

ISSN 2221-3198

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

№ 2/2013



СОДЕРЖАНИЕ

Алиев И.А., Магомедов А.Г., Идармачев А.Ш. АНАЛИЗ ВАРИАЦИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ЧЕРНОМОРСКО-КАВКАЗСКО-КАСПИЙСКОМ РЕГИОНЕ В СВЕТЕ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ.....	3
Бурмин В.Ю. ОБРАТНЫЕ КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ СЕЙСМОЛОГИИ ОБРАЩЕНИЕ РАЗРЫВНОГО ГОДОГРАФА РЕФРАГИРОВАННОЙ ВОЛНЫ.....	10
Воропаев П.В., Салтыков В.А. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ УРОВНЯ СЕЙСМИЧНОСТИ.....	18
Карапетян Дж.К. УЧЕТ РЕЗУЛЬТАТОВ ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ РАЗРУШИТЕЛЬНЫХ И ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 11.03.2011 г. ПРИ ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ	26
Милюков В.К., Юшкин В.Д., Миронов А.П., Заалишвили В.Б., Кануков А.С., Дзеранов Б.В. МОНИТОРИНГ ПРИРАЩЕНИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ НА ОПОРНЫХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ПУНКТАХ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА ВЫСОКОТОЧНЫМИ ОТНОСИТЕЛЬНЫМИ ГРАВИМЕТРАМИ.....	39
Оганесян С.М., Карапетян С.С., Геодакян Э.Г., Карапетян Дж.К., Аукажиева Ж. М., Гаспарян А.С., Мкртчян Г.А. ОПЫТ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ АРМЕНИИ	46

ДИСКУССИИ И ОБСУЖДЕНИЯ

Гликман А.Г. ФИЗИКА ТЕХНОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ.....	54
Оганесян С.М., Заалишвили., В.Б., Карапетян Дж.К., Мельков Д.А. ИТОГИ I МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ПО СОВРЕМЕННЫМ ЗАДАЧАМ ГЕОФИЗИКИ, ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ И СЕЙСМОСТОЙКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА, ПОСВЯЩЕННАЯ 70-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ НАН РА.....	63

CONTENS

Aliev I.A., Magomedov A.G., Idarmachev A.S. ANALYSIS OF THE VARIATIONS OF GEOPHYSICAL FIELDS IN THE BLACK SEA-CAUCASUS-CASPIAN REGION IN THE LIGHT OF MODERN GEODYNAMIC MOVEMENTS	3
Burmin V.Y. INVERSE KINEMATIC PROBLEM OF SEISMOLOGY. INVERSION OF BURST REFRACTED WAVE HODOGRAPH	10
Voropaev P.V., Saltykov V.A. THE LEVEL OF SEISMICITY ASSESSMENT COMPUTER SYSTEM.....	18
Karapetyan J.K. USING RECORDED DESTRUCTIVE SEISMIC SHAKE AT GREAT JAPANESE EARTHQUAKES 11.03.2011 IN SEISMIC HAZARD ASSESSMENT.....	26
Milyukov V.K., Iushkin V.D., Mironov A.P., Zaalishvili V.B., Kanukov A.S., Dzeranov B.V. THE INCREMENTS OF GRAVITY MONITORING AT NORTHERN CAUCASUS GRAVIMETRIC TEAM POINTS USING PRECISION RELATIVE GRAVIMETERS.....	39
Oganesyan S.M., Karapetyan S.S., Geodakian E.G., Karapetyan J.K., Aukazshieva J.M., Gasparyan A.S., Mkrtchyan H.A. THE EXPERIENCE AND THE RESULTS OF ENGINEER- SEISMOMETRIC MONITORING OF ARMENIAN HYDRAULIC STRUCTURES	46

DISCUSSIONS, DISPUTES

Glickman A.G. PHYSICS OF TECHNOGENIC AND NATURAL EARTHQUAKES	54
--	----

УДК 550.3/551.24

АНАЛИЗ ВАРИАЦИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ЧЕРНОМОРСКО-КАВКАЗСКО-КАСПИЙСКОМ РЕГИОНЕ В СВЕТЕ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ

© 2013 И. А. Алиев, к.ф.-м.н., А. Г. Магомедов, А. Ш. Идармачев

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

Для анализа вариаций геофизических полей в Черноморско-Кавказско-Каспийском регионе изучены сейсмические события с $M > 4$ и глубиной очага от 4 до 45 км за период 2007-2011 гг. Это позволяет предположить, что для разрядки накапливающихся тектонических напряжений, вызываемых движением Аравийской плиты на север и Африканской на северо-восток, есть два пути: северо-западный по Анатолийским разломам и северо-восточный по разломам Кавказа. В работе проведен анализ изменения коэффициента корреляции вариаций кажущегося сопротивления на GPS станциях «Георезистор», позволяющий прогнозировать изменение сейсмической активности, связанной с тектоническими напряжениями, вызываемыми движением Аравийской плиты на север и Африканской на северо-восток.

