011), N5–6, 664-670.

22. Voinov V.V., Gufeld I.L., Kruglikov V.V. et al., Effects in the ionosphere and atmosphere before the Spitack earthquake, *News of USSR Academy, Fizika Zemli* (in Russian), No.3, pp.96-101, 1992.

ABOUT CAPABILITIES OF NETWORKS OF COMPACT WEATHER RADARS FOR WEATHER ANOMALIES MONITORING – PRECURSORS OF SEISMIC EVENTS

N. A. Berezinskiy¹, I. N. Berezinskiy², A. V. Kapitannikov¹, M. Pashkevich¹, A. N. Repin³, Yu. Ya. Ruzhin⁴, L. N. Trefilova⁴, A. V. Shapovalov²

¹ Alpine Research and Testing Center of aircraft and weapons, Nalchik, Russia

² Mountain Geophysical Institute, Russia,

³ LLC «Contour-NIIRS», St. Petersburg, Russia

⁴ Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russia,

Possibility of obtaining objective information based on a multi-parameter small weather radar network established for continuous observations of atmospheric formations – indicators of earthquake preparation is discussed in the paper. As a result new information, necessary for better understanding of the processes taking place under the ground and to identify opportunities to improve the forecast of real seismic events.

Keywords: atmospheric anomalies, earthquakes, precursors

УДК 551.2/.3: 550.34

МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ РСО-АЛАНИЯ

© 2013 В.Б. Заалишвили, д.ф.- м.н., проф., Н.И. Невская, к.г.- м.н., Л.Н. Невский, Д.А. Мельков, к.т.н., Б.В. Дзеранов, к.г.-м.н., А.С. Кануков, асп., В.Д. Шепелев, асп.

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

В связи с активизацией опасных природных процессов на Кавказе и, в частности, сходом ледника Колка 20 сентября 2002 года существующая республиканская сейсмическая сеть наблюдений Центра в конце 2003 года была преобразована в сеть комплексных наблюдений «Кармадонский параметрический полигон». Целью функционирования сети является исследование природно-техногенных опасных геологических процессов в горных районах.

Ключевые слова: мониторинг, сейсмологические наблюдения, геодинамические сети, гравиметрические наблюдения

Ежедневно в мире происходят сотни катастроф природного и техногенного характера. Среди других катастроф сейсмическая занимает особое место. По данным ООН (Living with risk, 2002), они составляют около 51% от общего числа природных катаклизмов и доминируют в ряду всех видов катастроф [Баласанян и др., 2004].

Наибольшую опасность в силу своей близости к территории г. Владикавказа представляет Владикавказский разлом, сейсмический потенциал которого оценивается $M=7.1$ [Рогожин, 2007]. В связи с этим, а также учитывая активизацию опасных природных процессов на Кавказе и, в частности, неожиданным сходом ледника Колка 20 сентября 2002 года, в конце 2003 года существующая Республиканская сейсмическая сеть наблюдений Центра была преобразована в сеть комплексных наблюдений «Кармадонский параметрический полигон» (рис. 1), предполагающую сейсмологические, геодинамические и гравиметрические наблюдения [Бондырев, Заалишвили, 2005]. В середине 2006 года сеть была частично модернизирована – произведена замена устаревших цифровых регистраторов сейсмических сигналов (РСС) «Альфа-Геон» на регистраторы нового поколения «Дельта-Геон». Это позволило увеличить продолжительность регистрации записей за счет применения флеш карт большой емкости, наладить службу точного времени за счет использования GPS и т.д. Целью функционирования сети является разработка новой концепции безопасности населения горных регионов и создание эталонных сценариев опасных геологических процессов (оползни, движения ледников, землетрясения и т.д.). Именно для этих целей нами в сентябре 2003г. была организована базовая станция в п. Кармадон.

Для обработки получаемых данных сети Кармадонского параметрического полигона, сотрудниками Центра был разработан пакет программ.

- программа ADB2DB, предназначенная для ввода в единую базу данных записей сейсмических событий;
- программа «Выборка событий», предназначенная для выделения сейсмических событий для их последующей обработки;

- программа WINADB-SEV, предназначенная для монтажа событий в формат SEV и позволяющая вызывать служебные программы для их последующей обработки.

- утилиты, предназначенные для просмотра и редактирования заголовков adb файлов, конвертер adb файлов в текстовый формат.

Такое структурирование данных позволяет не только находить нужные записи из банка данных, но и производить более сложные операции с помощью SQL-запросов. Важным элементом обработки записей любой локальной сети сейсмологических наблюдений является выборка событий. Событие считается выделенным, если оно зарегистрировано не менее чем N станциями (например, тремя), причем время включения регистраторов, попадает в определенный временной интервал (временное окно) Δt . Разработанная программа «Выборка событий» позволяет производить процедуру поиска записей, удовлетворяющих данным условиям. Программа имеет графический интерфейс, разделенный на несколько областей: календарь, текстовая область. Также в программе можно вызвать окно ввода SQL-запроса, что позволяет передавать дополнительные параметры, выполняя более гибкие запросы для выборки данных.

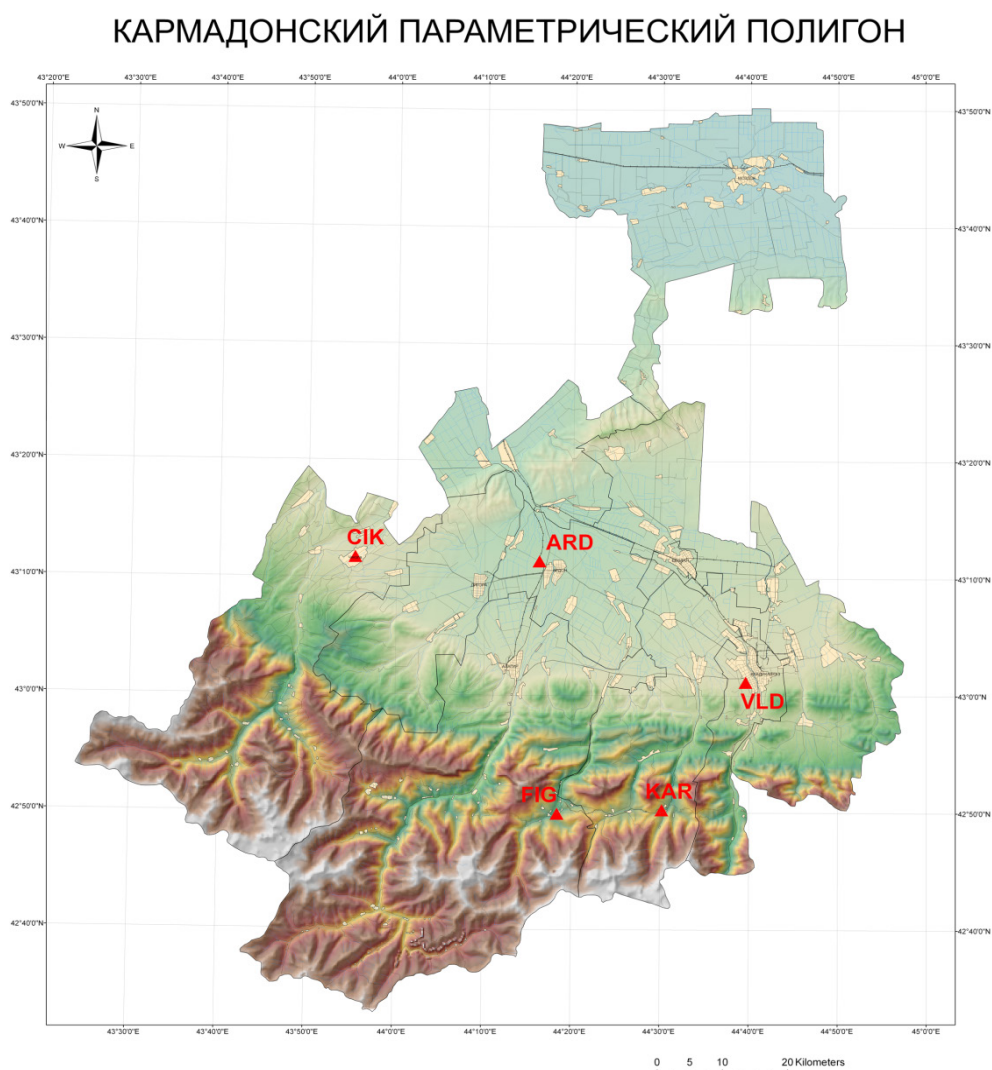
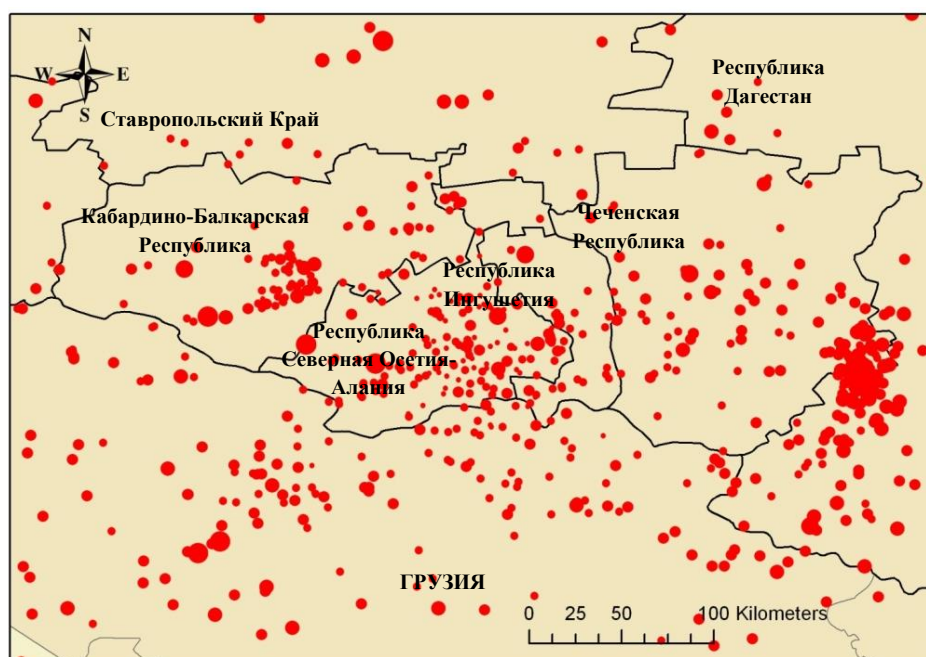


Рис. 1. Сеть сейсмологических наблюдений Кармадонского параметрического полигона

Только за последние два года было получено и обработано 780 записей сейсмических событий, из которых 157 событий зарегистрировали одновременно 5 станций, 237 событий – 4 станции и 385 событий – 3 станции (рис. 2).



Magnitude

• 0-1 • 1-2 • 2-3 • 3-4 • 4-5 • 5-6 • 6-7

Рис. 2. Обработанные события за 2006-2010 гг.

Создание системы сейсмических наблюдений для целей инженерной сейсмологии (станции специально устанавливаются на различных грунтах территории), согласно рекомендациям ООН, обязательны для урбанизированных территорий, расположенных в зоне высокой сейсмической опасности. Это особенно актуально для Северного Кавказа, где такие наблюдения практически отсутствуют. В то же время на Северном Кавказе (ГС РАН) создана современная система наблюдений за землетрясениями, без учета грунтов, где станции, как правило, устанавливаются на плотных грунтах.

В связи с этим, а также необходимостью изучения и последующего анализа малоизученного проявления особенностей воздействия активных разломов на ситуацию в городе, на территории г. Владикавказ, по инициативе В.Б. Заалишвили, было решено развернуть локальную сеть сейсмических наблюдений.

В августе 2004 г. впервые на Северном Кавказе нами была организована постоянная локальная сеть сейсмических наблюдений на участках с различными грунтовыми условиями непосредственно на урбанизированной территории – г. Владикавказ (рис. 3). Главной задачей создания локальной сети «Владикавказ» («Урбанизированная территория») явилась необходимость оценки влияния грунтовых условий на формирование интенсивности и спектрального состава землетрясений. На рис. 4 представлены записи землетрясения, зарегистрированного сетью сейсмологических наблюдений «Владикавказ» и соответствующие спектры, демонстрирующие влияние грунтовых условий на спектральный состав колебаний.

В 2010 году в процессе выполнения работы сеть была расширена и дополнена двумя станциями по улицам Гадиева и Владикавказской (BUR и TUR, соответственно).

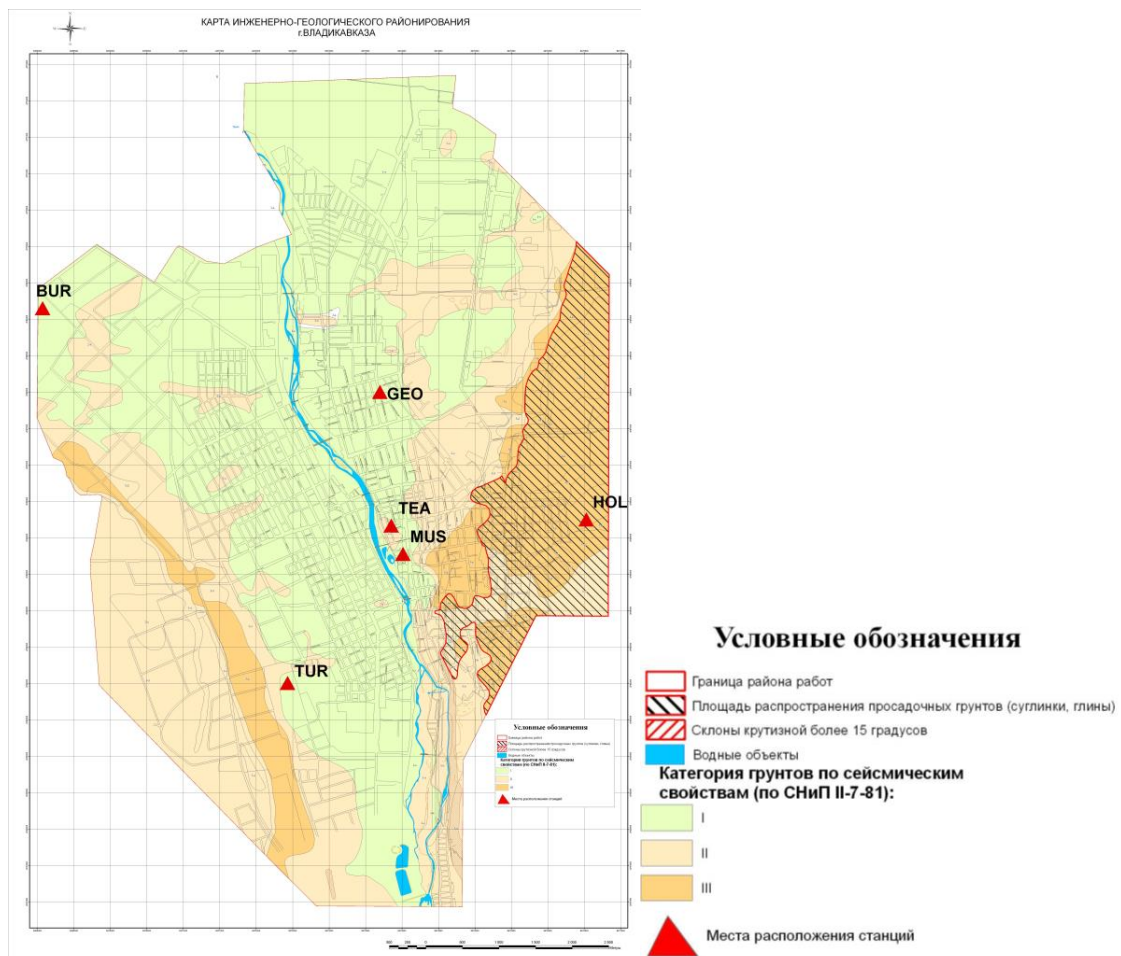


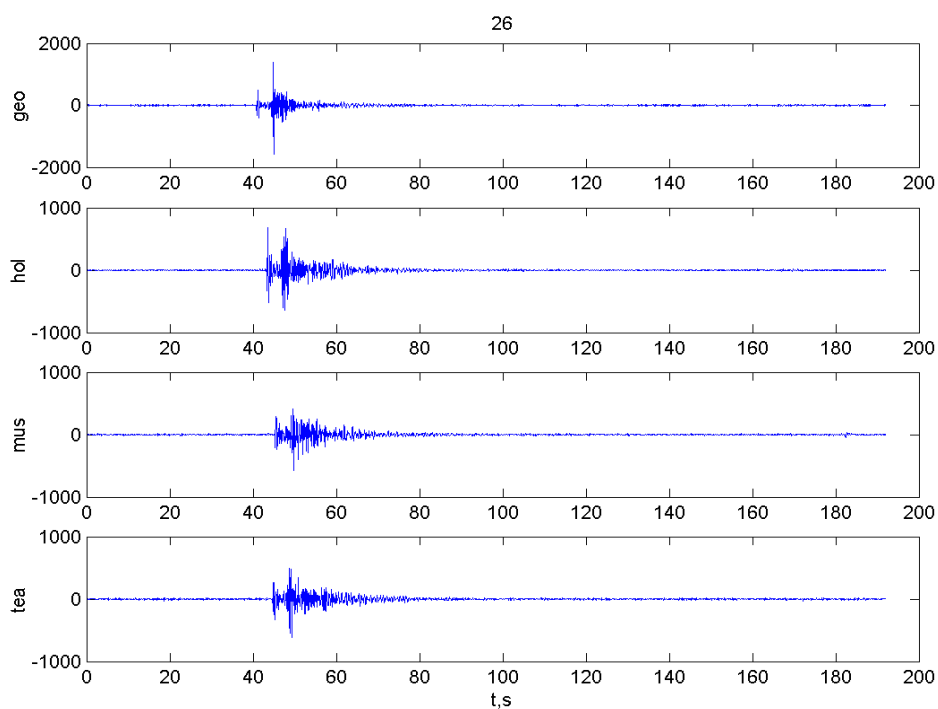
Рис. 3. Схема расположения сейсмических станций на территории г.Владикавказа, инженерно-геологические условия исследуемой территории

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

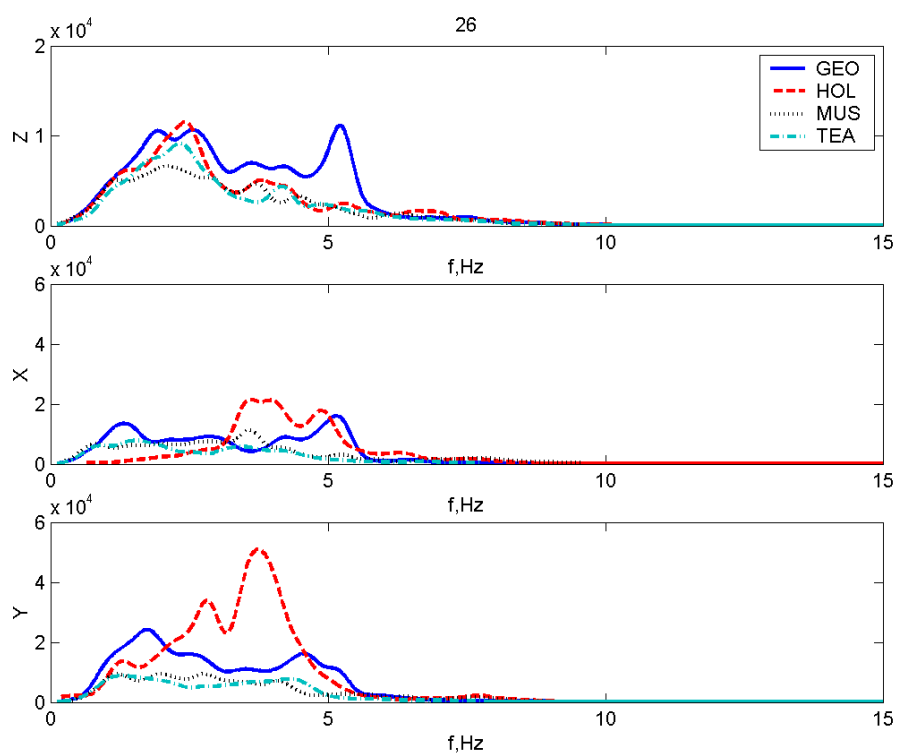
Вновь создаваемая Северо-Осетинская сеть пунктов GPS является развитием Северокавказской геодинамической сети, которая включает пункты GPS созданные и использованные для измерений по разным проектам предыдущих эпох.

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

В 1993-2000 годах в рамках Международной программы WEGENER на территории Северного Кавказа и Предкавказья проводилось изучение перемещений земной коры с помощью спутниковой глобальной позиционной системы GPS. Было выполнено несколько циклов GPS-измерений с целью изучения современной геодинамики Кавказа [Шемпелев, 2000; Шевченко, 1999; Becker, 1995]. Векторы скорости разнонаправленных горизонтальных смещений согласно измерениям на более двух десятках пунктов наблюдений в пределах Центрального и Восточного Кавказа были невелики и ориентированы осреднённо в юго-восточном направлении. А конкретно для территории Кабардино-Балкарии, Северной Осетии, Ингушетии и



a)



б)

Рис. 4. Сейсмическое событие, зарегистрированное станциями сети сейсмологических наблюдений «Владикавказ», вертикальная компонента (а) и соответствующие спектры колебаний (б)

Чечни по геологическим данным и GPS-измерениям было подчеркнута, что породы юрско-мелового возраста нарушены серией чешуйчатых надвигов северного падения, перемещения по которым происходят в южном направлении вверх по восстанию пород [Шевченко, 1999]. В частности, в пределах Осетии на станциях Мацута и Одола вдоль Нальчикского сдвига были зафиксированы вертикальные перемещения до 19 мм/год, горизонтальные – до 6 мм/год.

С целью развития Северо-Кавказской региональной сети стационарных станций наблюдения спутников GPS/ГЛОНАСС в 2008 г. в здании Центра геофизических исследований установлена стационарная станция «Владикавказ» (код станции VLAD) (рис. 5). В стационарном режиме станция работает с 2008 г.

В результате совместных работ ИФЗ РАН и ЦГИ ВНИЦ РАН и РСО-А выполнено следующее: обсуждена концепция создания и развития Северо-Осетинской геодинамической сети, проведена рекогносцировка мест размещения пунктов GPS дискретных измерений, разработана конструкция знака пункта GPS, устанавливаемого на крышах зданий, один из которых установлен на территории г. Владикавказа (KM20) и выполнены GPS измерения на трех пунктах синхронно с работой на четвертом пункте с постоянной регистрацией спутниковых сигналов, которые будем считать исходной эпохой геодинамических исследований с применением спутниковых технологий в зоне Владикавказского глубинного разлома.