Ключевые слова: сейсмические события, движения плит, тектонические движения, разлом.

1. Для анализа сейсмической активности (СА) была выбрана область с координатами: по широте от 34° до 46° СШ, и по долготе от 40° до 56° ВД. Сейсмические события с $M > 4$ и глубиной очага от 4 до 45 км, которые в большинстве случаев отражаются в вариациях кажущегося сопротивления (КС) исследовательской сети станций «Георезистор». В область входят Кавказ, Каспийское море и части Турции, Ирака, Ирана и Туркменистана. Одной из причин сейсмичности выбранного района это тектонические напряжения, вызываемые движением Аравийской плиты на север и Африканской на северо-восток – рис. 1 (по данным EMSC (European-Mediterranean Seismological Centre), www.emsc-csem.org).

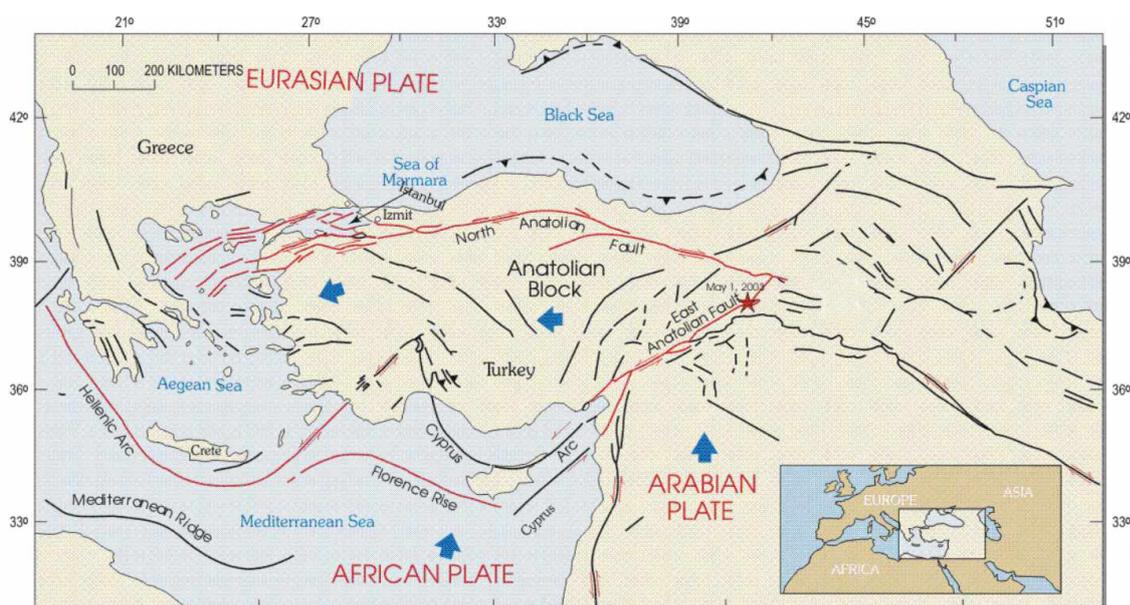


Рис.1 Схема активных разломов и направления движения плит (по данным EMSC).

Для разрядки накапливающихся тектонических напряжений есть два пути: северо-западный по Анатолийским разломам и северо-восточный по разломам Кавказа. И только анализ последовательных движений эпицентров землетрясений дает ответ, по какому из направлений идет процесс.

На рис.2 представлено количество наиболее значительных сейсмических событий с $M > 4$ происшедших в выбранной области за исследуемый период 2007-2011 гг.

Как видно из рисунка «фоновое» количество значительных сейсмических событий составляет менее 10 в месяц. Отмечаются два периода всплеска сейсмичности в конце 2008 и 2011 годов.

Всплеск СА 2008 года это процесс, идущий в северо-восточном направлении разрядки накопившихся тектонических напряжений. Последовательно эпицентры движутся на север и северо-восток, – от Ирано-Турецкой границы к Кавказу. Он хорошо отражается в импульсных вариациях КС на исследовательской сети станций «Георезистор» [Абдуллаев и др., 2000; Алиев и др., 2009; Алиев и др., 2010], расположенной вдоль одного из самых больших разломов Кавказа – Срединного. Всплеск СА 2011 года это процесс, идущий в северо-западном направлении разрядки накопившихся тектонических напряжений. Последовательные эпицентры движутся внутри области между северным и восточным Анатолийским разломами. И корреляция с вариациями КС на нашей сети станций невысокая.

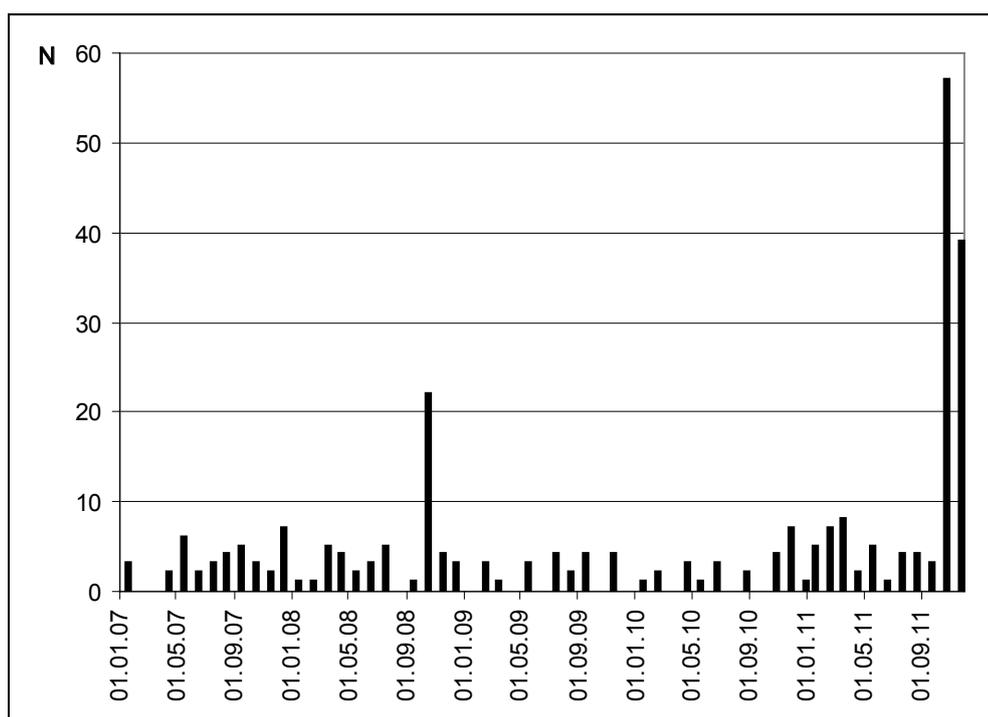


Рис.2 Сейсмические события с $M > 4$ происшедшие в выбранной области за исследуемый период 2007-2011 гг.

Вариации КС горных пород, полученные: на Западном побережье Каспийского моря в районе нефтегазового месторождения, на измерительных пунктах Махачкала, Турали, Изберг и в районе Чиркейской ГЭС, на сети геофизических станций «Георезистор» за 2007-2011 гг. представлены на рис.3. Наблюдается хорошая корреляция вариаций КС на нашей сети станций за 2007-2009 гг. Всплеск СА октября 2008 года четко отмечен на всех графиках, импульсными изменениями КС. Отсюда