Рис. 5. Стационарная станция наблюдений спутников GPS/ГЛОНАСС «Владикавказ»

Оценка текущих координат проводилась методом PPP (Precise Point Positioning), реализованного в составе программного комплекса BERNESE 5.0 [Милюков и др., 2008]. Текущие значения координат для станции VLAD показаны на рис. 6. Оценки скоростей проводились относительно системы ITRF2005. Для станции VLAD получены следующие значения компонент скоростей: E $25,7 \pm 1,4$, N $14,5 \pm 0,9$, U $-3,6 \pm 2,4$, что соответствует горизонтальному вектору скорости $29,5 \pm 1,4$ мм/год, азимут

60,6 градусов. Данная величина соответствует, в общем, полю скоростей Северного Кавказа, полученного по данным станций NDCA – быстрое горизонтальное движение в северо-восточном направлении практически с одинаковыми скоростями, около 28 мм/год.

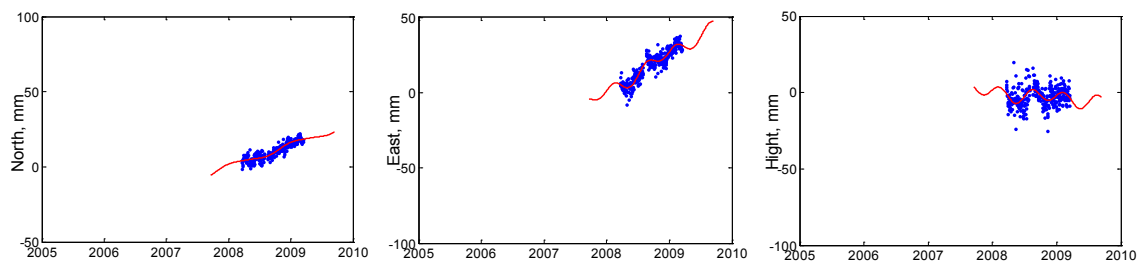


Рис. 6. Изменения (мм) текущих координат станции наблюдения спутников «Владикавказ»

Для определения вертикальных движений поверхности Земли в районах Главного хребта Кавказа в районе Баксанского ущелья уже в течение 20 лет проводятся:

1. Стационарные и относительные геодезические определения координат и высот долговременных геодезических и гравиметрических пунктов.
2. Абсолютные и относительные гравиметрические определения силы тяжести в районе Главного хребта Кавказа и на равнине, т.е. в районах с максимальными и минимальными вертикальными скоростями движения поверхности.

До настоящего времени работы по относительной гравиметрической съемке с целью уточнения вертикальных скоростей поднятия Главного хребта Кавказа выполнялись на гравиметрических пунктах узкодиапазонного и широкодиапазонного гравиметрических полигонов, созданных в 1970-1972 годах.

Постаменты пунктов гравиметрических полигонов расположены на открытой местности вблизи дорог. Качество гравиметрических измерений на этих пунктах страдает из-за влияния вибраций от автомобильных дорог и влияния атмосферных факторов (дождей, солнца, ветра, разностей наружных температур между наблюдениями и т.п.), приводящих к сильному искажению поступающей информации. Поэтому качественный результат относительного гравиметрического метода может быть достигнут только за длительный период наблюдений.

В 2010 году для повышения качества измерений было решено провести дополнительные относительные гравиметрические измерения на абсолютных гравиметрических пунктах. Совмещение абсолютных и относительных измерений, выполняемых на одних и тех же постаментах, выгодно по трем причинам:

1. В связи с тем, что пункты совмещены, поступающая информация дублируется, достоверность, и качество ее повышается.
2. В связи с тем, что пункты находятся внутри зданий, влияние окружающей среды минимизируется.
3. В связи с тем, что измерения проводятся по пунктам с абсолютным значением, автоматически происходит определение цены деления относительных гравиметров.

Работы по измерениям выполнялись группой специалистов ЦГИ ВНЦ РАН (Владикавказ) и ГАИШ МГУ (Москва) относительным гравиметром CG5 № 567 канадской фирмы Scintrex (рис. 7).

Для выполнения относительных измерений силы были выбраны следующие абсолютные гравиметрические пункты: «Ардон», «Владикавказ».

Пункт «Ардон» расположен в здании антенного комплекса «Антенные поля», принадлежащего МЧС России в районе города Ардон Республики Северная Осетия.



Рис. 7. Относительный гравиметр CG5 канадской фирмы Scintrex.

Пункт «Владикавказ» заложен в 2008 году. Пункт расположен в специально построенном одноэтажном здании ЦГИ ВНИЦ РАН и РСО-Алания. Марка заложена в постаменте размером 122x120 см высотой 120 см, установленном на галечном грунте. Марка находится на 7 мм ниже поверхности постамента.

Все измерения выполнялись в соответствии с «Инструкцией по гравиразведке» 1980 г. по схеме повторных связей типа А-В-А [ГОСТ 24284-80, Инструкция ... , 1980].

Гравиметр после включения прогревался не менее 2-х суток. Перед работами в гравиметре были проведены соответствующие юстировки и настройки.

Схемы измеренных приращений представлены на рис. 8. и рис. 9. На схемах красным цветом нанесены приращения силы тяжести вычисленные по данным аб-

солютных гравиметров. Синим цветом нанесены приращения силы тяжести, полученные по данным относительных гравиметров. Стрелки соответствуют увеличению силы тяжести. Значения приращений приведены в мкГалах (10^{-8}м/с^2).

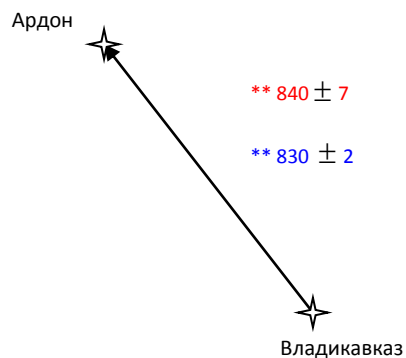


Рис.8. Схема измеренных приращений силы тяжести между пунктами измерений.

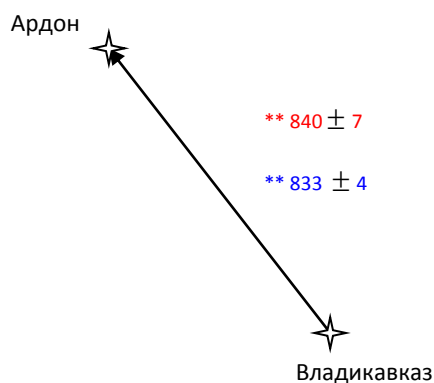


Рис.9. Схема исправленных приращений силы тяжести между пунктами измерений.

Основываясь на проведенных измерениях, а также на значениях приращений между пунктами, полученных ранее с помощью абсолютного гравиметра, можно сделать вывод, что на коротких дистанциях наблюдалось расхождение цены деления абсолютного и относительного гравиметров. Кроме того полученные результаты имеют большую погрешность, связанную с изломом рабочего дрейфа гравиметра CG5 № 567. Тем не менее, величина данной погрешности не выходит за рамки допустимой. Также следует отметить тот факт, что излом дрейфа прибора происходил спустя 2,5 часа после начала измерений. Однако в процессе последующей работы дрейф может приобрести линейный характер. Об этом свидетельствует тот факт, что в последние дни измерений происходило выполаживание кривой дрейфа.

Выводы

1. В связи с активизацией опасных природных процессов на Кавказе и, в частности, сходом ледника Колка 20 сентября 2002 года в конце 2003 года существующая Республиканская сейсмическая сеть наблюдений Центра была преобразована в сеть комплексных наблюдений «Кармадонский параметрический полигон».

2. В результате модернизации в 2006 г. была произведена замена устаревших регистраторов на приборы нового поколения «Дельта-Геон», что позволило увели-

чить продолжительность регистрации записей и наладить службу точного времени за счет использования GPS.

3. Целью функционирования сети «Кармадонский параметрический полигон» является разработка новой концепции повышения безопасности населения горных регионов и создание эталонных сценариев опасных геологических процессов.

4. Комплексная система наблюдений включает в себя сейсмологические, геодинимические и гравиметрические наблюдения.

5. С целью развития Северо-Кавказской региональной сети стационарных станций наблюдения спутников GPS/ГЛОНАСС в 2008 г. в здании Геофизического центра ВЦ РАН и РСО-А заложена стационарная станция «Владикавказ».

6. В 2008 году заложен гравиметрический пункт «Владикавказ», оснащенный современным гравиметром Scintrex CG-5. В 2010 году для повышения качества измерений были проведены дополнительные относительные гравиметрические измерения на абсолютных гравиметрических пунктах.

7. Таким образом, на территории РСО-А сформирована современная система наблюдений, что позволит решать актуальные задачи снижения рисков территории.

Литература

1. Баласанян С. Ю., Назаретян С. Н., Амирбекян В. С. Сейсмическая защита и ее организация. Гюмри: «Эльдорадо», 2004. – 436 с.

2. Бондырев И. В., Заалишвили В. Б. Современные геодинимические процессы Казбеги-Кельского района Центрального Кавказа. Институт географии им. В. Багратиони АН Грузии, Тбилиси, 2005. 154 с.

3. ГОСТ 24284-80 Гравиразведка и магниторазведка. Термины и определения.

4. Милоков В. К., Кануков А. С., Хубаев Х. М. Создание Северо-Кавказской региональной сети стационарных станций наблюдения спутников GPS/ГЛОНАСС // Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе / Труды III Кавказской международной школы – семинара молодых ученых. Владикавказ: ВЦ РАН и РСО-А, 2009. С. 332-335.

5. Инструкция по гравиразведке. Утверждена Мингео СССР, ГУНиО, ГУГК, ИФЗ АН СССР. – М., ВТУ, 1980.

6. Рогожин Е. А. Зоны ВОЗ и их характеристики для территории Республики Северная Осетия – Алания // Иновационные технологии для устойчивого развития горных территорий: Материалы /Международная конференция VI. 28-30 мая 2007г. – Владикавказ: Изд-во «Терек», 2007. С.283-284.

7. Шевченко В. И., Гусева Т. В., Лукк А. А., Мишин А. В., Прилепин М. Т., Рейлинджер Р. Э., Хамбургер М. У., Шемпелев А. Г., Юнга С. Л. Современная геодинимика Кавказа (по результатам GPS-измерений и сейсмологическим данным) // Физика Земли, 1999, №9.

8. Шемпелев А. Г. Информационный отчет о работах по изучению перемещений земной коры Северного Кавказа и Предкавказья. Ессентуки, ТГФ, 2000.

9. Becker M. H., Reinhart E., Marjnovic M., Freitag P., Kumkova I., Olifirov V., Finkelstein A., Shempelev A. GPS Observations of a Profile Black Sea to the Northern Caucasus: Preliminary Results after the First Measurements. In: XXI GA IUGG «Geophysics and the Environment», Abs. Week A, Boulder, Colorado, July 2-14, 1995, A47.

MONITORING OF HAZARDOUS NATURAL AND TECHNOGENIC PROCESSES ON THE TERRITORY OF RNO-ALANIA

V.B. Zaalishvili, Sc. Doctor (Phys.-math.), prof., N.I. Nevskaya, Sc. Candidate (Geol.), L.N. Nevsky, D.A. Melkov, Sc. Candidate (Tech.), B.V. Dzeranov, Sc. Candidate (Geol.), A.S. Kanukov, V.D. Shepelev

Center of Geophysical Investigations of Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences and the Government of the Republic of North Ossetia-Alania, Vladikavkaz, Russia, e-mail: cgi_ras@mail.ru

In connection with activation of hazardous and technogenic processes in Caucasus and, in particular, fall of glacier Kolka (happened on 20 September 2002) existing republican seismic network was reconstructed in network of complex observations "Karmadon parametric range". The goal of network operation is investigation of nature-technogenic hazardous geological processes in mountain regions.

Keywords: monitoring, seismological observations, geodynamical networks, gravimetric observations

УДК 550.33.550.837.3

ВАРИАЦИИ КАЖУЩЕГОСЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В СКВАЖИНЕ В РАЙОНЕ ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА В ПЕРИОД СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

© 2013 Ш. Г. Идармачев, д.ф.-м.н., В. И. Черкашин, д.г.-м.н., И. А. Алиев, к.ф.-м.н., А. А. Алибеков, И. Ш. Идармачев

Институт геологии Дагестанского научного центра РАН, Россия, 367030, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 75, e-mail: dangeo@mail.ru.

В статье приводится анализ данных результатов электрического зондирования осадочных пород в скважине, полученных на станции «Избербаш», расположенной на юге России в районе Восточного Кавказа. Для наблюдения за кажущимся сопротивлением пород используется специальная установка, позволяющая производить высокоточные непрерывные измерения с погрешностью, не превышающей 0,05%. Анализ данных за период наблюдений 2010-2011 гг. показывает влияние сейсмического процесса сильных землетрясений на гидродинамический режим разломной зоны. Аномалии кажущегося сопротивления перед относительно близкими землетрясениями обусловлены криповыми подвижниками в области подготовки очага на завершающей стадии, которые вызывают сжатие-растяжение водонасыщенных пород, где расположены электроды измерительной установки.

Ключевые слова: кажущееся электрическое сопротивление, магнитуда, афтершоки, электрическое поле, землетрясение, фильтрация воды.

В последние годы все больше внимания исследователей привлекает предвестники землетрясений, которые регистрируются на значительных удалениях от очагов сильных землетрясений. Так, например, за несколько месяцев до Аляскинского землетрясения 1964 г. ($M=8,4$) на станции Талгар (Средняя Азия), расположенной на расстоянии 7000 км от эпицентра землетрясения, общее направление деформации сменилось от сжатия к растяжению, а после землетрясения все восстановилось [Рикитаки, 1979]. Данные, полученные высокочувствительным электровариометром сопротивления в Японии [Ymazaki, 1980] показали, что перед сильными землетрясениями $M=7,0$, происходящими на эпицентральной дистанции до 1000 км были зафиксированы аномалии длительностью $1\div 10$ часов. Подобного рода аномалии электрического сопротивления наблюдались на Ашхабадском сейсмопрогностическом полигоне [Волкова и др., 1986]. В районе нефтегазового месторождения на юге России (в Дагестане) перед сильными землетрясениями в 2000 г. ($M=6,8$, $M=7,4$), происшедшими в зоне крупного разлома Копетдаг-Кавказ наблюдались вариации кажущегося сопротивления импульсного характера с нарастающей амплитудой [Абдуллаев и др., 2011].

По мнению автора [Соболев, 1993] такие предвестники, возникающие на больших удалениях от очага землетрясения, относятся к 3 классу (триггерным), которые имеют планетарный характер. Предполагается, что они могут быть обусловлены аномалиями вращения Земли и земного ядра, гравитации планет, вспышек на Солнце, подземной гидросферы и др. Автор [Сидорин, 1994] считает, что квазипериодические вариации геофизических полей связаны с сейсмогравитационными колебаниями, пульсациями. Резкое возрастание пульсаций геофизических полей связано

с неустойчивым состоянием среды, поэтому предлагает использовать их для диагностики такого состояния среды.

Ниже рассмотрены вариации импульсного характера кажущегося сопротивления осадочных пород, полученные авторами на одном из скважинных пунктов наблюдений, расположенных на юге России в районе Восточного Кавказа.

Исходные данные

В работе использованы данные кажущегося сопротивления осадочных пород в скважине, полученные авторами в Дагестане на станции «Избербаш» с координатами $\varphi=42,5$; $\lambda=47,8$ за период наблюдений 2010-2012 гг. Расположение пункта наблюдений показано на рис. 1. Здесь же приведена схема глобальной тектоники плит, согласно которой Аравийская плита перемещается на Север со скоростью 2-3 см/год, что определяет происходящие здесь тектонические процессы. Турецкая и Иранская субплиты выдавливаются на Запад и Восток соответственно, а Восточный Кавказ оказывается зажатым между Кавказом и Скифско-Туранской плитой (рис. 1). В свою очередь территория Дагестанского клина имеет генетическую связь с областью активного сочленения Кавказ-Копетдагской альпийской геологической структурой. Эта область, разделяющая Южный и Северный Каспий характеризуется узкой полосой очагов землетрясений, максимальными градиентами изостатических гравитационных аномалий, магнитного поля, теплового потока и другими геофизическими полями [Уломов и др., 1999].

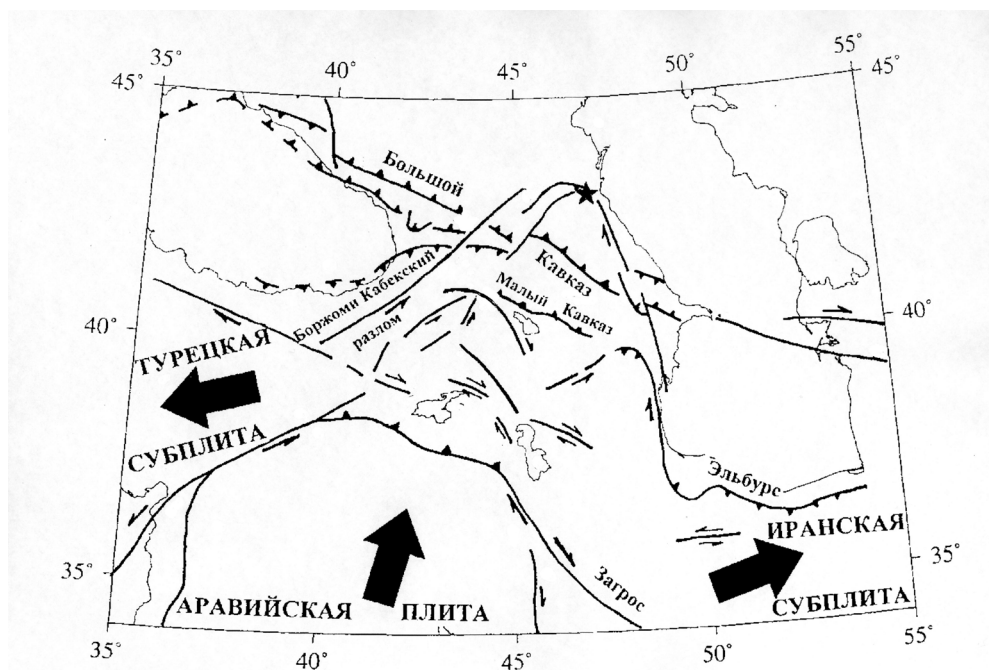


Рис. 1. Схема пункта наблюдений за кажущимся сопротивлением, разломов и движения субплит (пункт наблюдений отмечен звездочкой)

Для измерения кажущегося сопротивления использовалась специально разработанная для прецизионных наблюдений станция «Георезистор» [Идармачев и др., 2001] непрерывного действия, которая состоит из следующих основных узлов: 24-х разрядного АЦП, сопряженного с ПК, слаботочного питающего генератора разнополярных импульсов и программного обеспечения. Для электрического зондирования

ния используется симметричный 4-х электродный зонд, установленный в скважине глубиной 50 м. Расстояние между питающими электродами равно 9 м. Приемные электроды разносом 3 м расположены в середине между питающими электродами. Геометрический коэффициент установки равен $K=19$. В режиме вариометра относительная погрешность суточных данных не превышает 0,05%.

Осадочные породы (сарматские отложения) области расположения измерительного зонда полностью водонасыщены и имеют низкое значение удельного электрического сопротивления, $\rho=1,4$ Ом·м. Для измерений используется специально пробуренная не обсаженная скважина, которая после установки зонда была заполнена глинистым раствором, для того, чтобы изолировать зонд от влияния атмосферных осадков, давления и других экзогенных помех.

На рис. 2 представлен график нормированных значений кажущегося сопротивления для периода наблюдений 2010-2012 гг.

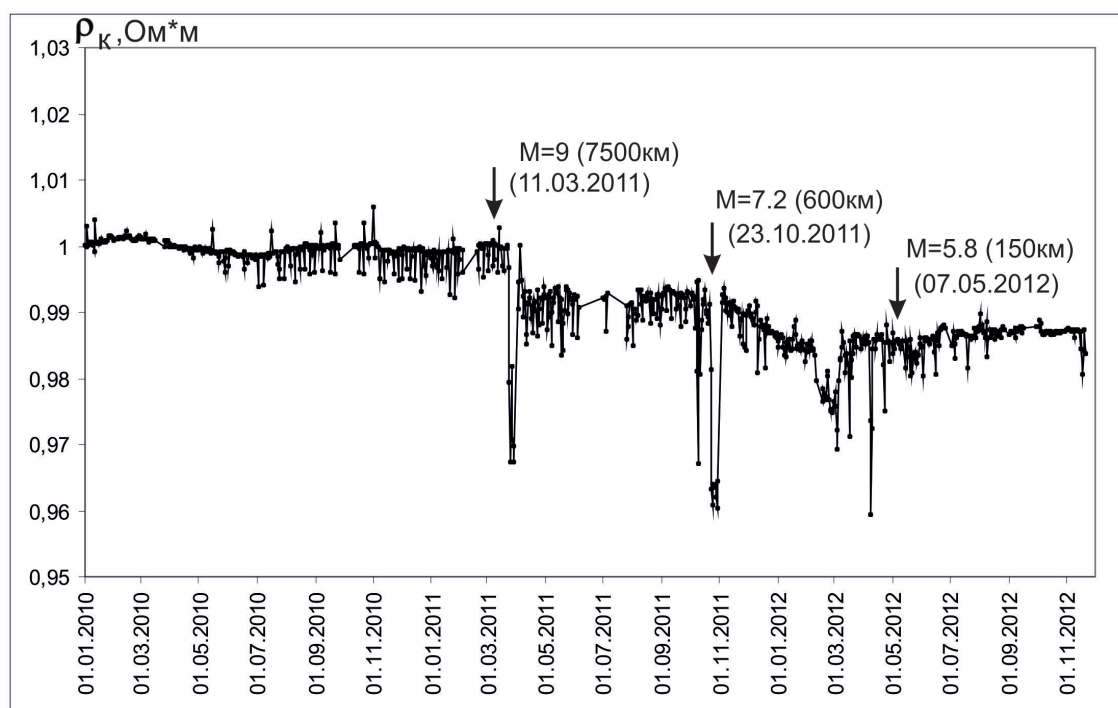


Рис. 2. График кажущегося сопротивления, полученный на станции «Избербаш» в период сильных землетрясений в Японии 11.03.2011, Турции 23.10.2011 и Азербайджане 07.05.2012 (в скобках указаны эпицентральные расстояния и числа землетрясений)

В этом периоде наблюдений в Японии 11.03.2011 произошло катастрофическое землетрясение с максимально возможной магнитудой $M=9,0$ и длиной разрыва в очаге 400 км. Развернутый график, относящийся к данному событию показан на рис. 3.