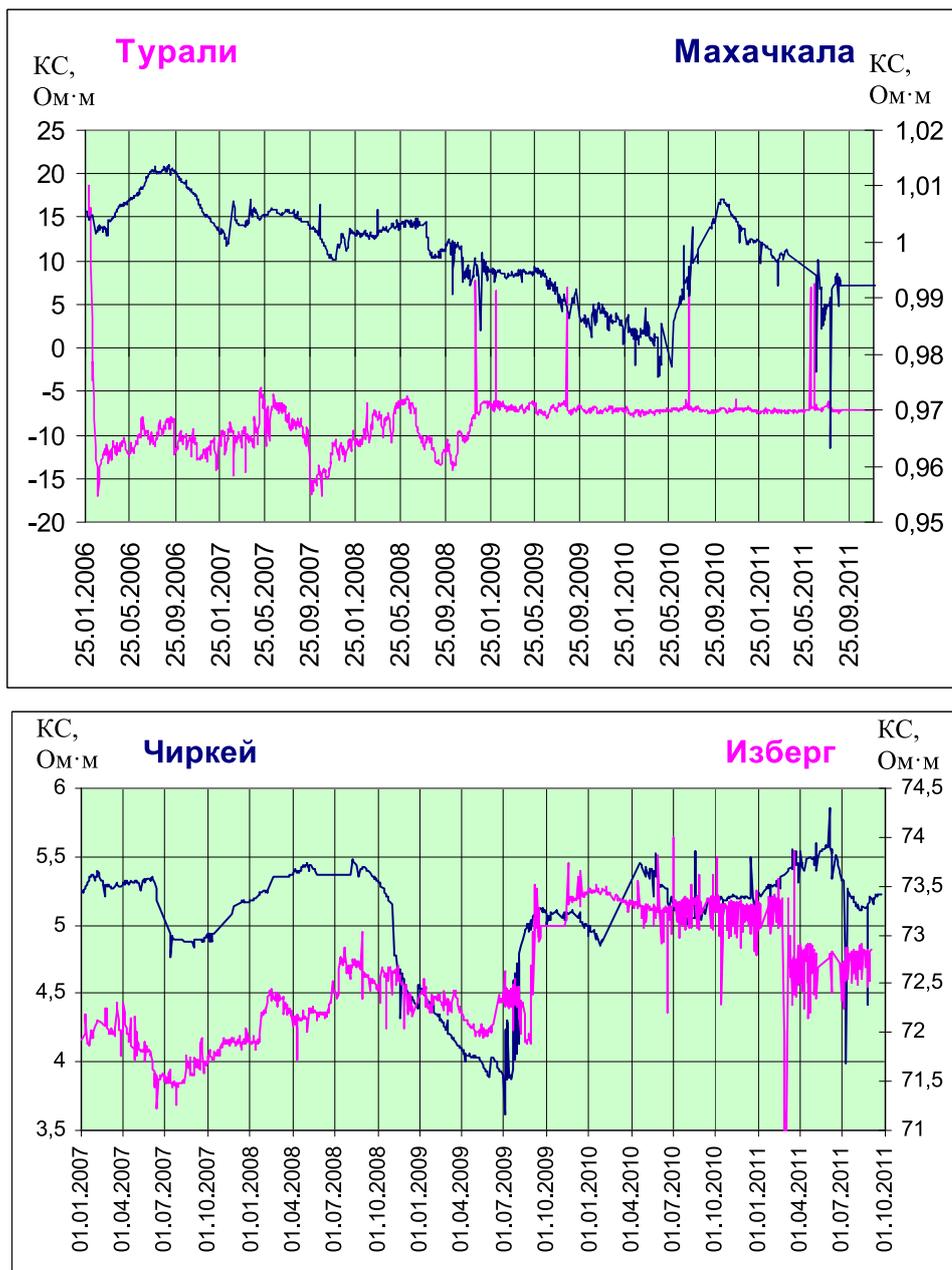


Рис.3 Вариации КС на сети геофизических станций «Георезистор» 2007-2011 гг.

можно сделать вывод: для процесса разрядки накапливающихся тектонических напряжений идущего по северо-восточному пути, по разломам Кавказа свойственна высокая корреляция вариаций КС на сети станций. Для процесса, идущего в северо-западном направлении разрядки накопившихся тектонических напряжений свойственна низкая корреляция между вариациями КС на нашей сети станций, но всплеск СА октября 2011 года, также хорошо отмечен на всех графиках, импульсными изменениями КС. Отсюда также можно сделать вывод: анализируя изменения коэффициента корреляции вариаций КС можно прогнозировать изменение СА, связанной с тектоническими напряжениями, вызываемыми движением Аравийской плиты на север и Африканской на северо-восток.

Следует также отметить, что все последовательные эпицентры афтершоков Турецкого землетрясения ($M=7,2$; 23.10.2011) остаются внутри области между север-

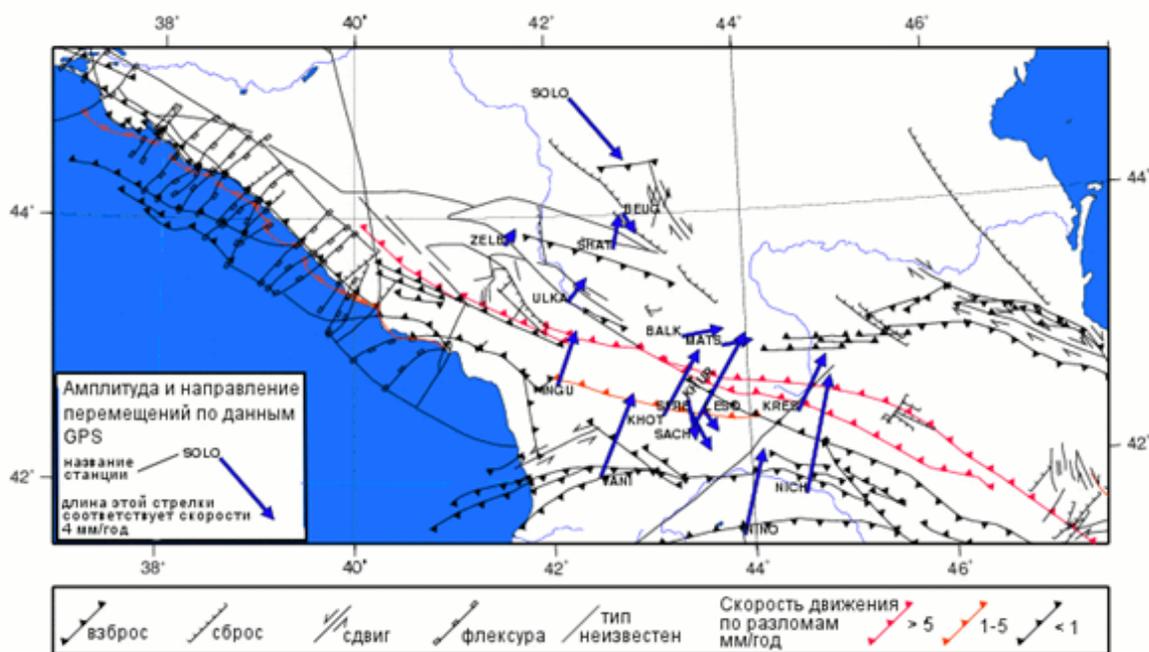


Рис.4 Скорости горизонтальных перемещений в северной Турции и на Большом и Малом Кавказе по данным [McClusky et al., 2000]. Показано положение основных активных разломов.

ным и восточным Анатолийским разломами, при том, что сейсмических событий с $M > 4$ было около 100 случаев. Все это является доказательством верности нашего предположения о двух путях разрядки накапливающихся тектонических напряжений: северо-западном по Анатолийским разломам и северо-восточном по разломам Кавказа.

Достаточно детальную информацию о современных движениях удастся в последние годы получать с использованием глобальной системы позиционирования (GPS). В частности, в обширном регионе, показанном на рис.4, в течение периода с 1988 по 1997 были проведены исследования с использованием 189 GPS станций. Эти исследования [McClusky et al., 2000] позволили, в частности, уточнить скорости движения отдельных плит. Так GPS станции, расположенные на Аравийской



Рис.5 Фрагмент 3D- модели Республики Дагестан с векторами смещений блоков [Булаева и др., 2010].

плите показали, что она движется со скоростью 18 ± 2 мм/год в направлении северо-северо-запад относительно Евразийской плиты. Станции в Египте показали движение Африканской плиты на север со скоростью $5-6 \pm 2$ мм/год. Восточная Турция характеризуется распределенными деформациями, в то время как Центральная Турция движется практически как единое целое на запад с вращением против часовой стрелки. Данные по современным движениям в Дагестане представлены на рис.5., где видна четкая северо-восточная тенденция смещения блоков [Булаева и др., 2010], что является результатом движения, давления Аравийской плиты на север и Африканской на северо-восток.

Региональные модели напряжений в литосфере могут дать более точное представление о полях напряжений и деформаций в рассматриваемых районах и сделать выводы об их геодинамике и истории геологического развития. В работе [Коптев и др., 2011] представлены результаты моделирования напряженного состояния и складкообразования в литосфере в пределах Черноморско-Кавказско-Каспийского региона. Как видно из рисунка 6 в Черном и Каспийском морях доминирует обстановка сжатия. Для Каспийского моря характерна ЮЗ-СВ ориентировка главных осей сжатия в Южном и Центральном Каспии. Весь хребет Большого Кавказа находится в состоянии СВ-ЮЗ растяжения, который в восточной части сменяется интенсивным сжатием. Это еще одно доказательство правильности наших предположений.