Перед землетрясением видны выбросы, повторяющиеся через интервалы времени $\Delta t=5-6$ суток. Амплитуды выбросов составляют 0,5-0,8%, т. е. превышают погрешность измерений на порядок, поэтому они не могут быть обусловлены аппаратурой. Сразу после землетрясения происходит нарушение формы импульсов, которые наблюдались до толчка. Далее, спустя 12 суток после землетрясения, начиная с 23.03.2011, происходит резкое уменьшение кажущегося сопротивления на 3,3%. Длительность аномалии равна 13 суткам. После восстановления аномалии, начи-

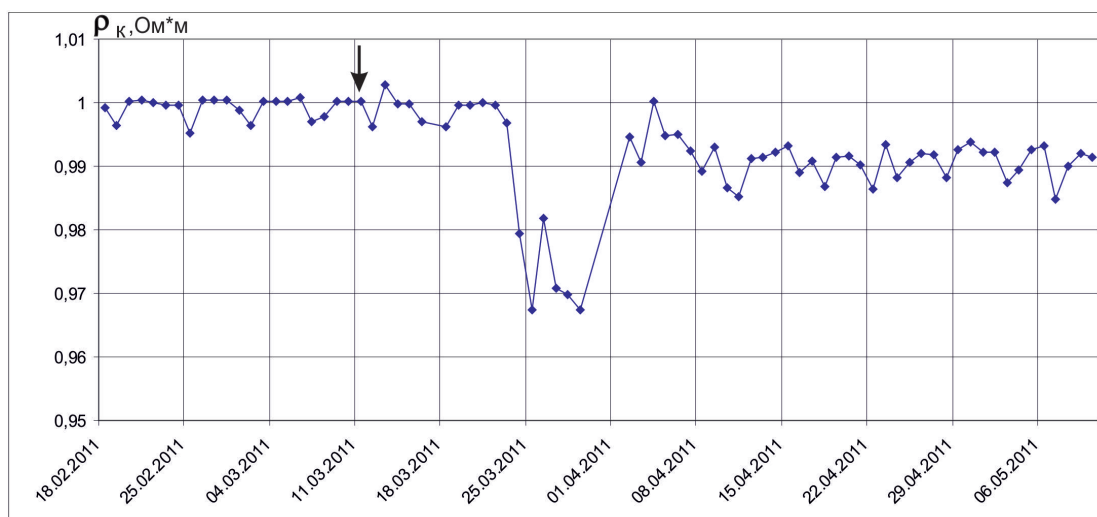


Рис. 3. Фрагмент графика кажущегося сопротивления до и после мегаземлетрясения в Японии 11.03.2011 (время землетрясения отмечено стрелкой)

ная 04.04.2011, кажущееся сопротивление вновь уменьшается на 1,5% в течение 8 суток, но в последующем восстановление кривой не происходит, что свидетельствует о процессе неупругой деформации пород. После смещения кривой на нижнюю точку колебательный процесс, который наблюдался до землетрясения, вновь повторяется.

Природа повторяющихся выбросов на графике в относительно спокойное время и аномалии, которые появляются после землетрясения, не ясна, однако можно предположить, что нарушение импульсных колебаний периодом 5-6 суток вызвано волновым процессом в блоковой системе. Сейсмические волны, вызывая сжатие-растяжение водонасыщенных пород приводят к изменению их электрического сопротивления. С другой стороны волновой процесс в зоне разлома может вызвать движение воды снизу вверх по разлому. Этот процесс в миниатюре довольно наглядно представлен на видео в Интернете, заснятого в парке Токио во время землетрясения 11.03.2011, где показано, как во времени меняются зазоры трещин на асфальтовой дорожке, а в отдельных местах вода, пульсируя, фонтанирует из трещин.

Во время волнового процесса инжекция воды снизу вверх по разлому может вызвать уменьшение кажущегося сопротивления в результате изменения порового пространства породы и минерализации воды, где находится измерительный зонд. Запаздывание аномалии от времени, когда произошло землетрясение, связано с тем, что движение воды из нижних слоев в верхние занимает определенное время, которое зависит от фильтрационных свойств пород. Если процесс движения воды снизу вверх по разломной зоне приобретает масштабный характер, то оно способно вызвать подвижку блоков по разлому в виде землетрясения или крипа. На рис. 3 видно, после восстановления бухтообразной аномалии сразу начинается уменьшение кажущегося сопротивления, которое показывает смещение графика относительно уровня, которое было до землетрясения. Данное смещение графика можно интерпретировать как результат неупругой деформации по разлому. Таким образом, все три разные аномалии кажущегося сопротивления после землетрясения позволяют дать им следующую интерпретацию. Процесс сжатия-растяжения пород в зоне

разлома приводит к выдавливанию воды по направлению снизу-вверх, что может привести к подвижке блоков в форме крипа.

За период наблюдений второе сильное землетрясение магнитудой $M=7,2$ (с координатами $\varphi=38,7$; $\lambda=43,5$) произошло 23.10.2011 в Турции в районе озера Ван на расстоянии 600 км от пункта наблюдения. Перед ним зафиксированы две различной формы аномалии уменьшения кажущегося сопротивления с амплитудами 2,8 Ом·м и 3,4 Ом·м. Длительности первого скачкообразного изменения равно трем суткам, а второго одиннадцати суткам. Главный толчок землетрясения совпадает с начальным периодом второй аномалии. Уменьшение кажущегося сопротивления началось 22 числа, т. е. за сутки до землетрясения. Аномалии перед сильным землетрясением позволяют предположить, что они обусловлены краткосрочными предвестниками деформационной природы, которые приводят к сжатию-растяжению зоны разлома.

Из землетрясений, которые произошли в 2012 г. в регионе можно выделить одно глубокофокусное ($h=80$ км) с магнитудой $M=5,8$ (по данным ГС РАН), а по данным NEIC (Геологическая служба США) магнитуда главного толчка $M_w=5,6$ ($h=11$ км). Эпицентр располагается в 150 км от пункта наблюдения. Перед ним (см. рис. 2), вначале наблюдается медленное понижение кажущегося сопротивления на 0,6% за период времени 03.01-09.02.2012, а затем скорость уменьшения резко возрастает, максимальная амплитуда аномалии составляет 2,1%. После достижения графиком своего минимума кажущегося сопротивление увеличивается в течение 5 суток, но при этом полного восстановления кривой до уровня, которое было в начале графика, не происходит. Такое смещение графика по вертикали является характерным признаком неупругой деформации в среде.

На рис. 2 также видны скачкообразные изменения кажущегося сопротивления перед землетрясением 07.05.2012 длительностями равными 3-4 суткам и амплитудами 1,3-2,6%. Подобного рода скачки наблюдались и перед землетрясением в Турции 23.10.2011. В отличие от первых двух случаев землетрясений после главного толчка третьего землетрясения уменьшение кажущегося сопротивления значительной амплитуды не наблюдается.

В заключение анализа полученных данных можно сделать вывод о том, что зарегистрированные на станции «Избербаш» аномалии кажущегося сопротивления до и после сильных землетрясений связаны с процессами сжатия-растяжения пород в зоне разлома. Уменьшение кажущегося сопротивления после катастрофического землетрясения в Японии, в результате воздействия сейсмических волн, указывает на изменение флюидного режима в небольшом объеме пород (100 м^3), в центре которого находится измерительный зонд. Очевидно, что это не «точечный» процесс, а скорее всего под гидродинамическим воздействием оказывается разломная зона, так как в них деформационные процессы максимальны. Процесс смещения графика по оси ординат после сильных землетрясений показывает на неупругую деформацию породы, которая является следствием криповой подвижки блоков по разлому.

Полученные нами данные подтверждаются результатами электрометрических наблюдений в других районах. Так, например, авторы работы [Авагимов, и др., 1986] показали, что аномалии электросопротивления и электротеллурического поля перед землетрясениями на Ашхабадском полигоне обусловлены изменением флюидодинамической обстановки в разломной зоне под действием поля тектонических напряжений в земной коре.

Для проверки данного вывода параллельно с электрическим зондированием на станции «Избербаш», начиная с 2012 г. были начаты измерения электрического сигнала на приемных электродах. Разность потенциалов на электродах складывается из электрического поля, возникающего около них и разности потенциалов поляризации. Величину поляризации электродов можно считать стабильной после 5 лет (2007-2011 гг.) их установки в скважину, тогда вариации электрического сигнала $\Delta U_{эл.}$ на электродах будут определяться фильтрационными процессами в породе, которые происходят в окрестности электродов. Амплитудой сигнала электротеллурической природы практически можно пренебречь для диполя длиной 3 м. Если порода испытывает сжатие или растяжение, то такой процесс приводит возникновению градиента давления поровой воды, следовательно, и электрокинетическим процессам в породе. На рис. 4 приведены графики суточных значений ρ_k и $\Delta U_{эл.}$ для периода времени за 2012 г.

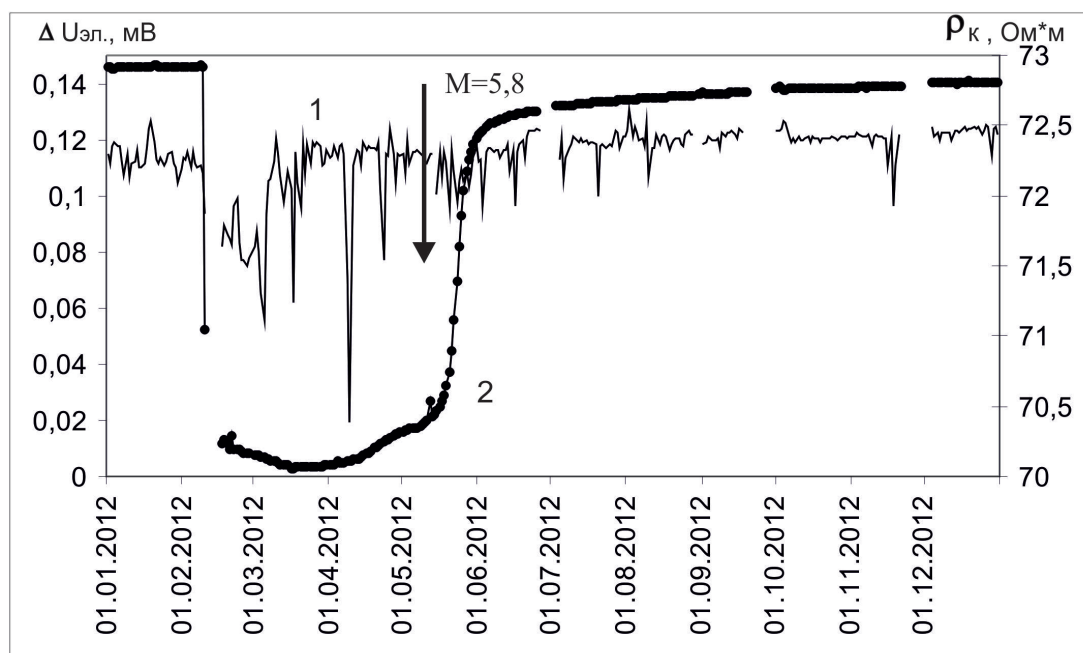


Рис. 4. Графики кажущегося сопротивления (1) и электрического поля (2) в скважине на станции «Избербаш» перед землетрясением в Азербайджане с $M=5,8$ (стрелкой отмечено время главного толчка)

Из них видно, что аномалии кажущегося сопротивления совпадают с изменением электрического поля, при этом 10.02.2012 оба параметра ρ_k и $\Delta U_{эл.}$ уменьшаются скачком на 0,18% и 93,6 мВ, соответственно. После этого формы аномалий обоих параметров отличаются друг от друга. Для кажущегося сопротивления минимум достигается через 28 суток от начала скачка, затем наблюдается процесс восстановления графика в течение 16 суток. Для электрического поля процесс уменьшения после скачка продолжается в течение 45 суток, при этом амплитуда изменения поля составляет 142 мВ, после чего оно медленно восстанавливается на 20 мВ относительно минимального уровня сигнала. После землетрясения 07.05.2012 процесс восстановления поля происходит практически скачкообразно. Изменение электрического поля на электродах зонда столь длительный период, более 3 месяцев, перед землетрясением может быть вызвано процессом сжатия или растяжения водона-

сыщенных пород в результате изменения напряженно-деформированного состояния блоков земной коры. Отсутствие аномалии после главного толчка землетрясения 07.05.2012 можно объяснить слабым воздействием на разломную зону, так как магнитуда его на несколько порядков ниже, чем для землетрясений 11.03.2011 и 23.10.2011.

В заключении необходимо отметить, что авторская интерпретация полученных данных не является окончательной, могут быть и другие механизмы, но становится очевидным воздействие мегаземлетрясений $M \geq 9$ на разломные зоны, например, Суматранского 26.12.2004 после которого произошло ряд сильных землетрясений по всему земному шару. Продолжительность воздействия сейсмических волн от данного землетрясения длилось почти 5 минут. Эти вопросы требуют проведение дальнейших исследований с расширением региона экспериментальных наблюдений на разломах. Полученные нами данные также подтверждают результаты авторов [Авагимов и др., 1986] на Ашхабадском полигоне: 1 – о фильтрационной природе аномалий; 2 – возникновение аномалий $\Delta U_{\text{эл}}$ величиной десятки милливольт вне зависимости от длины разносов приемных электродов.

Выводы

1. На одном из наблюдательных пунктов на западном побережье Каспия, где проводятся прецизионные измерения кажущегося сопротивления осадочных пород в скважине, за период 2011-2012 гг. зарегистрированы следующие аномалии кажущегося сопротивления пород:

- после катастрофического землетрясения в Японии ($M=9$), произошедшего 11.03.2011 на удалении 7500 км от измерительного пункта;
- до и после сильного землетрясения $M=7,2$, произошедшего на территории Турции на расстоянии 600 км;
- перед землетрясением умеренной силы $M=5,8$, произошедшим на границе Азербайджана, Грузии и Дагестана на расстоянии 150 км.

2. Аномалии кажущегося сопротивления обусловлены процессом сжатия-растяжения пород. Воздействие сейсмического процесса от сильных удаленных землетрясений приводит к кратковременному изменению флюидодинамического режима зоны разлома, на котором расположен пункт наблюдений. Запаздывание аномалии от момента, когда произошло землетрясение, объясняется движением флюида снизу вверх по разлому.

3. Аномалии кажущегося сопротивления и электрического поля перед относительно близкими землетрясениями, возможно, связаны с изменением напряженно-деформированного состояния блоков земной коры.

Литература

1. Абдулаев Ш.-С. О., Идармачев Ш. Г., Алиев М. М. и др. Вариации кажущегося сопротивления горных пород, связанные с геодинамическими процессами в районе нефтегазового месторождения // Вулканология и сейсмология. 2011. №3. С. 65-72.
2. Авагимов А. А., Жуков В. С., Лагутинская Л. П., Милькис М. Р. Связь электротеллурических потенциалов с движением подземных вод // Прогноз землетрясений. 1986. №7. С. 169-175.
3. Волкова Е. Н., Камшилин А. Н., Эфендиев М. И. Некоторые результаты изучения среды электровариометром на Ашхабадском геодинамическом полигоне // Прогноз землетрясений. Душамбе: Изд. «Дониш» 1986. №7. С. 90-94.

4. Идармачев Ш.Г., Алиев М.М., Абдулаев Ш-С. О., Хаджи Б.А. Станция для электрического зондирования «Георезистор» // Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов. Мат. Междунар. конф. Воронеж. 2001. С. 86-87.

5. Рикитаки Т. Предвестники землетрясений. М.: Мир, 1979. 388 с.

6. Сидорин А. Я. Квазипериодические флуктуации геофизических полей при переходе среды в неустойчивое состояние // Изучение природных вариаций геофизических полей. М.: ИФЗ РАН, 1994. С. 79-89.

7. Соболев Г. А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 308 с.

8. Уломов В. И., Поляков Т. П., Медведева Н. С. Динамика сейсмичности бассейна Каспийского моря // Физика Земли. 1999. № 12. С. 76-82.

9. Yamazaki Y. Preseismic resistivity changes recorded by the resistivity variometer (1), (May 14, 1968-February 28, 1975) // Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo. 1980. Vol. 55. P. 755-794.

VARIATIONS OF APPARENT RESISTIVITY OF ROCKS IN THE WELL IN THE EAST CAUCASUS DURING STRONG EARTHQUAKES

**S. H. Idarmachev, Sc. Doctor (Phys.-math.), V. I. Cherkashin, Sc. Doctor (Geol.),
I. A. Aliyev, Sc. Candidate (Phys.-math), A. A. Alibekov, I. S. Idarmachev**

Geology Institute of the Dagestan Scientific Center, Russian Academy of Sciences,
Makhachkala, Russia

This article provides an analysis of the results of electrical sensing of sediment in the well received at the station «Izberbash», located in the south of Russia in the East Caucasus. To observe the apparent resistivity, a special installation that performs high-precision continuous measurements with an error not exceeding 0.05%. Analysis of the data for the observation period 2010-2011 shows the influence seismic process of strong earthquakes in the hydrodynamic regime of the fault zone. Apparent resistivity anomalies before earthquakes are caused by relatively close creep ascetics in training focus on the final stage, which causes compression and stretching water-saturated rocks, where the electrode measuring system.

Keywords: apparent resistivity, magnitude, aftershocks, the electric field, earthquake, water filtration.

УДК 550.34

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ТЕРРИТОРИИ ТЕРСКО-КАСПИЙСКОГО ПРОГИБА (ТКП)

© 2013 И. А. Керимов, д.ф.-м.н., профессор, М. Я. Гайсумов, к.г.-м.н.,
С. В. Бадаев, О. М. Гайсумов, А. А. Додуев

Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова, Россия 364051, Чеченская Республика, г. Грозный, пл. Орджоникидзе, 100, e-mail: lbragim_Kerimov@mail.ru

С целью изучения пространственно-временных характеристик землетрясений Терско-Каспийского прогиба был составлен сейсмический каталог за период 1960-2011 гг. Изучено распределение числа землетрясений по времени суток и их связь со временами года. Составлены графики повторяемости землетрясений для десятилетних периодов. Получено значение наклона графика повторяемости $\gamma = 0,52$, согласующееся с данными, полученными по Кавказу. Это позволяет предположить, что и для относительно малых регионов наклон графика повторяемости землетрясений сохраняет среднее значение, полученное в целом для Кавказа. Способом распределения рассчитана сейсмическая активность A_{10} для периода $T_{\min}=51$ лет и землетрясений энергетических классов K , лежащих в диапазоне от 9 до 16. Анализ карты A_{10} свидетельствует о значительной неравномерности сейсмической активности по площади. Территориально зоны повышенной сейсмической активности приурочены к эпицентральной зонам сильных землетрясений и соответствуют известным сеймотектоническим зонам.

Ключевые слова: каталог, землетрясения, гистограмма, повторяемость, сейсмическая активность

С целью анализа сейсмичности региона был составлен каталог землетрясений для трапеции, ограниченной параллелями 42° – 44° с.ш. и меридианами 44° – $47,5^{\circ}$. Каталог охватывает период 1960-2011 гг. и включает 6770 событий 7-16 энергетических классов. Для составления каталога использованы опубликованные материалы [Ананьин, 1977; Асманов и др., 2003; Атлас ..., 1962; Землетрясение ..., 1990; Керимов и др., 1992; Малышева и др., 1979; Новый каталог ..., 1977; Региональный каталог ..., 1980; Смирнова и др., 1973, 1974; Смирнова, 1983; Шебалин, 1974; Геофизическая служба ..., 2012; Каталог землетрясений ..., 2012].

Распределение числа землетрясений по времени суток 1960-2007 гг. Ранее приуроченность большинства землетрясений к ночным и вечерним часам объяснялась их четкой фиксацией при отсутствии городских шумов и прочих помех. В настоящее время при современной инструментальной записи землетрясений такое объяснение не может быть удовлетворительным. Очевидно, объяснение следует искать в характере суточного вращения Земли [Уткин и др., 2012]. Сама по себе приуроченность большинства землетрясений к вечерним и ночным часам дает некоторые указания на характер сейсмического режима Земли, однако не имеет отношения к сейсмогенезису [Смирнова и др., 1973].

Были составлены гистограммы распределения числа землетрясений по времени суток для десятилетних периодов. На рис. 1. приведена суммарная гистограмма для всего изучаемого периода.

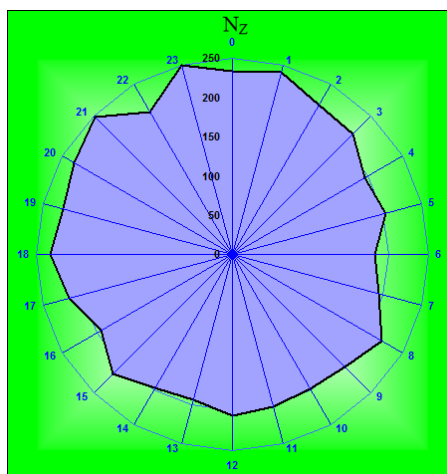


Рис. 1. Распределение числа землетрясений по времени суток 1960-2007 гг.

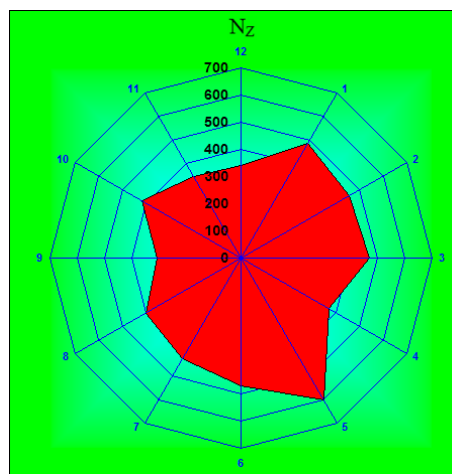


Рис. 2. Распределение землетрясений по временам года 1960-2007 гг.

Связь землетрясений с временами года. Анализ наиболее достоверных материалов за период 1960-2007 гг. обнаруживает приуроченность наибольшего количества землетрясения к весне (1446). Летом, осенью и зимой число землетрясений много меньше (1072-1302). Увеличение числа землетрясений весной объясняется характером вращения Земли вокруг Солнца.

Земля вращается вокруг Солнца по орбите, имеющей форму эллипса. Среднее расстояние между Солнцем и Землей составляет 150 млн. км. Самое кратчайшее расстояние между Солнцем и Землей бывает в декабре – январе, наибольшее в июне – июле. Разница между наименьшим и наибольшим расстояниями составляет 5 млн. км. Очевидно, при кратчайшем расстоянии между Солнцем и Землей твердые массы Земли наиболее чувствительны к притягательному действию Солнца и если землетрясение подготовлено в Земле другими причинами, то оно произойдет весной быстрее, нежели при меньших притягательных воздействиях Солнца в другие времена года.

По результатам анализа построены гистограммы распределения числа землетрясений по временам года для десятилетних периодов. На рис. 2. приведена гистограмма распределения числа землетрясений по временам года для периода 1960-2007 гг.

Распределение числа и энергии землетрясений за период 1960-2011 гг. Построены линейные гистограммы распределения числа и энергии землетрясений по годам выделенных ранее десятилетних периодов, соответственно на рис. 3 (а, б) за весь изучаемый период. Из анализа гистограмм можно сделать вывод об изменении сейсмологической активности региона по времени.

Землетрясения и солнечная активность (1994-2005 гг.). Предполагается, что влияние солнечной активности на тектонические процессы осуществляется через изменение угловой скорости вращения Земли. Н. Стойко установил связь глубоководных землетрясений Земли с изменением угловой скорости. А. Д. Сытинский на основании сопоставления солнечных и сейсмических данных за 1957-1960 гг. пришел к выводу, что землетрясения имеют прямую связь с солнечной активностью и возникают за счет быстротекущих процессов, вызванных очевидно, скачкообразными изменениями угловой скорости [Сытинский, 1963].

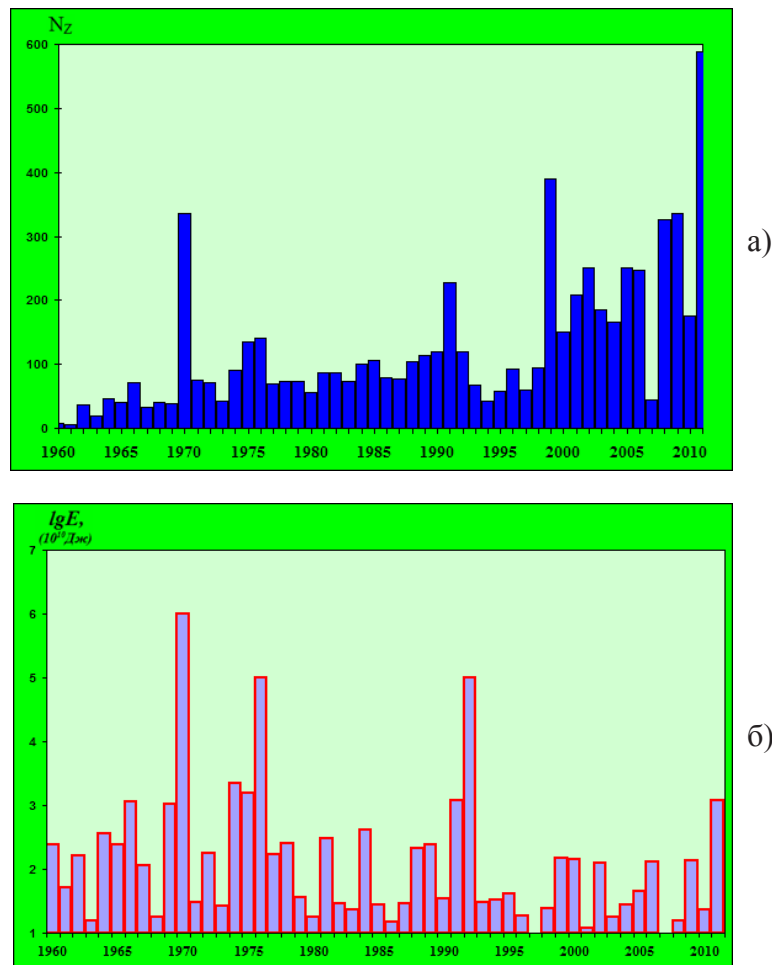


Рис. 3. а) График распределения числа землетрясений;
б) график распределения энергии землетрясений

Известные случаи изменения угловой скорости происходили в 1897, 1920, 1957 г. По ряду причин мы не можем провести статистическую обработку материалов сейсмичности на Северном Кавказе, в спокойные годы и в годы изменения угловой скорости. В 1897 г. инструментальной записи землетрясений еще не велось, в 1920 г. единственная в то время на Северном Кавказе Пятигорская сейсмическая станция прервала свою работу. В 1957 г. – в год изменения угловой скорости вращения Земли – на Северном Кавказе действительно наблюдался рой землетрясений. В центральной и восточной частях Северного Кавказа в 1957 г. произошло 271 землетрясение, а за шесть последующих лет – с 1958 по 1963 г., – лишь 156 землетрясений. Вспышка сейсмической активности 1957 г. может быть объяснена изменением ротационного режима Земли – одной из многих причин, порождающих сейсмичность Земли.

Наиболее известным, и изученным индексом солнечной активности являются солнечные пятна. Изменение интенсивности солнечных пятен подчиняется 11-летней цикличности (цикл Швабе-Вольфа), хотя обнаружен еще и 80-90-летний (вековой) цикл солнечной активности. Солнечные пятна являются активными областями Солнца, областями сильных горизонтальных и вертикальных течений газов, находящихся в вихревом движении. И извержения газов из недр Солнца по-

сылают к Земле усиленный поток ультрафиолетовых лучей и потоки космических лучей.

Известно, что испускаемые Солнцем лучи и частицы производят заметное влияние на некоторые земные явления (наблюдаются яркие полярные сияния, возникают сильнейшие магнитные бури, начинают течь теллурические токи, увеличивается интенсивность радиоволн). По данным исследований Международного геофизического года, пояса заряженных частиц являются промежуточным звеном во всех взаимодействиях между Солнцем и Землей.

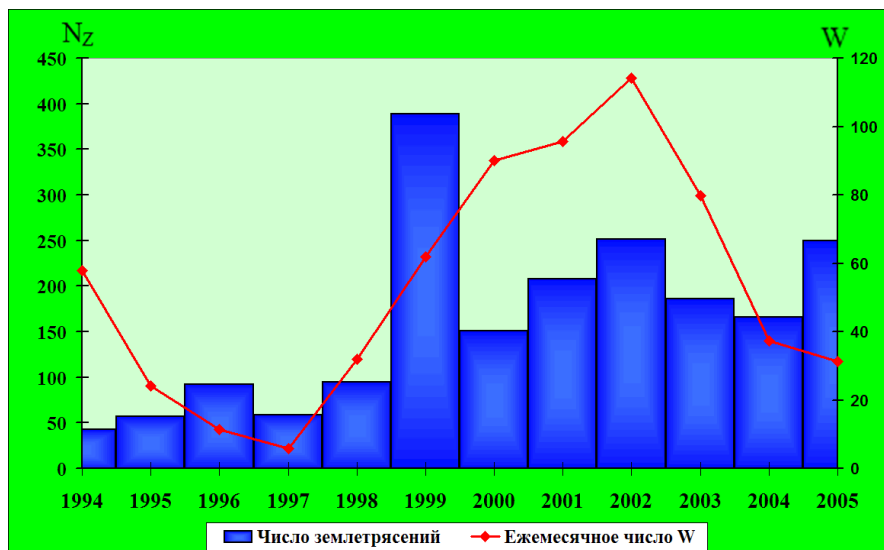


Рис. 4. Распределение количества землетрясений и относительных чисел солнечных пятен за 1994-2005 гг.

График повторяемости (и соответственно закон повторяемости землетрясений) является главнейшей характеристикой сейсмического режима [Захарова, 1972; Ризниченко, 1985]. График повторяемости представляет собой статистическую функцию распределения частоты – N возникновения землетрясений по энергетическим классам $K = \lg E$. В большинстве случаев график повторяемости землетрясений в первом приближении прямолинеен. В этом случае он определяется тремя главными параметрами сейсмического режима:

1) наклон графика повторяемости землетрясений γ ;

2) сейсмическая активность, A – начальная ордината этого графика для фиксированного значения K , обычно равное 10;

3) величина максимально возможного землетрясения K_{max} , которая определяет правое окончание графика повторяемости. Существуют представления, что график повторяемости землетрясений отра-

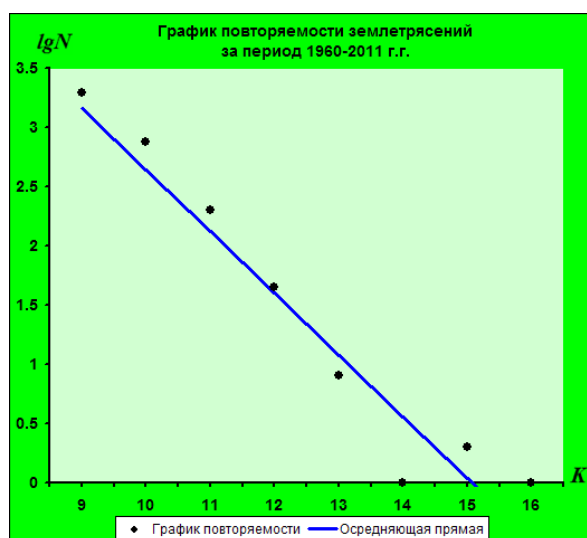


Рис. 5. График повторяемости землетрясений

жает ряд общих закономерностей разрушения твердых тел [Захарова, 1972; Ризниченко, 1985].

Для изучаемого региона с целью построения графика повторяемости землетрясений были использованы данные по сейсмичности за 48 лет (1960-2007 гг.), начиная с предствительных землетрясений $K=9$. График повторяемости землетрясений был построен путем определения в пределах каждого класса ($K \pm 0,5$) числа землетрясений.

Были составлены графики повторяемости землетрясений для десятилетних периодов. На рис. 5. приведен график повторяемости землетрясений для периода 1960-2011 гг. Из него видно, что, действительно, в первом приближении этот график имеет прямолинейную форму. Здесь же приведена осредняющая прямая, полученная методом наименьших квадратов и характеризующая закон повторяемости землетрясений:

$$\lg N = 7,84 - 0,52K \quad (1)$$

Для этого графика параметр γ равен 0,52. Это значение согласуется с данными, полученными по Кавказу [Захарова, 1972; Ризниченко, 1985]. Полученный результат позволяет предположить, что и для относительно малых регионов наклон графика повторяемости землетрясений сохраняет среднее значение, полученное в целом для Кавказа, Это, по-видимому, справедливо лишь для достаточно большого интервала времени.

Наклон γ графика повторяемости землетрясений имеет большое теоретическое и практическое значение и может, в частности, использоваться для прогноза сильных землетрясений. Для этой цели необходимо анализировать флуктуацию параметра γ во времени. Перед большим землетрясением значение параметра γ уменьшается с последующим увеличением после землетрясения [Захарова, 1972; Ризниченко, 1985].

Анализ данных повторяемости землетрясений (рис. 5) свидетельствует, что график повторяемости имеет ступенчатую форму. Для территории ТКП достоверные различия можно установить между значениями повторяемостей землетрясений 9 и 10, 10 и 11, 12 и 13, 13 и 14 классов. Различия между значениями повторяемостей землетрясений 14 и 15 классов не достоверны. П. Н. Николаевым (1978) для территории Кавказа и других районов нашей страны были получены графики повторяемости землетрясений ступенчатой формы, и установлено для территории Кавказа наличие достоверных различий между средними значениями повторяемости землетрясений 9 и 10, 10 и 11, 12 и 13 энергетических классов и отсутствие достоверных различий между средними значениями повторяемости землетрясений 11 и 12, 13 и 14, 14 и 15 классов.

Сравнительный анализ графиков повторяемости землетрясений для Кавказа в целом и для Чечено-Ингушетии показывает, что первый имеет двухступенчатую форму, а второй характеризуется наличием только одной ступени. Для получения графика повторяемости землетрясений Кавказа П. Н. Николаевым (1978) были использованы данные за 1962-1971 гг., в нашем же случае за 1960-2007 гг. Это, а также разный охват территорий может служить объяснением различия между указанными графиками повторяемости землетрясений.

Сложная форма графика повторяемости землетрясений отражает взаимодействие различных факторов, влиявших на процесс хрупкой деформации земной коры, и свидетельствует о зависимости этого процесса от палеотектонических и но-

вейших тектонических движений. По данным П. Н. Николаева (1978) степень влияния этих факторов в геологических условиях Кавказе достигает 30%.

Сейсмическая активность (А) является одним из основных параметров, характеризующих сейсмический режим территории. Под сейсмической активностью в некоторой точке понимается число очагов землетрясений в заданном диапазоне энергетического класса, которые возникают в окрестности этой точки в единице пространства (объем или площадь, если оговорен диапазон глубин) и в единицу времени [Захарова, 1972; Ризниченко, 1985].

В настоящее время в нашей стране наибольшее распространение получила сейсмическая активность $A=A_{10}$, которая представляет число очагов землетрясений $K=10 \pm 0,5$ ($M=3,3 \pm 0,3$), отнесенное ко времени 1 год и к площади 1000 км². Сейсмическая активность A_{10} широко применяется в регионах с умеренной сейсмичностью, к которым относится и исследуемая территория, где землетрясения величиной $K=10$ обычно самые массовые и надежные из представительных. В районах с высокой детальностью исследований применяется сейсмическая активность $A=A_7$, а в районах с особенно высокой сейсмичности $A=A_{15}$. Однако, в последнем случае относится к площади 10^{5,5} км², что приводит к совпадению значений A_{10} и A_{15} .

В настоящее время существует несколько способов расчета сейсмической активности: суммирование с постоянной детальностью; суммирование с постоянной точностью; комбинированный; распределения.

Способ суммирования с постоянной детальностью осуществляется путем суммирования числа землетрясений всех энергетических классов больше минимального представительного в фиксированной зоне осреднения. Для расчета используется формула Ризниченко Ю. В. (1964), которая при нормировании количества землетрясений на 1000 км² и за 1 год имеет следующий вид:

$$A_{10} = N_{\Sigma} \frac{1 - 10^{-\gamma}}{10^{\gamma(K_{\min} - 10)}} \cdot \frac{1000}{S \cdot T} \quad (2)$$

где N_{Σ} – число эпицентров землетрясений в зоне осреднения площадью S км², приведенное к периоду T представительности землетрясений класса энергии K_{\min} ; K_{\min} – наименьший из представительных класс энергии; γ – наклон графика повторяемости.

Способ суммирования с постоянной точностью позволяет определить сейсмическую активность с заданной точностью. Этот способ предполагает присутствие постоянного количества эпицентров в каждой зоне осреднения, т.е. переменный радиус осреднения.

Комбинированный способ заключается в сочетании двух предыдущих способов.

Способ распределения был предложен Ризниченко Ю. В. и Нерсесовым И. Л. в 1960 г. и применялся при построениях первых карт параметра A . В последующем, более широко применялся способ суммирования, характеризующийся простотой вычислений и возможностью учета при расчетах эпицентров сильных землетрясений. Опыт расчета карт A по различным регионам страны показал, что эти преимущества реализуются лишь при наличии однородного материала долговременных исследований. Карты сейсмической активности A , рассчитанные способами суммирования и распределения, идентичны в пределах погрешности. Но это спра-

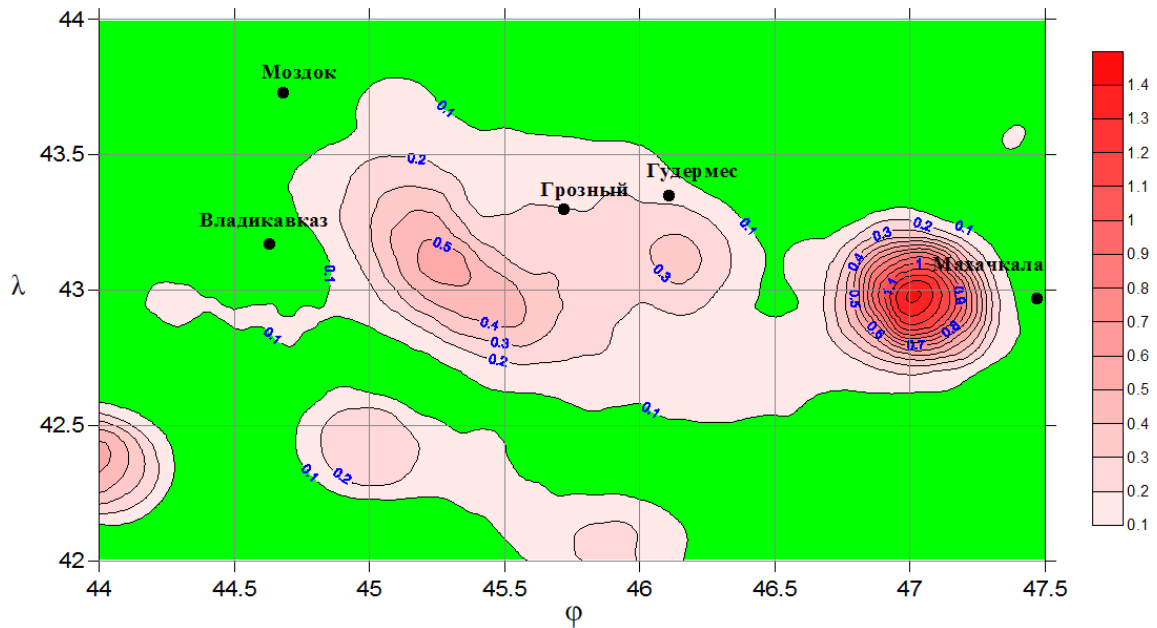


Рис. 6. Схема сейсмической активности A_{10} в изолиниях без различия глубин гипоцентров землетрясений за период 1960-2011 гг.

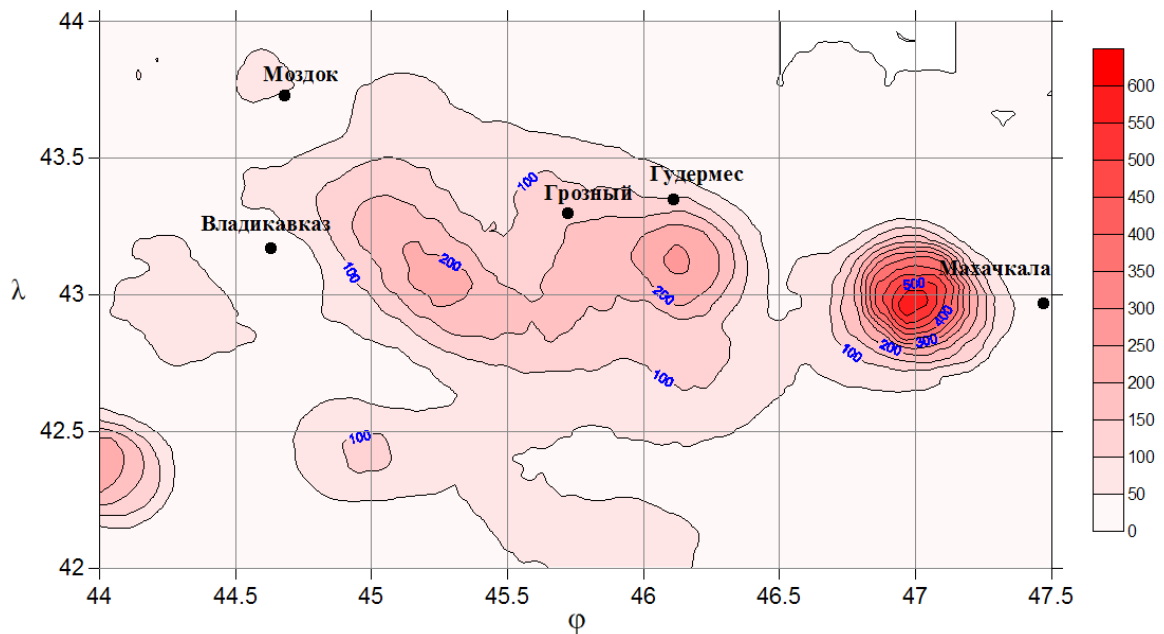


Рис. 7. Карта плотности эпицентров за период 1960-2011 гг.

ведливо лишь при равномерном распределении эпицентров всех представительных классов по площади. В противном случае карты A различаются как по уровню, так и по конфигурации.

В связи с вышеизложенным было отдано предпочтение расчету сейсмической активности способом распределения эпицентров в каждой зоне осреднения:

$$A_{10} = \frac{\sum_{K=K \min}^{K \max} N_k^2 C_k^{10} \cdot \frac{1000}{ST_{\min}}}{\sum_{K=K \min}^{K \max} N_k}, \quad (3)$$

где N_K – число землетрясений класса K , происшедших за T_{\min} лет на площади S км²;

C_k^{10} – коэффициент перехода от активности по классу K к активности по классу $K=10$.

K может меняться от K_{\min} до K_{\max} из числа классов энергии землетрясения, представительных в районе исследований.

Коэффициент C_k^{10} рассчитывается по следующей формуле:

$$C_k^{10} = 10^{\gamma(K-10)} \quad (4)$$

При неодинаковых периодах представительности землетрясений разных энергетических классов они должны быть приведены к периоду наименьшего из представительных классов.

Блок расчета сейсмической активности способом распределения был включен в описанную выше программу для персонального компьютера. Расчет A_{10} производился по формулам 3 и 4 для указанных периода $T_{\min}=51$ лет для землетрясений энергетических классов K , лежащих в диапазоне от 9 до 16.

На рис. 6 приведена карта сейсмической активности, полученная способом распределения при указанных параметрах. Числовые значения A_{10} наносились на карту в соответствующие зоны заданной сети.

Анализ карты A_{10} (рис. 6) свидетельствует о значительной неравномерности сейсмической активности по площади. Территориально зоны повышенной сейсмической активности приурочены к эпицентральному зонам сильных землетрясений и соответствуют известным сейсмогенным зонам.

Литература

1. Ананьин И. В. Сейсмичность Северного Кавказа. М.: Наука, 1977. 148 с.
2. Асманов О. А., Даниялов М. Г., Левкович Р. А. Сейсмическая активность территории центрального Дагестана. М.: Лика, 2003. 134 с.
3. Атлас землетрясений в СССР / Под ред. Саваренского Е. Ф. М.: АН СССР, 1962. 337 с.
4. Захарова А. И. Расчет параметров сейсмического режима на ЭВМ. Ташкент: РАН, 1972. 143 с.
5. Землетрясение 3 августа 1989 года на Северном Кавказе / Б. М. Богачкин, И. П. Габсатарова, А. И. Захарова и др. Обнинск.: ОМЭ ИФЗ АН СССР, 1990. 37 с.
6. Керимов И. А., Крисюк И. М., Гайсумов М. Я. Геофизические поля, системы разломов и сейсмичность Чечено-Ингушетии. Депонировано в ВИНТИ. №1066-В92 от 30.03.1992. 91 с.
7. Малышева В. В., Смирнова М. Н., Бражник В. М. Землетрясения 1950-1955 гг. в районе нефтяного месторождения Гудермес / Сейсмологический бюллетень Кавказа 1976 г. Тбилиси: Мецниереба, 1979. С. 210-222.
8. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Под общей редакцией Кондорской Н. В., Шебалина Н. В. М.: Наука, 1977. 535 с.
9. Региональный каталог Кавказа / Землетрясения в СССР в 1976 г. М.: Наука. 1980. С. 127-137.
10. Ризниченко Ю. В. Избранные труды. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985. 408 с.