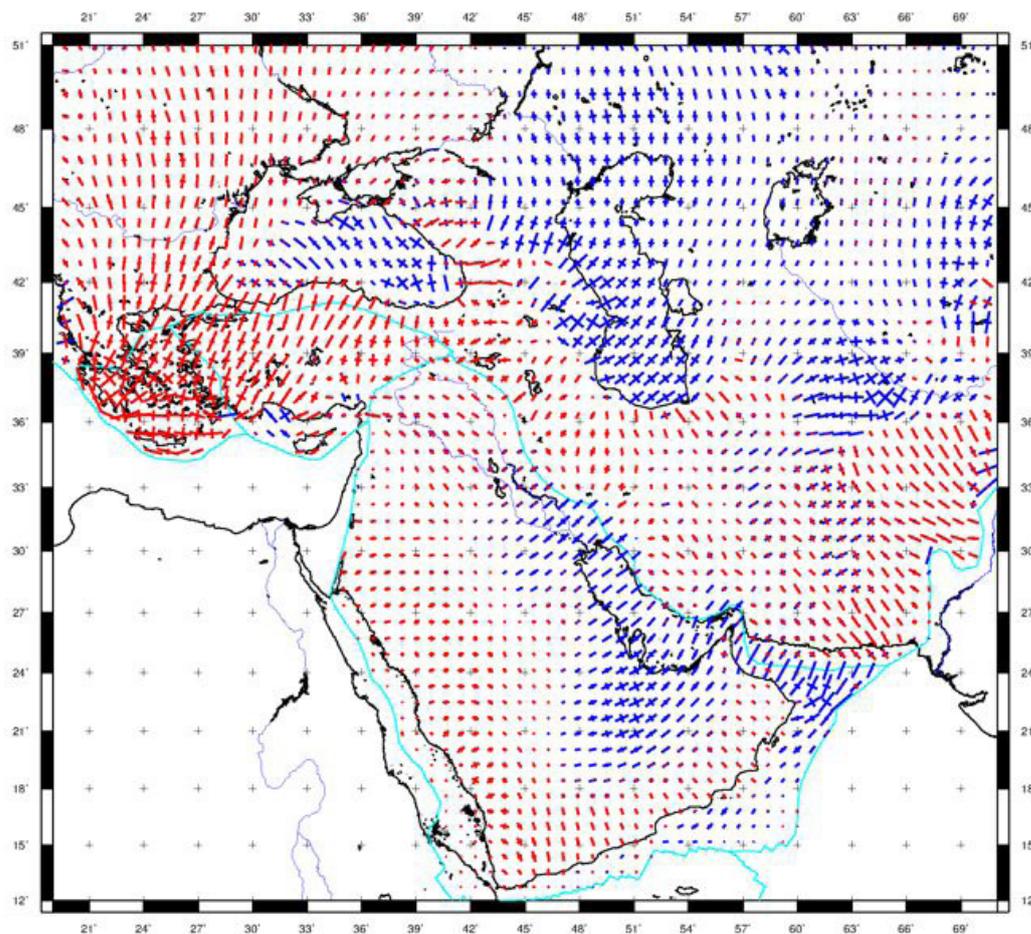


Рис.6 Расчетное поле напряжений [Коптев и др., 2011]

Сейсмическая активность на юго-востоке Ирана [Рогожин и др., 2001] это результат накопления грандиозных напряжений в земной коре, которые генерировались на протяжении тысяч лет движением Аравийской литосферной плиты к северу, в сторону Евразийской плиты со скоростью приблизительно 3 см/год. Деформация земной коры в ответ на движение плит происходит в широкой зоне сочленения Центрально-Иранского массива и его юго-западного горного обрамления.

На основании всего вышеизложенного можно делать следующие **выводы**:

1. Для разрядки накапливающихся тектонических напряжений, вызываемых движением Аравийской плиты на север и Африканской на северо-восток, есть два пути: северо-западный по Анатолийским разломам и северо-восточный по разломам Кавказа.

2. Анализируя изменения коэффициента корреляции вариаций КС на нашей сети станций можно прогнозировать изменение СА, связанной с тектоническими напряжениями, вызываемыми движением Аравийской плиты на север и Африканской на северо-восток.

Литература

1. Абдуллаев Ш.-С. О., Алиев И. А., Идармачев Ш. Г., Романов Н. Т. Связь вариаций электрического сопротивления горных пород с сейсмичностью на территории Дагестана // Вестник ДНЦ РАН. № 7. 2000. с.37-40.

2. Алиев И. А., Алиев М. М. и др. Синхронные наблюдения вариаций кажущегося сопротивления горных пород на сети пунктов в сейсмоактивной области // Мониторинг и прогнозирование природных катастроф./ Тр. ИГ ДНЦ РАН, вып.56, Махачкала, 2010. с. 171-175.

3. Алиев И. А., Идармачев А. Ш., Магомедов А. Г. Анализ вариаций кажущегося сопротивления горных пород в сейсмоактивных районах // Сб. трудов Института геологии Дагестанского научного центра РАН. Махачкала.2009.№ 55. с.310-315.

4. Булаева Н. М., Галаганов О. Н. Спутниковый мониторинг современных геодинамических движений на территории Дагестана // НТЖ Мониторинг. Наука и Технологии. № 1 (2). 2010, с.27-35.

5. Коптев А. И., Ершов А. В. Моделирование поля напряжений и литосферных складок в Черноморско-Кавказско-Каспийском регионе // Тезисы международной конференции, посвященной памяти В. Е. Хаина «Современное состояние наук о Земле». Москва, МГУ, 1-4 февраля 2011 г.

6. Рогожин Е. А., Собисевич Л. Е., Нечаев Ю. В. и др. Геодинамика, сейсмотектоника и вулканизм Северного Кавказа // Под ред. акад. Н. П. Лаверова. М., 2001. с. 338.

7. McClusky S. et al. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. Journal of Geophysical Research, 2000, 105, В3, pp.5695-5719.

ANALYSIS OF THE VARIATIONS OF GEOPHYSICAL FIELDS IN THE BLACK SEA-CAUCASUS-CASPIAN REGION IN THE LIGHT OF MODERN GEODYNAMIC MOVEMENTS

**© 2013 I.A. Aliev, Sc. Candidate (Phys.-math.), A. G. Magomedov,
A. S. Idarmachev**

The Institute of geology of the Dagestan Centre of science of Russian Academy of Sciences, Russia, Makhachkala, 367030, M. Iaragskogo st., 75,
e-mail: dangeo@mail.ru.

To analyze the variations of geophysical fields in the Black Sea-Caucasus-Caspian region studied seismic events with $M > 4$ m and a depth of source 4-45 km from 2007 till 2011. This suggests that for discharge of the accumulated tectonic stress caused by movement of the Arabian plate to the North and North-East Africa, there are two ways: Northwest by Anatolian faults and Northeast by Caucasus faults. The analysis of the changes of the correlation coefficient variations on resistance of GPS stations «Georezistor» to predict change of seismic activity associated with the tectonic stresses caused by movement of the Arabian plate to the North and the African to the North-East.