11. Смирнова М. Н., Рустанович Д. Н., Санаев О. А. Ачхой-Мартановское землетрясение 17 (18) июня 1969 г. / Землетрясения в СССР в 1969 г. М.: Наука, 1973. С. 29-32.
12. Смирнова М. Н. Терское (Эльдаровское) землетрясение 10 августа 1912 года // Проблемы физической географии Северо-Восточного Кавказа и сопредельных территорий. Грозный: ЧГУ, 1983. С. 83-92.
13. Смирнова М. Н., Рустанович Д. Н., Новицкая Н. А. Старогрозненское землетрясение 1971 г. / Бюллетень сети сейсмических станций Кавказа. Январь-июнь 1973 г. Тбилиси: Мецниереба, 1974. С. 105-115.
14. Сытинский А. Д. О возможности влияния солнечной активности на сейсмичность Земли / Бюллетень совета по сейсмологии № 15. Изучение внутреннего строения Земли по сейсмическим данным. М.: АН СССР, 1963.
15. Уткин В. И., Юрков А. К., Цурко И. А. Вариации неравномерного вращения Земли как триггирующий фактор сейсмичности планеты // Геология и геофизика Юга России, 2012. № 1. С. 3-13.
16. Шебалин Н. В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. М.: Наука, 1974.
17. Геофизическая служба РАН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ceme.gsras.ru/>. 2012.
18. Каталог землетрясений Кавказа с $M \geq 4,0$ ($K \geq 11,0$) с древнейших времен до 2000 г. Составитель Годзиковская А. А. / МЦД по физике твердой Земли. Геофизический центр РАН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zeus.wdcb.ru/wdcb/sep/caucasus/catrudat.html>. 2012

SPACE-TIME CHARACTERISTICS OF EARTHQUAKES OF TERRITORY TERSKO-KASPIYSKY BASIN

Kerimov I. A. Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof, Gaysumov M. Y., Sc. Candidate (Geol.) Badaev S. V., Gaysumov O. M., Doduev A. A.

GGNTU Academician M. D. Millionshchikov of «Applied Geophysics and Geoinformatics»

In order to study the spatio-temporal characteristics of Tersko-Caspian earthquakes epyseismic catalogue was compiled trough for the period 1960-2011. Studied the distribution of earthquakes in the day time, and their relationship with the seasons. Schedules the frequency of earthquakes for 10-year periods. Calculated value of the frequency graph slope $\gamma = 0.52$, consistent with the data obtained for the Caucasus. This suggests that for a relatively small regions of earthquake frequency the graph slope keeps the mean value for the whole of the Caucasus. Using distributing process the seismic activity A_{10} calculated for the period $T_{\min}=51$ years and earthquake energy classes, ranging from 9 to 16. Analysis of A_{10} maps shows significant unevenness of seismic activity of the region. A zone of high seismic activity geographically confined to the epicenter zones of strong earthquakes and correspond to the known seismotectonics area.

Keywords: catalogue, earthquake, histogram, frequency, seismic activity

УДК 550.34

ЛОКАЛЬНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ. МЕТОД ПАС – ПОПАРНЫЙ АНАЛИЗ СЕЙСМОГРАММ. БАЗОВАЯ ТАБЛИЦА СЕТИ СЕЙСМОСТАНЦИЙ ДАГЕСТАНА

© 2013 М. М. Шахрай, Я. М. Шахрай

Дагестанский филиал Геофизической службы РАН, Россия, 367008, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Белинского, 16, e-mail: m_shahray@mail.ru

Использование метода ПАС – Попарного Анализа Сейсмограмм – позволяет непосредственным образом, т. е. пользуясь только данными, записанными на двух сейсмограммах, определить: а) время в очаге, что открывает дорогу к математически точной коррекции параметров записи землетрясения; б) отношение расстояний от пары станций до очага, что ведет к локации очага; в) отношение скоростей, что позволяет оперативно контролировать упругие свойства среды.

В работе анализируются основные недостатки традиционной годографической обработки сейсмограмм и излагаются принципы построения метода ПАС, практически проверенного для ближних землетрясений. В конце приводится таблица базовых расстояний между станциями и азимуты, определяющие ориентацию этих отрезков в обоих направлениях. Приводятся формулы расчета данных таблицы.

Ключевые слова: инструментарию обработки записей землетрясений; субъективная статистичность; объективная статистичность; годографический метод обработки; метод ПАС; базовая таблица сейсмостанций.

Центральное место в инструментарию обычной обработки записей землетрясений занимает годограф – справочное руководство по обработке сейсмограмм с набором сведений об усредненных по длинному отрезку времени и обширной территории скоростных свойствах среды распространения сейсмических волн. Фактически, это обстоятельство принципиально обуславливает **субъективную статистичность** получаемых данных при интерпретации сейсмозаписей. Эта статистичность субъективна по той причине, что она не обусловлена природой, а вводится авторами годографов и интерпретации при построении.

Главным отрицательным фактором субъективной статистичности является следующее:

данные, используемые при построении годографа, заведомо подвергаются механическому осреднению по широкой территории (широко известный глобальный годограф Джеффриса – Буллена усредняет данные по глобальной сейсмичности по всей территории земного шара) и по периоду наблюдений, по возможности, более длинному;

из этого следует, что используемый годограф не оперативен и никак не учитывает текущие и накапливающиеся изменения в геологической среде, а годографический метод в целом не позволяет относить к числу существенных данные записи, не укладывающиеся в «красивую» картину годографически корректных расчетов и построений. Результаты в законном порядке подгоняются под стандартную схему, и часто ложные выводы вопиющим образом противоречат реальной действительности.

Указанная особенность годографического метода, пока что единственного в мире, является одной из главнейших причин того, что в настоящее время прогноз

землетрясений и, особенно, катастроф является принципиально неосуществимым. Даже японская сейсмология, одна из самых передовых, не приблизилась к предсказаниям таких катастроф, как в Кобе 17.01.1995, $M = 7,3$, в прибрежной зоне Хонсю 11.03.2011, $M = 9,1$ и др. То же можно сказать про катастрофу в турецкой провинции Ван 23 октября 2011 года и другие подобные.

Дело в том, что годограф является официально разработанной и утвержденной сводкой скоростных свойств пород подконтрольного региона, несоблюдение которых весьма нежелательно на официальном уровне и считается нарушением правил. Почти узаконенным является представление о том, что геологические структуры и их свойства весьма стабильны, нерушимы, документально уже хорошо описаны и не подлежат пересмотру.

Однако в практической сейсмографии широко известен факт о не повторяемости землетрясений. Достаточно сказать, что два землетрясения-«близнеца», пришедшие из практически одной точки и имеющие одинаковую энергетiku, с разрывом во времени в несколько часов или даже минут, на записях никогда не дублируют друг друга. Среда очага, произведшая первое событие, в результате излучения энергии сильно меняет свою физико-энергетическую структуру, и второе землетрясение производится уже практически новым очагом. Значит, использование данных, пусть даже верных при первом землетрясении, при работе со вторым уже приводит к ошибкам, которые, как правило, не просто не учитываются, но даже и не замечаются, ни практиками, ни теоретиками.

Этот главный принципиальный недостаток годографического, ныне практически единственного, метода обработки сейсмограмм, происходит из способа записи и обработки сейсмограмм, в прошлом отсталого и весьма приблизительного.

При современном способе записи с использованием единой мировой службы GPS любая качественно выполненная сейсмограмма представляет собой уже уникальный документ с записью *объективно достоверной информации* о точечно-локальном событии на сейсмостанции, дающий полную возможность интерпретации записи с высокой степенью точности. Использование при этом исключительно годографического метода обработки сейсмограмм, принципиально исключающего возможность получения высокой степени абсолютной точности, является анахронизмом и не устранимым нонсенсом.

Разумеется, сложность геологического и геолого-тектонического устройства Земли, области очага и среды распространения сейсмических волн, вносит свою, *обусловленную природой, объективную статистичность* записываемой картины. В результате, в пункт регистрации поступает сигнал, содержащий информацию не только об оригинальном событии, испущенном из очага, но и о его искажениях на пути распространения в среде.

Эти отклонения от геометрически строгих закономерностей распространения фронта волны и ее различных фаз, т. е. аномалии среды, составляют едва ли не главную задачу (наравне с процессами в очаге) сейсмологии как средства исследования недр земли.

Такие, внешние по отношению к очагу, отклонения и аномалии, как правило, закономерно увеличиваются с возрастанием расстояния и времени движения волны.

В производстве землетрясения на поверхности активное участие принимают как сам очаг – генератор события, так и среда – его проводник.

Поэтому, по признакам типа записываемой информации, все сейсмостанции, или наоборот, что то же самое, записываемые землетрясения, можно разбить на три категории:

- а) далекие станции (землетрясения) $\Delta \geq 2000$ км (18°);
- б) средне-удаленные станции (землетрясения) $2000 > \Delta > 200$ км;
- с) близкие, или около-эпицентральные, станции (землетрясения) $200 > \Delta > 0$ км.

При записи далеких землетрясений (а) объективно фиксируется преимущественно информация о среде распространения волны.

При записи средне-удаленных землетрясений (б) с уменьшением расстояния усиливается роль особенностей очага и уменьшается количество и роль геометрических искажений среды.

Около-эпицентральные записи (с), как правило, подчиняются законам евклидовой геометрии и в них превалирующую роль играют процессы в точке на поверхности *тела очага* – геологического тела в очаговой области, образовавшегося в процессе подготовки данного землетрясения, откуда получила начало записываемая волна. Геометрические аномалии, встречающиеся на пути следования волны к пункту регистрации, представляют особый интерес для анализа тектонического состояния среды *на данный момент*, его развития во времени (по ретроспективному анализу предыдущих записей) и возможного прогнозирования готовящихся событий в будущем.

Существующий географический метод обработки информации заведомо непроизводительно искажает получаемую информацию, и часто весьма существенно.

Нами разрабатывается метод ПАС – метод *попарного анализа сейсмограмм*, мало, а в некоторых случаях совсем не зависящий от географического, дающий возможность непосредственно, с использованием только набора записанных данных и данных координат записывающих станций, без привлечения какого-либо дополнительного, статистически осредненного, справочного материала, получать всю информацию, заложенную в сейсмограммах. Число сейсмограмм с записью одного землетрясения должно быть не меньше двух. Сверху оно не ограничено и определяется только объемом вычислений. Метод основывается на идее **связать разность времен прихода сигнала в две разные точки на земной поверхности с разностью координат этих точек, т.е. с их взаимным (базовым) расстоянием и азимутальной ориентацией на земной поверхности.**

Таким образом, устанавливается и исследуется жесткая пространственно-временная связь между двумя группами *известных* (т.е. рабочих) данных 1) записанных на станциях, 2) определенных службой GPS с 3) группой *неизвестных* (т.е. искомых) данных, возникающих в очаге в момент возникновения землетрясения и по пути следования волны.

То есть, ставится задача решения в пространстве и времени естественного сейсмического треугольника, возникающего в момент генерации волны в очаге и оканчивающегося в моменты записи на станциях.

Вершинами сейсмического треугольника являются: а) точка в глубине на теле очага (0) в момент излучения, б) точка расположения станции (1) в момент первой записи и в) точка расположения станции (2) в момент второй записи. Три стороны сейсмического треугольника: (01), (02) – траектории одной и той же фазы волны от очага (0) к станциям (1), (2), расположенные в теле земли, и (12) – базовая прямая, соединяющая станции (1) и (2).

Здесь дано (известные данные): 1) моменты записи $P_1, S_1, \tau_1 = S_1 - P_1$ и $P_2, S_2, \tau_2 = S_2 - P_2$; 2) базовое (межстанционное) расстояние a_{12} и 3) координаты станций φ_1, λ_1 и φ_2, λ_2 . Пункты 2) и 3) рассчитаны и приведены в *Базовой таблице*. Точность измерений времени (пункт 1) и координат станций (пункты 2 и 3) определяется службой GPS, задействованной на станциях.

Требуется определить: все параметры землетрясения, вытекающие из записей и решений сейсмического треугольника.

На больших расстояниях решение такого треугольника определяется сферической геометрией и тригонометрией, а также геологической и геофизической неоднородностью среды распространения сейсмоволн. На малых, приэпицентральных, расстояниях прекрасные результаты дает тривиальная, евклидова геометрия с тригонометрией. Количество геолого-геофизических аномалий здесь сводится к минимуму и поддается детальной конкретизации.

Разумеется, решение треугольника во времени предполагает использование физических законов с применением скоростных и других неизвестных параметров и соотношений. В конечных результатах они не проявляются в явном виде. Но при соответствующей постановке и формулировке задачи они также могут быть выведены методом ПАС в своем оперативном значении.

Значения скоростей, их соотношений и остальных параметров определяются как геометрически-временные эффекты. Из этого вытекает, что если рассматривать сейсмический треугольник (временный во времени) как фигуру в псевдоевклидовом 4-мерном пространстве (типа Лобачевского – Минковского), то время в очаге t_0 и времена записи t_1 и t_2 участвуют в качестве соответствующих четвертых координат вершин 4-мерного треугольника, а траектории сейсмоволн – их мировые линии в этом треугольнике.

Основным инструментарием в методе ПАС становится так называемая **базовая таблица сеймостанций** (табл. 1-1-В – табл. 1-3-Н), в которой сведены координаты станций по данным GPS, взаимные (базовые) расстояния a_{12} между станциями и взаимные азимутальные углы Az_{12} в обоих направлениях.

В целом, базовая таблица – это, при большом количестве станций (здесь представлены сведения о 20 станциях), достаточно емкий объект квадратной формы, каждая ячейка которого содержит сведения о базовых соотношениях выбранной пары станций – расстояние и азимут. В принятой нами системе расчета угла азимута введено правило: строчки таблицы соответствуют позиции *наблюдателя*, столбцы – позиции *наблюдаемого объекта*.

В формате печатного листа А-4, в целях удобочитаемости таблица (20×20) разделена по горизонтали на два листа – верхний (9 станций) и нижний (11 станций), а по вертикали на три группы (7+7+6) станций.

Базовые расстояния в км a_{12} и в градусах Δ°_{12} и азимуты β°_{12} вычислялись по формулам, выводимым из геометрии на сфере:

$$a_{12} = III \cdot \Delta^{\circ}_{12} \text{ (км)}, \quad (1)$$

$$\Delta^{\circ}_{12} = \cos^{-1}[\sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \cos(\lambda_2 - \lambda_1)]; \quad (2)$$

$$\beta^{\circ}_{12} = \sin^{-1} \frac{\cos \varphi_2 \cdot \sin(\lambda_2 - \lambda_1)}{\sin \Delta^{\circ}_{12}}, \quad (3)$$

где индексы означают: 1 – наблюдатель, 2 – наблюдаемый объект; $\{\varphi_i, \lambda_i\}$ – географические координаты станций; $\Delta^{\circ}_{12} = \frac{a_{12}}{111}$ – градусное выражение базового расстояния a_{12} .

Таблица 1-1-В 1

Верхний лист: АХТЫ – КАСУМКЕНТ-ДЕРБЕНТ-АРАКАНЫ-УРКАРАХ-КУМУХ-КАЯКЕНТ-СЕРГОКАЛА-ГУНИБ

	Ахты	Касумкент	Дербент	Араканы	Уркарах	Кумух	Каякент	
Ахты	Ахты	36,715	78,926	138,187	76,485	88,415	98,748	Ахты
41,4793	41,4793	68,1486	30,04	334,5	354,8	324,7	14,71	41,4793
47,7148	47,7148							47,7148
Касумкент	36,715	Касумкент	49,518	144,982	74,657	103,144	82,310	Касумкент
41,6023	41,6023	41,6023	200,3	320	326,8	304,54	353,9	41,6023
48,1246	48,1246	48,1246						48,1246
Дербент	78,926	49,518	Дербент	127,487	59,965	102,470	43,822	Дербент
42,0204	210,04	20,273	42,0204	300,5	285,5	276,75	323,9	42,0204
48,3318			48,3318					48,3318
Араканы	138,187	144,982	127,487	Араканы	71,346	53,277	88,846	Араканы
42,6021	154,515	140,008	42,6021	42,6021	312,9	170,82	109,2	42,6021
46,9942			46,9942					46,9942
Уркарах	76,485	74,657	59,965	71,346	Уркарах	44,113	37,242	Уркарах
42,1649	174,8	146,85	105,5	42,1649	42,1649	44,113	37,242	42,1649
47,6310				47,6310	47,6310	44,113	37,242	47,6310
Кумух	88,415	103,144	102,480	53,277	Уркарах	Кумух	79,226	Кумух
42,1287	144,688	124,542	96,75	350,8	84,77	42,1287	252,8	42,1287
47,0977						47,0977		47,0977
Каякент	98,748	82,320	43,820	88,846	37,242	79,226	Каякент	Каякент
42,339	194,707	173,86	143,9	289,2	58,71	72,846	42,339	42,339
48,018							48,018	48,018
Сергокала	108,800	102,603	73,843	56,480	32,582	58,629	32,522	Сергокала
42,4576	177,424	157,838	131,1	106,5	183,6	51,446	113,9	42,4576
47,6556								47,6556
Гуниб	118,633	129,734	119,809	23,773	60,246	30,975	86,718	Гуниб
42,3893	148,453	132,373	110	6,013	114,4	159,18	93,71	42,3893
46,9638								46,9638
	Ахты	Касумкент	Дербент	Араканы	Уркарах	Кумух	Каякент	

В ячейках в верхней строчке записано базовое расстояние в км, в нижней – азимут в градусах.

Таблица 1-2-В 2

Верхний лист: МАНАС-КАКАШУРА-ХУНЗАХ-УНЦУКУЛЬ-БОТЛИХ-АХТЫ – КАСУМЖЕНТ-ДЕРБЕНТ-АРАКАНЫ-УРКАРАХ-КУМУХ-КАЯКЕНТ-СЕРГОКАЛА-ГУНИБ

	Сергокала	Гуниб	Манас	Какашюра	Хунзах	Унцукуль	Ботлих	
Ахты 41,4793 47,7148	108,79908 357,42	118,6325 328,5	136,2643 0,073	129,98335 349,59	144,791 324,9	156,96576 331,04	180,4792 316,9	Ахты 41,4793 47,7148
Касумкент 41,6023 48,1246	102,60326 337,84	129,7336 312,4	127,1139 344,7	127,72243 333,37	157,0669 311,8	165,2963 318,43	196,439 307	Касумкент 41,6023 48,1246
Дербент 42,0204 48,3318	73,842769 311,13	119,8087 290	91,35848 326,5	100,36736 312,44	145,8442 293,6	148,05165 301,44	187,6868 292,4	Дербент 42,0204 48,3318
Араканы 42,6021 46,9942	56,479865 286,51	23,77287 186	60,16468 259	35,765245 265,03	24,46998 285	20,717785 307,45	63,73324 276,3	Араканы 42,6021 46,9942
Уркарах 42,1649 47,6310	32,581716 3,5564	60,24597 294,4	60,50535 186,7	54,240323 342,3	86,94981 299,1	91,998085 311,68	128,4511 295,6	Уркарах 42,1649 47,6310
Кумух 42,1287 47,0977	58,629012 231,45	30,97545 339,2	81,79264 218,4	62,012863 26,089	56,37961 145,1	69,821598 339,02	93,53669 309,6	Кумух 42,1287 47,0977
Каякент 42,339 48,018	32,521777 293,9	86,71817 273,7	47,62909 328,8	58,018329 303,87	110,0324 282	108,67695 292,64	151,7283 283,8	Каякент 42,339 48,018
Сергокала 42,4576 47,6556	Сергокала 42,4576 47,6556	57,24073 262,4	28,02727 10,31	26,605725 316,05	78,44309 277,1	76,16186 292,1	119,784 281,1	Сергокала 42,4576 47,6556
Гуниб 42,3893 46,9638	57,24073 82,379	Гуниб 42,3893 46,9638	70,96446 60,3	46,61458 54,993	27,3574 129,3	38,84623 158,9	68,24147 116,7	Гуниб 42,3893 46,9638

В ячейках в верхней строчке записано базовое расстояние в км, в нижней – азимут в градусах.

Таблица 1-3-В 3

Верхний лист: КАРАНАЙ-БУЙНАКСК-МАХАЧКАЛА-ЛЕНИНКАЕНТ-ДУБКИ-ДЫЛЫМ-АХТЫ – КАСУМКАЕНТ-ДЕРБЕНТ-АРАКАНЫ-УРКАРАХ-КУМУХ-КАЯКЕНТ-СЕРГОКАЛА-ГУНИБ

	Каранай	Буйнакс	Махачкала	Ленинкант	Дубки	Дылым	
Ахты	163,8708	157,3045	162,470398	162,703212	185,80443	198,663173	Ахты
41,4793 47,7148	336	341,3	353,754	349,66	338,79	333,028	41,4793 47,7148
Касумкант	169,0234	159,3113	156,503861	159,322658	189,6928	204,911858	Касумкант
41,6023 48,1246	323,6	328,2	340,845	336,76	326,23	322,878	41,6023 48,1246
Дербент	147,3431	134,3453	122,168827	127,79297	165,14499	182,576742	Дербент
42,0204 48,3318	307,4	311,4	326,089	321,45	312,34	309,83	42,0204 48,3318
Араканы	25,98688	25,89533	55,2568072	46,235226	48,249981	60,6041939	Араканы
42,6021 46,9942	343,8	20,23	48,2939	40,192	345	329,684	42,6021 46,9942
Уркарах	94,55092	84,70293	86,0068184	86,774764	115,03787	130,489788	Уркарах
42,1649 47,6310	321	329,4	352,839	345,19	325,83	320,637	42,1649 47,6310
Кумух	79,13405	76,89399	95,2342785	90,4986596	101,39972	111,985762	Кумух
42,1287 47,0977	168,5	180,4	200,234	193,73	168,05	159,525	42,1287 47,0977
Каякент	105,9272	89,78866	78,406326	84,0203476	122,44155	140,356401	Каякент
42,339 48,018	300,8	303,6	327,318	320,2	308,27	305,521	42,339 48,018
Сергокала	73,7661	60,50874	54,3236298	56,7614861	91,346989	108,751107	Сергокала
42,4576 47,6556	303,8	311,8	346,474	334,83	313,31	308,953	42,4576 47,6556
Гуниб	48,83001	49,28955	74,6178215	67,2633047	70,960308	81,0117062	Гуниб
42,3893 46,9638	354,4	193,4	35,9508	28,77	351,88	339,657	42,3893 46,9638
	Каранай	Буйнакс	Махачкала	Ленинкант	Дубки	Дылым	

В ячейках в верхней строчке записано базовое расстояние в км, в нижней – азимут в градусах.

Таблица 1-1-Н
 1 Нижний лист: АХТЫ-КАСУМКЕНТ-ДЕРБЕНТ-АРАКАНЫ-УРКАРАХ-КУМУХ-КАЯКЕНТ-МАНАС-КАКАШУРА-ХУНЗАХ-УНЦУКУЛЬ-БОТЛИХ-КАРАНАЙ-БУЙНАКСК-МАХАЧКАЛА-ЛЕНИНКЕНТ-ДУБКИ-ДЫЛЫМ

	Ахты	Касумкент	Дербент	Араканы	Уркарах	Кумух	Каякент	
Манас 42,7058 47,7169	136,26426 180,073	127,113874 164,682	91,35848 146,5	60,16468 78,96	60,50535 6,685	81,79264 38,383	47,62909 148,8	Манас 42,7058 47,7169
Какашюра 42,63 47,43	129,983347 169,587	127,722428 153,372	100,3674 132,4	35,76524 85,03	54,24032 162,3	62,012863 206,09	58,01833 123,9	Какашюра 42,63 47,43
Хунзах 42,5451 46,7053	144,790995 144,863	144,790995 131,826	145,8442 113,6	24,46998 105	86,94981 119,1	56,379606 325,14	110,0324 102	Хунзах 42,5451 46,7053
Унцукуль 42,7155 46,7929	156,96576 151,042	165,296296 138,434	148,0517 121,4	20,71778 127,5	91,99808 131,7	69,821598 159,02	108,6769 112,6	Унцукуль 42,7155 46,7929
Ботлих 42,6653 46,2192	180,479234 136,891	196,43903 126,956	187,6868 112,4	63,73324 96,33	128,4511 115,6	93,536687 129,59	151,7283 103,8	Ботлих 42,6653 46,2192
Каранай 42,8267 46,9053	163,870778 155,991	169,02336 143,589	147,3431 127,4	25,98688 163,8	94,55092 141	79,134051 348,51	105,9272 120,8	Каранай 42,8267 46,9053
Буйнакс 42,8208 47,1039	157,30446 161,344	159,311289 148,183	134,3453 131,4	25,89533 200,2	84,70293 149,4	76,893988 0,3786	89,78866 123,6	Буйнакс 42,8208 47,1039
Махачкала 42,933 47,5	162,470398 173,754	156,503861 160,845	122,1688 146,1	55,25681 228,3	86,00682 172,8	95,234279 20,234	78,40633 147,3	Махачкала 42,933 47,5
Ленинкент 42,92 47,36	162,703212 169,66	159,322658 156,759	127,793 141,5	46,23523 220,2	86,77476 165,2	90,49866 13,728	84,02035 140,2	Ленинкент 42,92 47,36
Дубки 43,0216 46,8410	185,804427 158,794	189,692797 146,225	165,145 132,3	48,24998 165	115,0379 145,8	101,39972 348,05	122,4415 128,3	Дубки 43,0216 46,8410
Дылым 43,0730 46,6187	198,663173 153,028	204,911858 142,878	182,5767 129,8	60,60419 149,7	130,4898 140,6	111,98576 339,52	140,3564 125,5	Дылым 43,0730 46,6187
	Ахты	Касумкент	Дербент	Араканы	Уркарах	Кумух	Каякент	

В ячейках в верхней строчке записано базовое расстояние в км, в нижней – азимут в градусах.

Таблица 1-2-Н

2 Нижний лист: СЕРГОКАЛА-ГУНИБ-МАНАС-КАКАШУРА-ХУНЗАХ-УНЦУКУЛЬ-БОТЛИХ-КАРАНАЙ-БУЙНАКСК-МАХАЧКАЛА-ЛЕНИНКЕНТ-ДУБКИ-ДЫЛЫМ

	Сергокала	Гуниб	Манас	Какашюра	Хунзах	Унцукуль	Ботлих
Манас 42,7058 47,7169	28,027271	70,96446	Манас 42,7058 47,7169	24,904248	84,60001	75,438067	122,3953
Какашюра 42,63 47,43	190,31	240,3	24,90425	Какашюра 42,63 47,43	257,8	270,88	272,2
Хунзах 42,5451 46,7053	26,605725	46,61458	70,24	60,02364	60,02364	52,901093	99,02078
Унцукуль 42,7155 46,7929	136,05	235	84,60001	80,956	Хунзах 42,5451 46,7053	280,35	272,3
Ботлих 42,6653 46,2192	78,443091	27,3574	77,81	60,023644	20,240349	20,240349	41,9333
Каранай 42,8267 46,9053	97,126	309,3	90,88	100,35	200,7	20,718	288,6
Буйнакс 42,8208 47,1039	76,16186	39,27292	75,43807	52,901093	20,24035	Унцукуль 42,7155 46,7929	47,17999
Махачкала 42,933 47,5	112,1	338,9	90,88	100,35	200,7	263,2	Ботлих 42,6653 46,2192
Ленинцент 42,92 47,36	119,78403	68,24147	122,3953	99,020777	41,9333	47,17999	Ботлих 42,6653 46,2192
Дубки 43,0216 46,8410	101,12	296,7	92,17	92,306	108,5706	83,208	Каранай 42,8267 46,9053
Дылым 43,0730 46,6187	73,766103	48,83001	67,54432	48,075492	35,29278	15,383756	Каранай 42,8267 46,9053
	123,77	174,4	101,5	117,04	207,6	216,58	Буйнакс 42,8208 47,1044
	60,508742	49,28955	51,60624	34,024947	44,69879	27,932815	Махачкала 42,933 47,5
	131,83	13,44	104,3	128,54	226,7	245,24	Ленинцент 42,92 47,36
	54,32363	74,61782	30,81524	34,143782	77,85954	62,480008	Дубки 43,0216 46,8410
	166,47	216	145	189,62	236,4	247,25	Дылым 43,0730 46,6187
	56,761486	67,2633	37,58196	32,720803	67,74433	51,497854	
	154,83	208,8	129,3	169,95	232,1	243,82	
	91,346989	70,96031	79,48904	64,778032	54,08311	34,232503	
	133,31	171,9	116,2	132,19	191,8	186,57	
	108,75111	81,01171	98,26084	82,394145	59,07288	42,173118	
	128,95	159,7	114,5	126,68	173,1	340,35	
	Сергокала	Гуниб	Манас	Какашюра	Хунзах	Унцукуль	Ботлих

В ячейках в верхней строчке записано базовое расстояние в км, в нижней – азимут в градусах.

Таблица 1-3-Н

3 Нижний лист: МАНАС-КАКАШУРА-ХУНЗАХ-УНЦУКУЛЬ-БОТЛИХ-КАРАНАЙ-БУЙНАКСК-МАХАЧКАЛА-ЛЕНИНКЕНТ-ДУБКИ-ДЫЛЫМ

	Каранай	Буйнакс	Махачкала	Ленинскент	Дубки	Дылым
Манас 42,7058 47,7169	67,54432 281,5	51,60624 284,3	30,8152381 324,998	37,5819633 309,29	79,489044 296,19	Манас 98,2608413 294,532
Какашюра 42,63 47,43	48,07549 297	34,02495 308,5	34,143782 9,62351	32,720803 349,95	64,778032 312,19	Какашюра 82,394145 306,68
Хунзах 42,5451 46,7053	35,29278 27,57	44,69879 46,74	77,8595407 56,392	67,7443253 52,06	54,08311 11,806	Хунзах 59,072883 353,138
Унцукуль 42,7155 46,7929	15,38376 36,58	27,93281 65,24	62,4800078 67,2466	51,4978543 63,82	34,232503 6,5698	Унцукуль 42,1731183 160,354
Ботлих 42,6653 46,2199	58,77956 72,24	74,22294 76,54	108,561015 74,0949	97,2145998 73,074	64,28484 51,992	Ботлих 55,7660111 35,6848
Каранай 42,8267 46,9053	Каранай 42,8267 46,9053	16,1964 92,32	49,8352297 76,2904	38,4456662 74,358	22,276287 346,42	Каранай 35,9438604 319,579
Буйнакс 42,8208 47,1044	16,1964 272,3	Буйнакс 42,8208 47,1039	34,57418 68,8663	23,5861197 62,143	30,905806 316,21	Буйнакс 48,3944652 305,379
Махачкала 42,933 47,5	49,83523 256,3	34,57418 248,9	Махачкала 42,93347,5	11,4802864 262,77	54,46254 280,42	Махачкала 73,2745804 282,259
Ленинскент 42,92 47,36	38,44567 254,4	23,58612 242,1	11,4802864 82,7725	Ленинскент 42,9247,36	43,674347 284,98	Ленинскент 62,5887825 285,76
Дубки 43,0216 46,8410	22,27629 166,4	30,90581 136,2	54,4625403 100,415	43,6743468 104,98	Дубки 43,0216 46,8410	Дубки 18,9305638 287,557
Дылым 43,0730 46,6187	35,94386 139,6	48,39447 125,4	73,2745804 102,259	62,5887825 105,76	18,930564 107,56	Дылым 43,0730 46,6187
	Каранай	Буйнакс	Махачкала	Ленинскент	Дубки	Дылым

В ячейках в верхней строчке записано базовое расстояние в км, в нижней – азимут в градусах.

Формула (3) дает значащую цифру азимута β_{12}° – азимутальное внеквadrантное число. Для получения азимута Az_{12} необходимо дополнить β_{12}° квадрантным числом 180° или 360° , в зависимости от соотношений координат. Эта процедура производится вручную и визуальнo по карте:

$$\left\{ \begin{array}{l} I: \lambda_2 > \lambda_1; \varphi_2 > \varphi_1: Az_{12}^{\circ} = \beta_{12}^{\circ} \\ II: \lambda_2 > \lambda_1; \varphi_2 < \varphi_1: Az_{12}^{\circ} = -\beta_{12}^{\circ} + 180^{\circ} \\ III: \lambda_2 < \lambda_1; \varphi_2 < \varphi_1: Az_{12}^{\circ} = \beta_{12}^{\circ} + 180^{\circ} \\ IV: \lambda_2 < \lambda_1; \varphi_2 > \varphi_1: Az_{12}^{\circ} = -\beta_{12}^{\circ} + 360^{\circ} \end{array} \right.$$

Обратный азимут (из точки 2 в точку 1) равен $Az_{21}^{\circ} = Az_{12}^{\circ} \pm 180^{\circ}$.

Из числа n станций можно определить число N возможных пар по формуле:

$$N = \frac{n}{2}(n - 1).$$

В нашей таблице $n = 20$. Следовательно, $N = 190$.

Все технические погрешности вычислений по этим формулам определяются величиной отклонения используемого числа 111 от реального значения длины земного градуса и степенью точности определения координат станций.

LOCAL SEISMOLOGY. PAS METHOD OF THE SEISMOGRAMS PAIRWISE ANALYSIS. BASE TABLE OF THE DAGESTAN SEISMIC STATIONS NETWORK

M. M. Shahray, Ya. M. Shahray

Dagestan branch of RAS Geophysical Survey, 16, Belinskogo st., Makhachkala,
Russia, 367008, e-mail: m_shahray@mail.ru

The use of the PAS Method – Pairwise Analysis of Seismograms – allows directly, using only data recorded at two seismic records to determine: a) the origin time, for a mathematically precise correction of the earthquake, b) the ratio of the distances from the source to the pair stations, to locate the source, c) the ratio of the velocities that allows controlling of the elastic properties of the medium.

This paper analyzes the main disadvantages of the traditional processing hodograph gathers and presents the principles of the method of PAS, practically tested for near earthquakes. At the end the table of distances between base stations and azimuths determining the orientation of the segments in both directions is given with formulas for calculating these tables.

Keywords: earthquake records processing tools; subjective randomness, objective randomness; hodograph processing method, the PAS method, seismic stations table.

УДК 551.21

НЕУДАВШИЕСЯ ВУЛКАНЫ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

© 2013 А. Г. Шемпелев^{1,2}, к.г.-м.н., Л. Н. Невский²

¹ Федеральное государственное унитарное геологическое предприятие «Кавказгеолсъемка» (ОАО «Кавказгеолсъемка»), Россия, 357600, Ставропольский край, г. Ессентуки, ул. Кисловодская 203, e-mail: shemp@geolog.kmv.ru.

² Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и PCO-A, Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова 93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru

Полученные за последнее время геофизические материалы дают возможность предполагать, что район Кавказских Минеральных Вод располагается в зоне сквозной субвертикальной нарушенности земной коры, а «неудавшиеся вулканы Пятигорья» – это неогеновые (возможно, неоген-четвертичные) гипабиссальные комплексы малых интрузий, к ней приуроченные. На территории северного склона Большого Кавказа известно несколько районов со структурно-тектоническими условиями, схожими с районом Кавказских Минеральных Вод.

Ключевые слова: вулканы, интрузии, геофизические методы, магматизм, Северный Кавказ, Северная Осетия

Сто лет назад В. М. Дервиз назвала массивы изверженных пород с резко выраженной порфировой структурой, обнажающиеся в районе Кавказских Минеральных Вод, «неудавшимися вулканами Пятигорья» [Лебединский, 1973]. Наблюдая куполообразное над ними залегание меловых, палеогеновых и миоценовых осадочных толщ, приподнятых застывшей у поверхности магмой, она определила эти массивы как не вполне сформировавшиеся лакколиты. А в 1948 г. В. Н. Павлинов отмечал, что поднятие магмы, создавшей мелкие интрузивные массивы Пятигорья, часто напоминающие перевёрнутую каплю, скорее всего, было вертикальным, без тангенциальных направлений, свойственных обычно гранитным интрузиям [Павлинов, 1948]. При этом он не исключал в образовании массивов диапировый и даже экструзивный магматизм. Изверженные породы на первых стадиях исследований в середине XIX века относят к трахит-порфирам, а В. М. Дервиз к различным разновидностям трахилипаритов.

Наиболее полно известны массивы района КМВ были изучены Петрографической группой ВИМС^а под руководством Н. Д. Соболева ещё в начале пятидесятых годов прошлого столетия [Соболев и др., 1959]. Учитывая, что большинство массивов залегает в отложениях мела-палеогена и глубина их формирования 1-2 км от дневной поверхности, было признано неприемлемым использование для них названий излившихся пород (липариты, трахилипариты и т. п.), а было определено три вида горных пород: гранит-порфиры, граносиенит-порфиры и кварцевые сиенит-порфиры.

Все массивы изверженных пород Пятигорья характеризуются локальными гравитационными аномалиями. Причём большинство массивов размещается среди молодых осадочных образований и, соответственно, фиксируется максимумами до нескольких миллигал, что может отвечать магматическим телам с различной избыточной плотностью. Внедрившаяся магма в большинстве случаев, за исключением, может быть, Лысогорского массива, не сформировала тел, в полной мере

отвечающих по форме лакколлитам, но перекрывающие их осадочные толщи куполообразно приподняты практически всегда. Проекция массивов, предполагаемых по гравиметрии, значительно больше по площади, чем занимают выходы лакколлитов. Некоторая особенность в гравитационном поле наблюдается только для района горы Бештау, где предполагается массив, шарообразный по форме, с радиусом порядка трёх-четырёх километров. Он значительно нарушает более плотный домезозойский фундамент и, примерно, наполовину в нём располагается. Этим, очевидно, объясняется, в отличие от других массивов, наличие только на гранитоидном интрузиве горы Бештау участков осадочно-метаморфических пород фундамента (нижнепалеозойские глинистые сланцы и филлиты) [Соболев и др., 1959].

Особенностью формирования всех массивов является многофазность внедрения магмы, что, вероятно, объясняет различие в определении времени их становления у разных авторов от нижнемиоценового [Паффенгольц, 1956] до верхнеплиоценового [Герасимов, 1936]. Ряд авторов, работавших в регионе в последние годы, считают, что внедрение расплавов в верхи континентальной коры и образование лакколлитов произошло 8,25 млн. лет назад [Катастрофические процессы ..., 2002]. Причём в массивах обнаружены глубинные ксенолиты базанитового и монцогаббрового составов, по величинам измеренных стронциевых отношений имеющие тот же позднемиоценовый возраст. Вообще же спектр ксенолитов в интрузивах района Кавминвод по результатам многолетних исследований очень богат. В основном, это – гранитоиды, от типичных гранитов до диоритов, и лампрофиры, преимущественно слагающие домезозойский фундамент. Реже встречаются ксенолиты из толщ нижнепалеозойских и докембрийских осадочных, метаморфических и эффузивных пород. В двух массивах преобладают ксенолиты амфиболитов и пироксенитов. Размеры ксенолитов в поперечнике от 0,5 см до 1 м, ассимиляция расплавом пород домезозойского фундамента, практически, не происходила, их контакты с порфировыми породами интрузивов резкие. Судя по описанию ксенолитов, можно говорить о довольно сложном составе фундамента, что подтверждается данными глубокого бурения и материалами геофизических исследований.

По результатам интерпретации физических полей в региональном плане известные и предполагаемые массивы неогеновых интрузий (их более 15) находятся в полосе сопряжения Предкавказской и Центрально-Кавказской микроплит, включающей Минераловодский блок и расположенный к северо-западу Южно-Ставропольский вал [Шемпелев, 1977]. Ширина этой полосы для рассматриваемого района колеблется в пределах 60-80 км. Северная её граница совпадает с зоной известной Нагутской флексуры и имеет северо-западное простирание. Южная граница этой полосы, Предкавказский глубинный разлом [Шемпелев, 1982], также северо-западного простирания, имеющий по данным гравиразведки и магнитотеллурических зондирований (МТЗ) северное падение.

На рис. 1 представлены фактические материалы геофизических исследований по Приэльбрусскому профилю от вулкана Эльбрус на север через Кавказские Минеральные Воды, протяжённостью около 200 км. На временном разрезе метода обменных волн землетрясений (МОВЗ), выполненного в 2002 г. ГП «Сей-Эко-Геон» (г. Ессентуки), показаны оси корреляции максимальных и минимальных амплитуд радиальной компоненты обменных волн. При этом Минераловодский блок отличается полной нарушенностью субгоризонтальных границ раздела для всей толщи земной коры. Поверхность Мохо под ним также не прослеживается. В то же время верхняя часть разреза Минераловодского блока (до глубин 20-30 км) характеризуется избыточной плотностью по гравиметрическим данным, является высокоомной по материалам МТЗ и высокоскоростной по результатам обработки далёких землетрясений методом сейсмической томографии. Таким параметрам может отвечать кристаллический фундамент, поверхность которого (рис. 1) регистрируется макси-

мальными амплитудами PS-волн и залегает на глубинах 2-3 км. Севернее Нагутской флексуры подобная граница опускается до 12-14 км, причём достаточно уверенно прослеживаются граница Мохо и некоторые другие поверхности обмена, внутри коры и верхней мантии. Аналогичный характер разреза наблюдается, по крайней мере, ещё по трём глубинным профилям, отработанным в районе КМВ. Южнее Предкавказского разлома, т.е. южнее Минераловодского блока, границы обмена PS-волн относительно уверенны для нижней части земной коры (см. рис. 1), а мощность коры в целом возрастает до 65 км к вулкану Эльбрус, располагающемуся над Главным Кавказским надвигом. При этом сравнительно хрупкая верхняя кора, существенно гранитизированная в палеозое, судя по волновым характеристикам, значительно нарушена в отличие от более вязкой нижней коры. На рисунке в районе КМВ условно вынесено несколько массивов изверженных пород (необходимо принять во внимание вертикальный временной масштаб, что определяет растянутость верхней части разреза по вертикали).

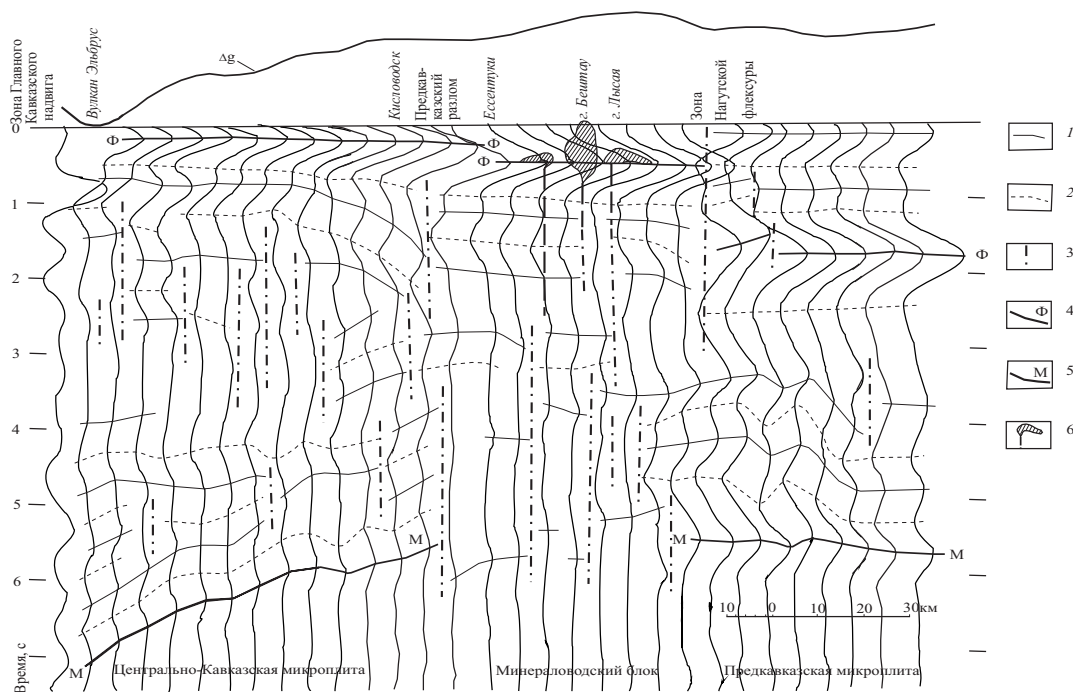


Рис. 1. Временный разрез по МОВЗ вдоль Приэльбрусского профиля

Условные обозначения: 1 – оси корреляции максимальных амплитуд обменных PS-волн;
 2 – то же минимальных амплитуд; 3 – место нарушения корреляции волновых форм;
 4 – поверхность кристаллического фундамента; 5 – граница Мохо; 6 – условная проекция
 гипабиссальной интрузии

Таким образом, полученные за последнее время геофизические материалы дают возможность предполагать, что район Кавказских Минеральных Вод располагается в зоне сквозной субвертикальной нарушенности земной коры [Шемпелев, 2003], а «неудавшиеся вулканы Пятигорья» – это неогеновые (возможно, неоген-четвертичные) гипабиссальные комплексы малых интрузий, к ней приуроченные. По форме эти структуры близки к трубкам взрыва на глубине, в подстилающем древнем кристаллическом фундаменте, и заканчиваются лакколитами в осадочном чехле. Источником поставки магматического материала в этом случае, вероятнее всего, является верхняя мантия, что может объяснить наличие повышенных содержаний углекислого газа в минеральных водах региона, известных всему миру.

На территории северного склона Большого Кавказа известно несколько районов со структурно-тектоническими условиями, схожими с районом Кавказских Минеральных Вод. Так Д. С. Белянкиным [1938] под названием «неоинтрузии» впервые были описаны молодые альпийские интрузии в пределах Горной Осетии. Он установил все основные выходы интрузивных пород в данном районе и дал петрографическое описание основных типов пород. В последствие изучением «неоинтрузий» занимался Л. А. Варданянц [1937], обосновавший верхнетретичный возраст и выявивший их большую роль в генезисе многих проявлений редкометального оруденения.

Е. К. Станкевич [1976], изучавший новейший магматизм Большого Кавказа, выделил интрузивные образования позднеорогенной стадии в грано-диорит-гранитовую формацию. Интрузивные и субинтрузивные образования изучаемого района и сопредельных территорий были выделены в теплинский дацит-гранодиоритовый комплекс. Среди вулканических образований этим же автором выделяется липаритовая формация, в которую входят и андезито-дациты, являющиеся наиболее поздними вулканическими образованиями описываемого района. В верховьях рек Сонгутидон, Фиэгдон В. А. Ермаков [1981] по взаимоотношению между собой различных петрографических разновидностей выделил четыре фазы становления теплинского комплекса.