Keywords: seismic events, the movement of plates, tectonic movements, rift.

УДК 550.34

ОБРАТНЫЕ КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ СЕЙСМОЛОГИИ ОБРАЩЕНИЕ РАЗРЫВНОГО ГОДОГРАФА РЕФРАГИРОВАННОЙ ВОЛНЫ

© 2013 В. Ю. Бурмин, д.ф.-м.н.

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Россия, 123995,
г. Москва, ул. Б. Грузинская, 10,
e-mail: burmin@ifz.ru.

Одним из способов определения скоростей распространения сейсмических волн в Земле в настоящее время является обращение сейсмических годографов. Эта задача распадается на две задачи: первая – это вывод формул обращения годографов и вторая – сглаживание наблюдаемых сейсмических годографов такими функциями, которые удовлетворяли бы условию разрешимости задачи. Оказывается, что такими функциями являются выпуклые кубические сплайны. Здесь рассматривается только одна задача – обращение разрывного годографа рефрагированной волны.

Ключевые слова: сейсмические волны, годографы, сплайны

Из многочисленных геофизических методов, сейсмические методы исследования Земли, основанные на изучении распространения сейсмических волн в упругой среде, дают наиболее полные и детальные данные о структуре геологических сред. Основными способами определения скоростей распространения сейсмических волн в Земле в настоящее время являются решения, основанные на анализе времен пробега сейсмических волн и, в частности, обращении сейсмических годографов.

Несмотря на то, что в настоящее время бурно развиваются методы численного решения обратных многомерных кинематических задач сейсмологии или, как принято говорить, методы сейсмической томографии, определение скоростей распространения сейсмических волн в предположении об изменении скоростей только с глубиной остаётся весьма актуальным. Прежде всего, это связано с тем, что задачи сейсмической томографии предполагают задание некоторого начального приближения скоростной модели среды. При этом, чем ближе начальное приближение к истинной модели среды, тем лучше сходимость решения в задаче томографии к окончательной модели. Кроме этого, восстановление скоростных характеристик методом сейсмической томографии основывается, как правило, на использовании только рефрагированных волн и не дает возможность определять границы раздела в упругой среде. В то же время, обращение годографов отраженных и обменных волн позволяет определять положение резких границ в среде, распределение скорости в классе монотонных скоростных функций. Более того, если имеем некоторую площадную систему сейсмических наблюдений, то, получая положение границы обмена под каждой станцией, можно по набору сейсмических событий на различных эпицентральных расстояниях построить трехмерное распределение соответствующей сейсмической границы и скоростей продольных и поперечных волн.

Определение скоростей сейсмических волн в Земле основано главным образом на анализе времен пробега сейсмических волн и, в частности, обращении сейсмических годографов. Годографы представляют собой зависимость времен распро-

странения упругих колебаний от эпицентральных расстояний (горизонтальный годограф) или от разности глубин источников и приемников (вертикальный годограф). Поскольку скорости распространения сейсмических волн в упругой среде определяют времена пробега колебаний от источников до приемников, то задачу нахождения скоростных характеристик среды можно рассматривать как задачу обращения совокупности сейсмических годографов, пренебрегая малыми изменениями амплитуды и формы колебаний в сейсмической волне.

Впервые строгое рассмотрение задачи обращения сейсмического годографа от поверхностного источника было проведено в начале нашего века Г. Герглотцем [Herglotz, 1907], Е. Вихертом [Wiechert, 1907] и Г. Бейтманом [Bateman, 1910] для сферически симметричной Земли. Ими было показано, что если $u(r) = r/v(r) > 0$ является монотонной возрастающей функцией, где $v(r)$ скорость распространения сейсмической волны на расстоянии r от центра Земли, то $v(r)$ однозначно определяется по годографу $t(y)$ сейсмической волны, наблюдаемому на поверхности Земли. Для определения функции $v(r)$ была получена формула обращения сейсмического годографа, которая имеет вид

$$\ln \frac{R_3}{r} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\psi_1} \text{Arch} \left[\frac{\alpha(\psi)}{\beta(\psi_1)} \right] d\psi,$$

где R_3 – радиус Земли; y_1 – угловое расстояние от источника упругих колебаний до точки их приема, соответствующее лучу с параметром $\beta = \frac{dt}{d\psi} \Big|_{\psi=\psi_1}$; $a(y)$ – текущее значение лучевого параметра ($\psi_1 \geq \psi \geq 0$).