В отношении распространения и пространственного положения для интрузий теплинского типа по данным С. М. Тибилова [1998] очень типична гнездовая (очаговая) форма развития. На территории Горной Осетии из таких гнезд (узлов) наиболее выражены на западе – Танадонский; в средней части – Сонгутидонский и Теплинский; на востоке – Казбекский.

В физических полях породы теплинского комплекса не имеют четкого отражения. По данным Л. Е. Лукашевича [Ермаков, 1981] для интрузий теплинского комплекса характерными геофизическими признаками являются отрицательные магнитные поля на аэромагнитных картах, а контакты трассируются цепочками положительных максимумов. Особенно четко это проявлено на Сонгутидонской интрузии. Иногда выходы пород комплекса отмечаются рядом сближенных знакопеременных магнитных аномалий, фиксирующих часто крупные массивы на глубине. На всех аэрофотоснимках интрузии легко распознаются благодаря светлому фототону и появлению характерного очень мелкого «елочного» рисунка гидросети.

Определением возраста пород теплинского комплекса занимались М. М. Аракелянц и др. [1968], Е. К. Станкевич [1976]. Абсолютный возраст калий-аргоновым методом по массивам этой формации в большинстве случаев дает значение в $2,25 \pm 0,3$ млн. лет. В то же время, для гранит-порфиров комплекса в районе г. Таймази имеется определение абсолютного возраста в 6 млн. лет [Аракелянц, 1968]. Определения возраста пород комплекса радиологическим методом не противоречат геологическим данным. Породы комплекса прорывают осадочные образования ранне – среднеюрского возраста и перекрываются четвертичными лавами (на сопредельной территории). Галька пород, сопоставимых по облику и составу с породами комплекса, известна в конгломератах акчагыла [Милановский, 1973]. Данные палеомагнитных исследований показывают, что формирование описываемого комплекса происходило в эпоху прямой магнитной полярности Гаусса (2,25-3,35 млн. лет) [Станкевич, 1976]. В состав теплинского комплекса входят: Сонгутидонский массив, обнажающийся в верховьях р. Сонгутидон, Теплинский массив, слагающийся в районе горы Тепли несколько выходов, и большое количество разнообразных по составу даек.

Район горы Тепли характеризуется локальной гравиметрической аномалией, повышенными значениями теплового потока и располагается в пределах субвертикальной зоны нарушения земной коры Ардонского глубинного разлома [Шемпелев, 1982].

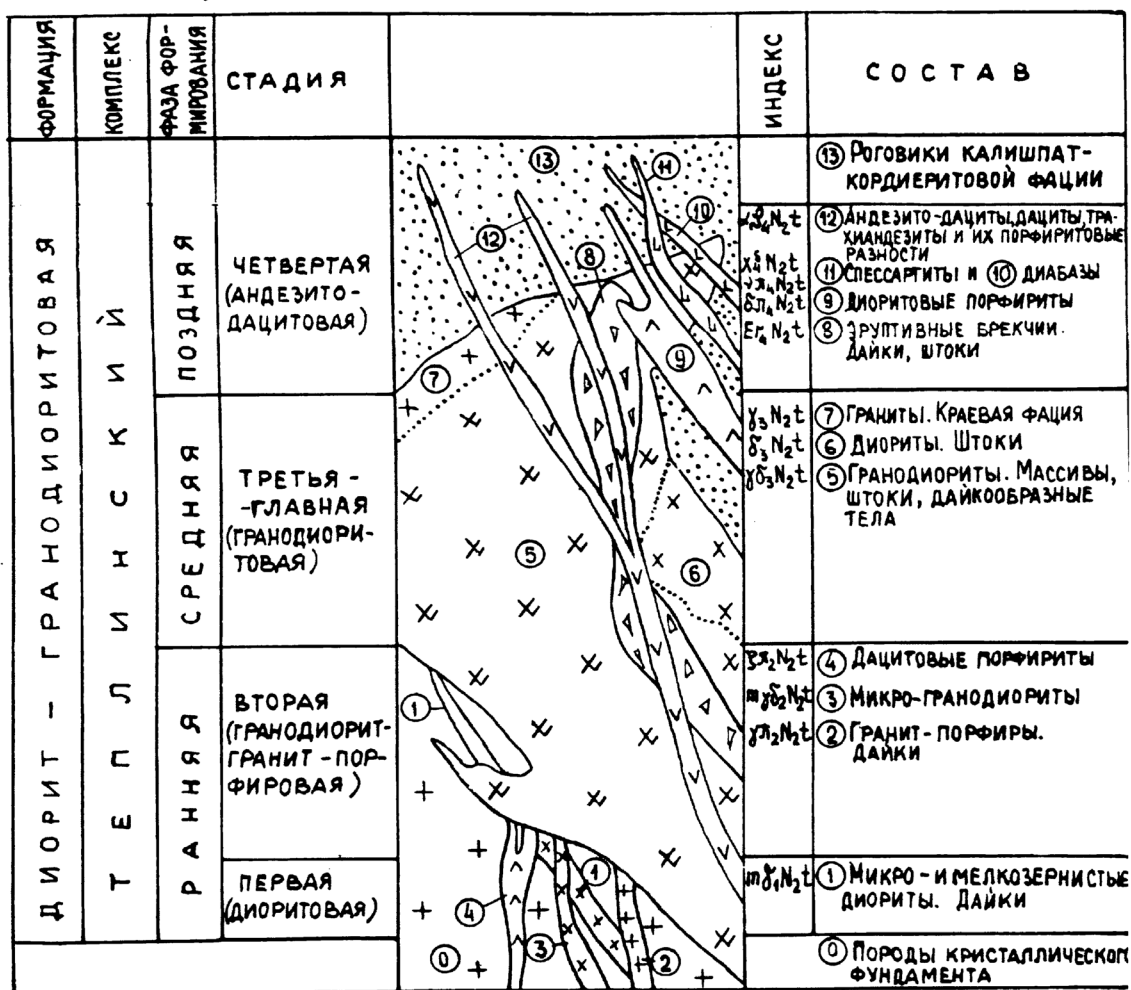


Рис. 2. Схема развития неогенового магматизма Горной Осетии

На рис. 2 приводится схема развития неогенового магматизма Горной Осетии. По взаимоотношениям между собой различных петрографических разновидностей выделяются следующие фазы становления комплекса (от древних к молодым): первая фаза – дайки и штоки диоритовых порфиров, микродиоритов, мелкозернистых диоритов; вторая фаза – дайки гранодиорит-порфиров, микрогранодиоритов, дацитов; третья фаза – массивы и штоки мелкозернистых гранитов и мелко-среднезернистых порфировидных гранодиоритов; четвертая фаза – дайки липарито-дацитов, дацитов, андезито-дацитов, латиандезитов, андезито-базальтов [Ермаков, 1981]. Причём основной интрузивной является третья фаза. Она представлена двумя достаточно хорошо изученными массивами Сонгутидонским и Теплинским. Массивы сложены биотит-роговообманковыми гранодиоритами, которые в краевой части иногда сменяются биотитовыми гранитами.

Вмещающими породами этих интрузий являются нижнесреднеюрские песчано-глинистые отложения и палеозойские граниты, в которых они занимают несогласное положение. Сонгутидонская интрузия располагается в зоне контакта палеозойских гранитов и указанных осадочных пород, а Теплинская – целиком расположена в последних. Контакты с вмещающими породами различные. С песчано-глинистыми отложениями они резкие, извилистые, редко с тонкими инъекциями, пропитывающими породу на расстоянии 1-1,5 м. С палеозойскими гранитами наблюдались резкие и постепенные контакты.

Ширина контактового ореола в песчано-глинистых отложениях достигает 1-1,5 км. Однако она подвержена сильным колебаниям из-за сложной формы кровли массивов.

Литература

1. Аракелянц М. М., Борсук А. М., Шанин Л. Л. Новейшая гранитоидная вулканоплутоническая формация Большого Кавказа по данным калий-аргонового датирования. Докл. АН СССР, т. 182, № 5, 1968.
2. Белянкин Д. С., Еремеев В. П., Петров В. П. Новые данные по неointрузиям в бассейне р. Урух. Изд-во АН СССР, Тр. института геолог, наук. Вып. IV, петрографическая серия (№ 3), 1938.
3. Варданянц Л. А. Материалы по неointрузиям Горной Осетии. Горные массивы Тепли, Казбек и Адай-Хох. Изд-во АН СССР. Проблемы советской геологии, т. VII, № 5-6, М., 1937, с. 473.
4. Герасимов А. П. Геологический очерк бассейна Верхней Малки. Тр. ЦНИГРИ, вып. 62, 1936.
5. Ермаков В. А., Доля А. Н., Семкин В. А., Печенюк В. Ф., Козлов В. А., Лукашевич Л. Е., Резников В. Ю. Геологическая карта Кавказа. Масштаб 1:50000. Листы К-38-40-Б, К-38-40-Г, К-38-41-А, К-38-41-В. Отчет Северо-Осетинской геологосъемочной партии по работам 1975-1980 гг. в Северо-Осетинской АССР. Ессентуки, 1981.
6. Катастрофические процессы и их влияние на природную среду. Том 1. Вулканизм / Под ред. Лавёрова Н. П. Москва, 2002. 436 с.
7. Лебединский В. И. Вулканическая корона Великой равнины. Москва, «Наука», 1973. 192 с.
8. Милановский Е. Е., Короновский Н. В. Орогенный вулканизм и тектоника альпийского пояса Евразии. М., Недра, 1973.
9. Павлинов В. Н. Общие черты строения лакколлитов района Кавказских минеральных вод. Труды МГРИ, т. XXIII, 1948.
10. Паффенгольц К. Н. Новые данные о возрасте эффузивов Центрального Кавказа, лакколлитов Пятигорья и гранитов Главного хребта. Материалы по геологии Европейской территории СССР. Сборник ВСЕГЕИ. Госгеолтехиздат, 1956.
11. Соболев Н. Д., Лебедев-Зиновьев А. А., Назарова А. С. и др. Неогеновые интрузивы и домезозойский фундамент района Кавказских минеральных вод. Москва: Госгеолтехиздат, 1959. 212 с.
12. Станкевич Е. К. Новейший магматизм Большого Кавказа. Ленинград: Недра, 1976.
13. Тибилов С. М., Ольховский Г. П. Отчетные материалы по теме: «Составление специализированной геологической основы масштаба 1:50000 для прогнозно-металлогенической карты Горной Осетии» Владикавказ, 1998.
14. Шемпелев А. Г. Результаты изучения тектоники Большого Кавказа геофизическими методами. Диссертация канд. геол.-мин. наук. Днепропетровск, ДГИ, 1977. 160с.
15. Шемпелев А. Г. Разломно-блоковая тектоника Северного Кавказа по геофизическим данным // Геол. журнал. Киев, 1982, № 4. С. 97-108.
16. Шемпелев А. Г. Зоны субвертикальной нарушенности земной коры. Материалы VI международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». Москва, 2003.

FAILED VOLCANOUS OF NOTHERN CAUCASUS

Shempelev A. G.^{1,2} Sc. Candidate (Geol.), Nevsky L. N. ²

¹ Federal State Unitary Geological Enterprise «Kavkazgeols'emka», Yessentuki, Russia, e-mail: shemp@geolog.kmv.ru.

² Center of Geophysical Investigations of VSC RAS & RNO-A, Vladikavkaz, Russia, e-mail: cgi_ras@mail.ru.

Geophysical materials obtained in recent time allow to suppose that region of Caucasus Mineral Waters is located in zone of subjacent subvertical dislocation of earth crust and «failed volcanous» are neogen (or neogen-quaternary) hypabyssal complexes of minor intrusions associated with it. There are several regions in Big Caucasus with structural-tectonical conditions, similar with Caucasus Mineral Water region.

Keywords: volcanoes, intrusions, geophysical methods, magmatism, Nothern Caucasus, Nothern Ossetia

ДИСКУССИИ, ОБСУЖДЕНИЯ

УДК 551.24 (234.9)

О НЕКОТОРЫХ ФИЗИЧЕСКИХ И ФАКТИЧЕСКИХ ОСНОВАНИЯХ ПРЕДПОЛАГАЕМЫХ МЕХАНИЗМОВ СЕЛЕВЫХ ЛЕДНИКОВЫХ КАТАСТРОФ: КОЛКА, 2002

© 2013 М. Г. Бергер^{1,2}, д.г.-м.н., проф., Х. О. Чотчаев², с.н.с.

¹Международный инновационный научно-технологический центр «Устойчивое развитие горных территорий»;

²Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А, Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова 93а. e-mail: berger7@rambler.ru.

В статье высказаны замечания по основным положениям гипотезы В. Л. Познанина и С. Г. Геворкяна о механизмах подготовки и проявления катастрофы 2002 г. на леднике Колка. Показаны физическая необоснованность и ошибочность этой гипотезы и ее несоответствие реальным фактам.

Ключевые слова: ледник Колка, катастрофа 2002 г., висячие ледники, крупные обвалы, импактное (ударное) воздействие.

Согласно В. Л. Познанину и С. Г. Геворкяну [Познанин, Геворкян, 2007, 2008; Познанин, 2009, с. 153], крупные ледово-каменные обвалы массой 10^8 - 7×10^9 кг способны легко в течение 1 секунды пробить ледник толщиной 150 м.

Эти представления лежат в основе изложенной в многочисленных публикациях гипотезы В. Л. Познанина и С. Г. Геворкяна, суть которой состоит в предполагаемом ими многократном ударе по леднику Колка крупных обвалов, вызванных, по их мнению, землетрясениями, в большинстве своем слабыми и отдаленными. Согласно авторам [Познанин, Геворкян, 2008, с. 92], в толще ледника обвальное тело образует «выпуклые лопастевидные тела, приподнимающие собой поверхность ледника», достигают границы ледника и субстрата и настолько сотрясают последний, что упругие волны отрывают ледник от его основания. С момента удара о поверхность ледника до полной потери кинетической энергии обвальное тело успевают преобразовать треть своей энергии в тепло, которое расходуется на образование воды. Суммарное количество образовавшейся таким путем воды составляет более 11 млн м³ [Познанин, 2009, с. 158], которое и выталкивает ледник из ложа.

Ниже высказаны некоторые замечания по основным положениям этой гипотезы.

Висячие ледники, как это видно, в частности, на космическом снимке от 19 августа 2002 г. [Тутубалина, Черноморец, Петраков, 2005], не концентрируются своими массами на высоте 1150 м над поверхностью ледника Колка (как принимают в своих расчетах В. Л. Познанин и С. Г. Геворкян [Познанин, Геворкян, 2007, с. 86]), а представляют собой ледяные блоки протяженностью 600-1000 м, ниспадающие

по северной и северо-восточным экспозициям цирка, не превышающим угол наклона к горизонту 45° . При одновременном обвале всей массы отдельного висячего ледника его центр тяжести располагается на высотах 500-600 м. Даже если пренебречь трением при движении ледовых блоков вниз по склону, то ускорение не превысит $6,93 \text{ м/с}^2$. Соответственно, исходя из высоты расположения центров и ускорения падения ледовых обвалов, нетрудно определить, что скорость ледовых обвалов в момент достижения ими поверхности ледника Колка не может превышать 83 м/с . При этом никакого основания опрокидываться ледовым блокам, да еще с вращением [Познанин, Геворкян, 2007, с. 88], на таком склоне нет, и утверждения обратного – ничто иное, как от лукавого. Траектория движения крупных обвальных масс льда вниз по склону под углом 45° предопределяет *выкат* этих масс на поверхность ледника Колка, выстилание ими этой поверхности и в какой-то мере, возможно, *скольжение* их по поверхности ледника, а не свободное падение и вертикальный удар по леднику, как это принимают в своих рассуждениях В. Л. Познанин и С. Г. Геворкян [2007, с. 86]. Отсутствие возможности вертикального падения обвальных ледовых и ледово-каменных масс (висячих ледников и их скального основания) на поверхность ледника («на ровный участок поверхности примерно в центре тыловой части ледника Колка» [там же]) наглядно видно из представленных на рис. 1 профилей продольного и поперечного сечений ледникового цирка. (Палеольдом на этих графиках условно названы подстилавшие выброшенный ледник отложения донной морены, ледовые и ледово-каменные массы различного генезиса и времени образования, сохранившиеся в ложе ледника Колка после катастрофы).

Но и при более крутых склонах, как известно, обвальные массы объемом более 5 млн м^3 в отсутствие трамплина «как бы текут по склону, не отрываясь от него, даже если он субвертикальный» [Федоренко, 1988, с. 119].

* * *

На приведенном в работе О. В. Тутубалиной и др. [Тутубалина, Черноморец, Петраков, 2005] космическом снимке *Landsat 7 ETM+* от 19 августа 2002 г. (рис. 2) положения висячих ледников на обеих экспозициях цирка отчетливо видны. Их языки практически подпирают южные и западные контуры основного карово-долинного ледника, что способствует сползанию (безусловно, скоростному) обвальных масс на поверхность основного ледника.

Эффективное воздействие на тыльную часть ледника Колка могли оказать, при их обрушении, висячие льды двух обобщенных площадок, расположенных к югу и юго-западу от тыльной части ледника Колка. Площадь концентрации этих льдов составляет около $0,67 \text{ км}^2$. (Определенная по данным космофотосъемки суммарная площадь висячих ледников, обрушившихся на ледник Колка перед катастрофой, составляет $0,34 \text{ км}^2$ [Тутубалина, Черноморец, Петраков, 2005]). Независимо от количества льда, сконцентрированного на такой площадке, физика воздействия обрушенных масс на ледник противоречит выдвинутой В. Л. Познаниным и С. Г. Геворкяном [Познанин, 2009; Познанин, Геворкян, 2007, 2008 и др.] гипотезе импактного воздействия и его последствий, предполагаемых указанными авторами.

Рассмотрим основные феноменологические последствия импактного (ударного) воздействия обвальных масс на ледник Колка, допуская сценарий, предложенный В. Л. Познаниным и С. Г. Геворкяном.

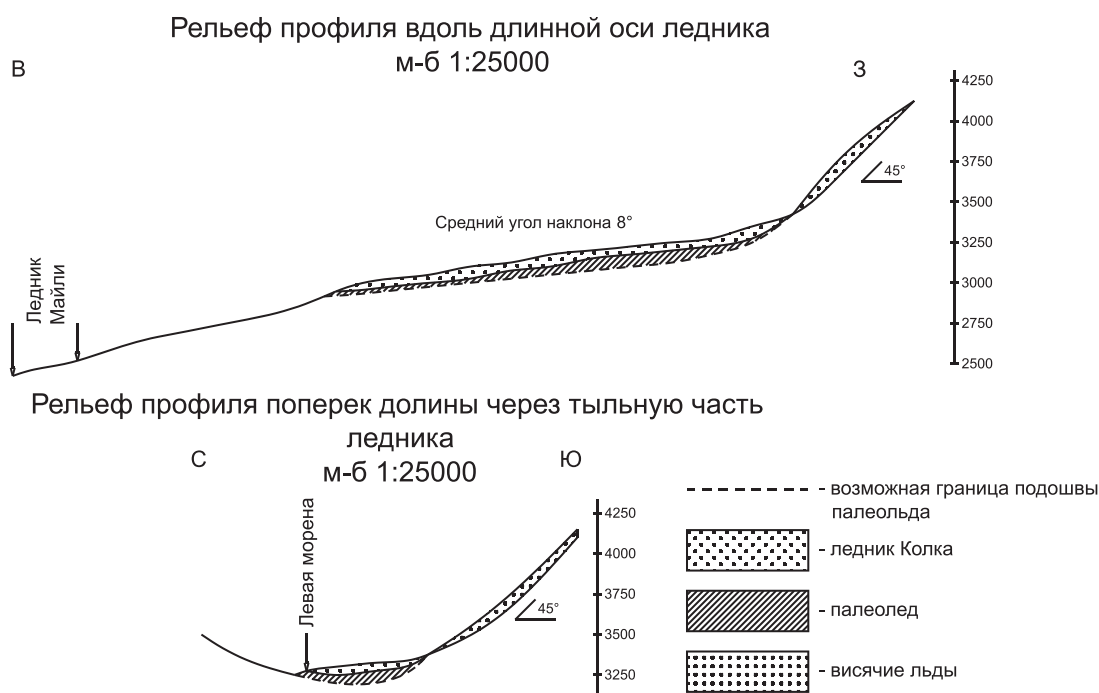
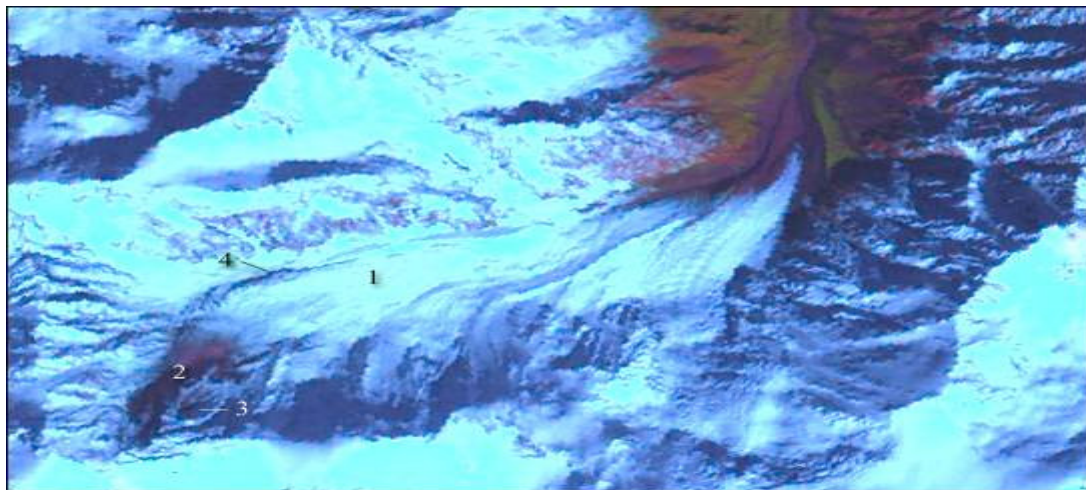


Рис. 1.

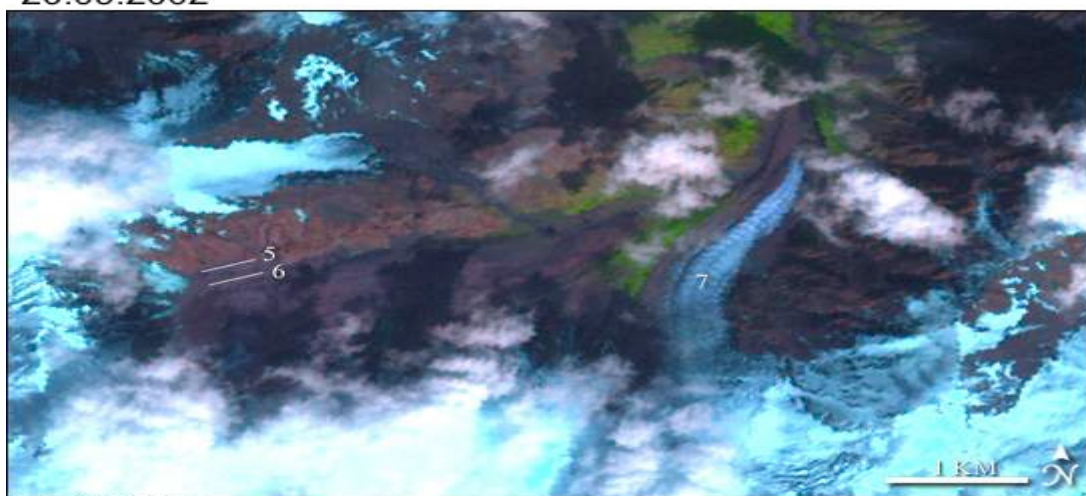
Для превращения энергетического эталона [Познанин, Геворкян, 2007, с. 85] (1331 м^3 льда нулевой температуры) в воду той же температуры (при относительной высоте центра обвала над поверхностью ледника Колка $H = 500 \text{ м}$, ускорении вниз по склону $g \cos 45^\circ = 6,93 \text{ м/с}^2$, скорости до 83 м/с) критическая масса обвального льда (содержанием каменного материала в количестве до 10% пренебрегаем) должна составить $4,3 \times 10^5 \text{ т}$. Отдельно взятый обвал объемом 7 млн м^3 растопит 21922 м^3 воды, а все порции обвалов даже суммарного объема 50 млн м^3 приведут к образованию 156588 м^3 воды, что увеличит дебит реки Колка на 2 л/с на суточный срок или покроет площадь ложа ледника слоем воды толщиной 6 см .

Если, как предполагается [Познанин, 2009, с. 157], в ложе накопилось $6,6 \text{ млн м}^3$ воды, то почему же эта вода не проявила себя разгрузкой в р. Геналдон сквозь водонасыщенный 20-метровый подошвенный пористый слой ледника, образованный, как утверждают В. Л. Познанин и С. Г. Геворкян [2008], последующим термоэффектом обвальных масс в недрах ледника, их ударами о подледный субстрат и упругими волнами, распространяющимися в этом субстрате?

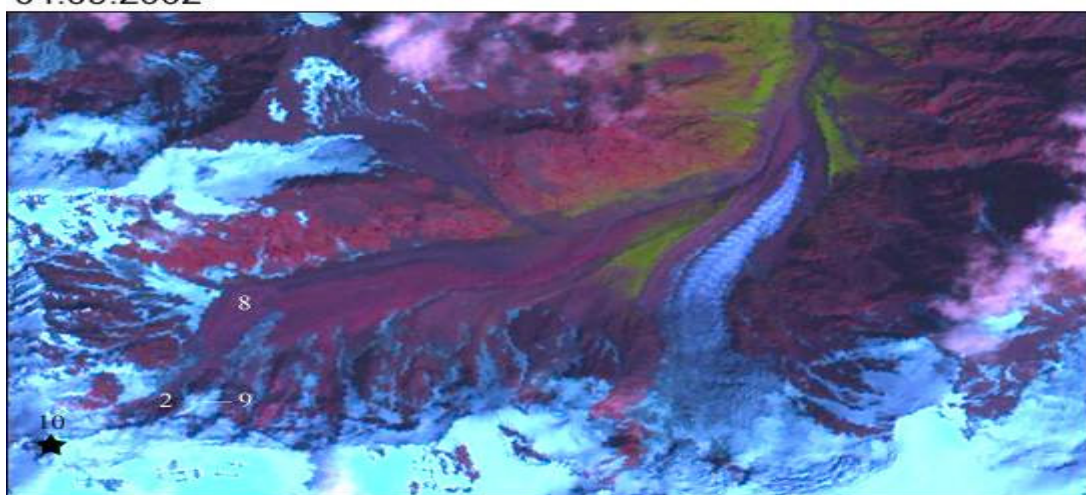
Обвальная ледяная масса объемом 7 млн м^3 при ускорении $6,93 \text{ м/с}^2$ обладает силой $4,85 \times 10^{10} \text{ Н}$ или $4,85 \times 10^9 \text{ кгс}$, которая воздействует на площадь соприкосновения обвала с поверхностью ледника. Эта обвальная масса в виде параллелепипеда с высотой 1000 м , меньшей стороной основания, равной средней мощности висячих льдов (50 м), и большей стороной, равной 140 м (принимаемая величина этой стороны зависит от принятого объема обвального тела и его мощности), по условию декларируемого В. Л. Познаниным и С. Г. Геворкяном [2007, 2008] последствия импактного воздействия на ледник, пробивает ледник мощностью пусть даже не 150 м , а, скажем, всего $32\text{-}35 \text{ м}$ и достигает субстрата ложа, сохраняя при этом еще колоссальный потенциал энергии для дальнейшего видоизменения ледника и даже его литосферного субстрата.



20.09.2002



04.09.2002



19.08.2002

Рис.2. Ледниковый цирк Колка за 8,5 часов, за 16 дней и за месяц до катастрофы 20 сентября 2002 г. на космических снимках Landsat 7 ETM+: 1 – ледник Колка; 2 – зона выноса обвалившихся горных пород; 3 – место висячего ледника, обвалившегося в период с 19 августа до 20 сентября 2002 г.; 4 – тень уступа поверхности ледника; 5,6 граница обвального шлейфа горных пород на 4 сентября и 19 августа соответственно; 7 – ледник Майли; 8 – обвальный шлейф горных пород 19 августа; 9 – висячий ледник, позднее полностью обвалившийся; 10 – г. Джимарайхох. (Интерпретация О.В. Тутубалиной, С.С. Черноморца, Д.А. Петракова [2005].)

По условию гипотезы указанных авторов, упавшее тело проникает в ледник, преодолевая сопротивление на разрыв (прочность льда) вдоль поверхностей параллелепипеда или, проще говоря, разрывая $(140 + 50) \times 2 \times 32 \text{ м}^2$, т. е. $12\,160 \text{ м}^2$ льда.

Чтобы преодолеть предел прочности 1 м^2 льда, требуется усилие на разрыв, равное 10^4 МПа , что соответствует 10^5 кгс/см^2 или 10^9 кгс/м^2 , а действие силы $4,85 \times 10^9 \text{ кгс}$, развиваемой обвальной ледяной массой объемом 7 млн м^3 , на площадь разрыва, равную $12\,160 \text{ м}^2$, составляет всего 40 кгс/м^2 или порядка $4,0 \text{ МПа}$, что крайне недостаточно для импактного воздействия на ледник по сценарию В. Л. Познанина и С. Г. Геворкяна.

Пуля калибра $7,62 \text{ мм}$ и массой $7,9 \text{ г}$ вылетает из ствола автомата Калашникова с ускорением $600\,000 \text{ м/с}^2$ [Енохович, 1990]. При стрельбе в упор по ледяной глыбе давление пули составит $1\,050 \text{ кгс/см}^2$ или 105 МПа (значительно больше, чем прочность льда), но пуля способна проникнуть в глубь ледовой массы лишь на 44 см ($105 \text{ МПа} / 2,39 \text{ см}^2$, где в знаменателе указана площадь создаваемого пулей отверстия глубиной $1,0 \text{ см}$). Но и эту глубину (44 см) пуля, естественно, не преодолеет, потому что часть энергии израсходуется на образование тепла (воды) и упругих волн и, конечно, из-за высокой вязкости разрушения льда. (Об этом же свидетельствуют и широко известные результаты безуспешных бомбардировок ледников авиабомбами.) По представлениям же В. Л. Познанина и С. Г. Геворкяна о почти мгновенном переходе льда в жидкое (жидкокристаллическое) состояние [Познанин, Геворкян, 2007, с. 87 и др.], пуля, создавая первоначальное давление, превышающее прочность льда в сотню раз, должна пробивать лед любой толщины за счет перехода льда в жидкокристаллическое состояние.

И еще несколько замечаний (далеко не исчерпывающих всего возможного их количества).

1. Не к месту приведена [Познанин, Геворкян, 2008, с. 92] формула зависимости энергии и протяженности очага землетрясения, выведенная для региональных сейсмических событий. Время Δt нахождения тыльной части ледника Колка в активной фазе по формуле $\lg \Delta t = 0,33 \lg E - 7$ (где Δt – продолжительность, год; E – энергия, эрг) составляет $0,79$ года или 288 дней, а не 70 дней, как утверждают В. Л. Познанин и С. Г. Геворкян [там же]. Размер же очага (L , м), вычисленный по второй формуле $\lg \Delta t = \lg L - 6$, составляет не до 1 км , как утверждают авторы [там же], а превышает 10^5 м .

Напомним, что очаг концентрации воздействия обвальных льдов с северо-восточного склона г. Джимарайхох и северного склона ее восточного отрога на тыльную часть ледника Колка не превышал по протяженности 750 м , а вся длина ледника составляла около $2\,850 \text{ м}$.

2. Не отрицая возникновения при ударе обвальных масс по леднику упругих волн различного типа, оценим количественное воздействие на ледник обвала отдельного ледяного тела объемом $7 \times 10^6 \text{ м}^3$, движущегося в момент удара с ускорением $6,93 \text{ м/с}^2$. Площадь контакта обрушенного льда с ледником примем в пределах ранее рассмотренных размеров по простиранию и по мощности, т. е. 140×50 или $7\,000 \text{ м}^2$. Напряжение (Н/м^2) составит $6,93 \times 7 \times 10^9 \text{ Н} / 7\,000 \text{ м}^2$. Учитывая реальную траекторию удара под углом 45° , тангенциальная или нормальная составляющие напряжения будут равны $6,93 \times 7 \times 10^9 \cos 45^\circ \text{ Н} / 7\,000 \text{ м}^2$ или $6,93 \times 7 \times 10^9 \sin 45^\circ \text{ Н} / 7\,000 \text{ м}^2$ (в том и другом случаях напряжение составит $4\,899\,510 \text{ Н/м}^2$).

В то же время, напряжение (Н/м^2), создаваемое в среде (леднике) при ударе (τ), пропорционально произведению циклической скорости ($f = 1 \text{ Гц}$, $2\pi f A \text{ м/с}$) (где A

– амплитуда смещения), скорости распространения упругой волны ($c = 3000$ м/с) и плотности среды ($\rho = 1000$ кг/м³): $\tau = 2\pi f A c \rho$ [Саваренский, Кирнос, 1955]. Формула характеризует динамические условия распространения упругой волны и в данном случае не учитывает пластичности льда, особенности внутренней структуры ледника, принимаемые В. Л. Познаниным и С. Г. Геворкяном [2008, с. 93], и прочие ненормализованные изменения в леднике.

Подставляя вместо τ в формуле $\tau = 2\pi f A c \rho$ значение напряжения (тангенциального или нормального), равное 4899510 Н/м², а в правую часть – значения физических параметров, определим амплитуду смещения в точке удара (A_0) в момент удара, которая равна 26 см. С учетом коэффициента поглощения льда, составляющего $0,44L^{-1}$ [Бычковский, Гурьянов, 2005], амплитуда смещения под точкой удара на глубине $H = 20$ м будет равна 40 мкм ($A = A_0 e^{-0,44H}$), а на глубине 30 м – всего лишь 0,5 мкм. Таким образом, о возникновении в результате обвального удара по леднику упругих волн, крошащих лед на контакте его с субстратом или отрывающих ледник от его ложа (о чем неоднократно бездоказательно пишут В. Л. Познанин и С. Г. Геворкян [Познанин, Геворкян, 2007 и др.]), и говорить не приходится.

3. Несколько слов о катастрофических перегрузках, возникающих, по гипотезе В. Л. Познанина и С. Г. Геворкяна [2008, с. 94], при движении массы одновременно обрушенного льда «со скоростью 150 м/с на участках вогнутого ложа при радиусе закругления более 100 м».

Чтобы ускоряться «на участках вогнутого ложа при радиусе закругления более 100 м», обрушающиеся глыбы льда должны быть по размеру, во всяком случае, значительно меньше радиуса искривления вогнутого ложа, что будет характеризовать далеко не импактный удар, а хаотическое продвижение крупноглыбового раскрошенного льда.

Проявления перегрузок возможны на закруглениях при обрушении масс льда как с северного склона восточного отрога г. Джимарайхох в направлении поперек простирания ледника Колка, так и с северо-восточного склона г. Джимарайхох в направлении по простиранию ледника. Радиусы закруглений в том и другом случаях соответственно составляют порядка 1000 м и 750 м. На таких закруглениях, чтобы достигнуть перегрузок в 20g (предполагаемых В. Л. Познаниным и С. Г. Геворкяном [там же]), необходимо, чтобы скорость достигала 400 м/с и более.

Выше было показано, что при углах склона до 45° величина ускорения обвальных тел не может превышать $6,93$ м/с², а их скорость в момент достижения ими поверхности ледника Колка не может превышать 83 м/с. Но даже обладая абсолютной величиной ускорения силы тяжести перед импактным (ударным) воздействием на ледник, обрушенное ледовое тело может достигать перегрузок до 20g только под действием внешних ускоряющих (+20g) или тормозящих (– 20g) сил, предполагать которые в данном случае нет оснований.

Завершая краткий анализ мнения В. Л. Познанина и С. Г. Геворкяна о последствиях импактного воздействия крупных обвалов на ледник, можно констатировать, что, несмотря на претензии авторов [Познанин, Геворкян, 2008, с. 91] на безоговорочное признание и неопровержимость изложенных ими положений, разработку В. Л. Познанина и С. Г. Геворкяна трудно признать научной гипотезой, скорее ее нужно считать фантастическим, совершенно невероятным, физически необоснованным и ошибочным сценарием развития событий в ходе подготовки и протекания одного из отнюдь не фантазмагорических, а реальных катастрофических явлений природы – Колкинской катастрофы 2002 года, являющейся, как имеются достаточные основания полагать, далеко не единственной катастрофой такого рода.

Именно расчеты и заключения, основанные на законах физики и комплексе фактической доказательной базы, опровергают утверждения В. Л. Познанина и С. Г. Геворкяна об импактном воздействии обвальных ледово-каменных масс на ледник Колка, проникающих свойствах этих масс и вызываемых этим селевых и других последствиях.

Литература

1. Бычковский Н. Н., Гурьянов Ю. А. Ледовые строительные площадки, дороги и переправы. Саратов: Саратовский гос. техн. ун-т, 2005. 260 с.
2. Енохович А. С. Справочник по физике. 2-е издание. М.: Просвещение, 1990. 384 с.
3. Познанин В. Л. Механизмы селевых ледниковых катастроф: Колка 2002. М.: ИМГРЭ, 2009. 180 с.
4. Познанин В. Л., Геворкян С. Г. Импактный механизм подготовки ледника Колка к селевой катастрофе: физические процессы при крупных обвалах // Криосфера Земли. 2007. Т. XI. № 2. С. 84-91.
5. Познанин В. Л., Геворкян С. Г. Энергетический потенциал импактного селевого очага и изменение структуры ледника Колка перед его срывом // Криосфера Земли. 2008. Т. XII. № 2. С. 90-97.
6. Саваренский Е. Ф., Кирнос Д. П. Элементы сейсмологии и сейсмометрии. Изд. 2-е. М.: Гостехтеориздат, 1955. 545 с.
7. Тутубалина О. В., Черноморец С. С., Петраков Д. А. Ледник Колка перед катастрофой 2002 года: новые данные // Криосфера Земли. 2005. Т. IX. № 4. С. 62-71.
8. Федоренко В. С. Горные оползни и обвалы, их прогноз. М.: Изд-во МГУ, 1988. 214 с.

ON SOME PHYSICAL GROUNDS OF ALLEGED AND ACTUAL MECHANISMS OF GLACIAL MUDFLOWS CATASTROPHES: KOLKA, 2002

M. G. Berger^{1,2}, Sc. Doctor (Geol.), prof., Ch. O. Chotchaev²

¹International Innovation Scientific-Technological Center «Sustainable Development of Mountain Territories»,

²Center of Geophysical Investigations of Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences and the Government of the Republic of North Ossetia-Alania, Vladikavkaz, Russia, e-mail: cgi_ras@mail.ru

The article comments on the V. L. Poznanin and S. G. Gevorgyan framework hypothesis on arrangement mechanisms of the Kolka glaciercatastrophe 2002 preparation. The hypothesis physical invalidity is shown, and real facts mismatch.

Keywords: Kolka glacier, 2002 catastrophe, hanging glaciers, landslides, impact.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Объем статей не должен превышать 12 страниц текста, оформленного в соответствии с Правилами.

На первой странице должны быть указаны: УДК (шрифтом Times New Roman, размером 12, выравнивание по левому краю); название статьи на русском языке (прописными буквами, без кавычек, переносы не допускаются, точка в конце не ставится, подчеркивание не используется, выравнивание по центру), кегль 14 полужирный, выравнивание по центру; инициалы и фамилии авторов (кегель 12 полужирный курсив, выравнивание по центру); название учреждения, место работы всех авторов, и контактная информация для переписки (почтовый адрес, адрес электронной почты); аннотация статьи на русском языке и ключевые слова

Текст статьи набирается шрифтом Times New Roman размером 12 пт через одинарный интервал, выравнивание по ширине, без расстановки переносов. Подзаголовок – полужирный размером 12 пт, выравнивание по левому краю. При написании статьи используются общепринятые термины, единицы измерения и условные обозначения, единообразные по всей статье. Расшифровка всех используемых авторами обозначений дается при первом употреблении в тексте. Буквы латинского алфавита набираются курсивом, буквы греческого и русского алфавитов – прямым шрифтом.

Формулы создаются с помощью встроенного редактора формул (Microsoft Equation) с нумерацией в круглых скобках – (2), выравниваются по правому краю, расшифровка всех обозначений (букв) в формулах дается в порядке упоминания в формуле. Большие формулы необходимо разбивать на отдельные фрагменты. Фрагменты формул по возможности должны быть независимы (при использовании формульного редактора каждая строка – отдельный объект). Нумерацию, и по возможности, знаки препинания следует ставить отдельно от формул обычным текстом.

Таблицы, рисунки, фотографии размещаются внутри текста и имеют сквозную нумерацию по статье. Названия всех рисунков, фотографий и таблиц приводятся на русском языке, 11 кегль. Нумерация обозначений на рисунках дается по порядку номеров по часовой стрелке или сверху вниз. Рисунки с большим количеством деталей (сложные схемы, графики) размещаются на всю ширину страницы (16,5 см). Рисунки также должны быть предоставлены отдельными файлами в формате TIFF или JPEG с разрешением 300 dpi для контрастных черно-белых рисунков и 600 dpi – для полутонных. Цветные иллюстрации допускаются по согласованию с редакцией.

Обозначения, термины и иллюстративный материал должны соответствовать действующим ГОСТам.

Перечень литературных источников приводится общим списком в конце статьи. Список составляется по алфавиту, сначала следуют источники на русском, затем – на английском. Литература должна быть оформлена согласно ГОСТ 7.1–2003. Отсылки на литературу в тексте приводятся в квадратных скобках в строку с текстом документа. Допускается использование кратких библиографических ссылок согласно ГОСТ Р 7.0.5–2008. Если ссылку приводят на документ, созданный одним, двумя или тремя авторами в отсылке указывают фамилии авторов, если на документ, созданный четырьмя и более авторами – указывают фамилию первого автора и сокращение «и др.» («et al.» для документов на языках, применяющих латинскую графику); если авторы не указаны – указывают название документа; далее указывают год издания и при необходимости сведения дополняют указанием страниц. Сведения в отсылке разделяют

запятой. Если ссылка содержит сведения о нескольких ссылках, группы сведений разделяют знаком точка с запятой. В ссылке допускается сокращать длинные заглавия, обозначая опускаемые слова многоточием с пробелом до и после этого предписанного знака.

Приложения к статье

1. Аннотация (на отдельной странице – не более 100 слов). В ней не рекомендуется использовать формулы и ссылки на литературу. Если рукопись подается на русском языке, то аннотация должна быть продублирована на английском с указанием названия статьи, фамилий и инициалов авторов на этих языках. Если рукопись подается на английском языке, необходимо привести также аннотацию на русском. Аннотация печатается шрифтом Times New Roman (12 кегль) в одном файле в следующем порядке: название статьи, авторы, наименование организации, текст аннотации на русском языке, ключевые слова; далее, через 2 строки, в той же последовательности – на английском языке. Аннотация также публикуется на сайте журнала (на русском и английском языках).

2. Резюме (на отдельной странице) на русском и английском языках печатается шрифтом Times New Roman (10 кегль) и должно содержать следующую информацию:

- фамилия, имя, отчество всех авторов полностью (на русском и английском языках);
- полное название организации – место работы каждого автора в именительном падеже, страна, город (на русском и английском языках). Если все авторы статьи работают в одном учреждении, можно не указывать место работы каждого автора отдельно;
- адрес электронной почты для каждого автора;
- корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с авторами статьи (можно один на всех авторов);
- опционально: подразделение организации, должность, научное звание, ученая степень, награды и научные премии, профессиональный опыт, основной круг научных интересов, количество публикаций каждого из авторов.

3. Текст реферата (одна страница) для опубликования в реферативных журналах (РЖ) ВИНТИ. Параметры страницы: формат А4 (210×297 мм); межстрочный интервал полуторный; шрифт Times New Roman (12 кегль) в одном файле в следующем порядке: наименование статьи, авторы, наименование организации, реферат на русском языке; далее, через 2 строки, в той же последовательности – на английском языке.

4. Справка из отдела аспирантуры (для аспирантов). **Плата с аспирантов (единственный автор) за публикацию рукописей не взимается.**

Тексты статей могут быть высланы в rar или zip архиве (каждая статья отдельно) по электронной почте на адрес редакции southgeo@mail.ru.

В архиве должны присутствовать следующие файлы:

- текст статьи, включая формулы, таблицы, рисунки, подрисуночные подписи, список литературы,
- иллюстрации в формате TIFF или JPG, которые должны быть именованы таким образом, чтобы было понятно, к какой статье они принадлежат и каким по номеру рисунком статьи они являются. Каждый файл должен содержать один рисунок.
- аннотация на русском и английском языках;
- реферат на русском и английском языках;
- резюме на русском и английском языках;

Редакция не возвращает авторам присланные материалы равно как на бумажных, так и на электронных носителях.

**ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА
ЮГА РОССИИ
(№1. 2013г.)**

Подписано в печать 21.01.2013 г. Формат 60×84 1/8.

Усл. печ. лист 8,1. Гарнитура «Times».

Бумага офсетная. Печать цифровая. Тираж 100 экз.

**Издание зарегистрировано в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств
массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-44273 от 17 марта 2011 г.**

Издатель:

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Центр геофизических исследований Владикавказского научного центра Российской академии
наук и Правительства Республики Северная Осетия-Алания**

Адрес редакции:

362002, РСО-А, г. Владикавказ, ул. Маркова 93а

тел. 8 (8672) 764084; факс 8(8672) 764056

e-mail: southgeo@mail.ru

<http://cgiras.ru/southgeo>

Отпечатано ИП Цопанова А.Ю.

362000, г. Владикавказ, пер.Павловский, 3.