Первоначально формула обращения использовалась для определения скорости распространения сейсмических волн в Земле от землетрясений. Однако в начале тридцатых годов метод, предложенный Г. Герглотцем и Е. Вихертом, стал применяться в сейсморазведке в предположении, что скорость распространения сейсмических волн в упругой среде меняется только с глубиной. К этому периоду относятся работы [Slichter, 1932] и [Чиби́сов, 1934].

Л. Слихтер [Slichter, 1932] рассмотрел случай, когда годограф сейсмической волны имеет разрывы, связанные с наличием в упругой среде слоя пониженной скорости (волновод). Он показал, что слои в волноводе можно переставлять (времена прихода сейсмических волн, регистрируемых на поверхности Земли, при этом не меняются) и нашел верхнюю границу мощности волновода.

С. В. Чиби́совым [1934] была получена формула обращения годографа рефрагированной волны, распространяющейся в среде с плоскопараллельным распределением скорости со скачками на границах слоев.

Тем не менее из-за вычислительных трудностей этот метод не нашел широкого применения до появления быстродействующих электронных вычислительных машин в начале 60-х годов, когда начался новый этап развития методов решения обратной одномерной кинематической задачи сейсмологии.

Большое внимание решению обратных кинематических задач уделено в работе [Гервер, Маркушевич, 1967], где была установлена эквивалентность одномерной задачи для круга и горизонтально однородного полупространства и даны формулы конформного преобразования круга в полуплоскость (x, y) :

$$x = R_3 \psi, \quad z = R_3 \ln \frac{R_3}{r}, \quad v(z) = R_3 \frac{v(r)}{r}$$

Получена формула, связывающая глубину максимального проникновения сейсмического луча с функцией $x(a)$ для упругой среды с волноводами в предположении, что скорость в волноводах задана:

$$z(\beta) = \frac{1}{\pi} \left\{ \int_{\beta}^{\beta_0} \frac{x(\alpha) d\alpha}{\sqrt{\alpha^2 - \beta^2}} + \sum_{i=1}^k \int_{z_i}^{\bar{z}_i} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{v^2(z) - \alpha_i^2}{\alpha_i^2 - \beta_i}} dz \right\},$$

где $z(\beta)$ – глубина максимального проникновения луча с параметром β ; $\beta_0 = v^{-1}(0)$; \bar{z}_i и z_i – глубины верхней и нижней границ i -го волновода; $v(z)$ – скорость в i -м волноводе; $\alpha_i = v^{-1}(z_i - 0)$. Ими было показано, что, если в среде имеются слои пониженной скорости, то скорость распространения сейсмических волн в волноводе и ниже определяется неоднозначно.

В.С. Гейко [1982] исследовал вопрос неединственности решения обратной кинематической задачи сейсмологии, основываясь на аналитическом продолжении сейсмического годографа. Им было показано, что для достаточно широкого класса скоростных функций множество решений задачи является «слихтеровым», т.е. скоростная функция вне волнопроводов определяется однозначно, а в волноводах – с точностью до перестановки элементарных слоев в волноводе. При этом однозначно определяются минимальное значение скорости в волноводе и мощность волновода.

Рефрагированные (преломленные) волны, как правило, уверенно прослеживаются только в первых вступлениях, и годографам первых вступлений волн соответствует, как правило, незначительное их проникновение вглубь слоев, особенно при малых градиентах скорости в слоях. Более полную информацию о распределении скоростей сейсмических волн можно получить, если привлечь к интерпретации годографа отраженных волн. Поскольку в формулы обращения годографов входит параметр луча, который численно равен производной годографа, то одним из важных вопросов в задаче обращения сейсмических годографов является дифференцирование сейсмического годографа, заданного с погрешностями дискретным набором точек. Для вертикально неоднородной среды годограф может быть представлен как совокупность конечного числа простых кривых, которые на участках монотонности обращены выпуклостью вверх или вниз, в то же время экспериментальные годографы в силу случайных погрешностей и неоднородности реальных упругих сред в горизонтальных направлениях практически никогда не удовлетворяют этим условиям.

Таким образом, задача обращения годографов сейсмических волн распадается на две задачи. Первая задача – это вывод формул обращения годографов и вторая – сглаживание наблюдаемых сейсмических годографов такими функциями, которые удовлетворяли бы условию разрешимости задачи. Оказывается, что такими функциями являются выпуклые кубические сплайны.

Здесь рассматривается только одна задача – обращение разрывного годографа рефрагированной волны. Другие обратные задачи сейсмологии рассмотрены в монографии автора [Бурмин, 2012; Burmin, 2013].

Обращение разрывных годографов рефрагированных волн

Запишем параметрическое уравнение годографа рефрагированной волны, распространяющейся в вертикально-неоднородной среде:

$$x(p) = 2p \int_0^{z^*} \frac{dz}{\sqrt{v^{-2}(z) - p^2}}, \quad t(p) = 2 \int_0^{z^*} \frac{dz}{v^2(z) \sqrt{v^{-2}(z) - p^2}},$$

где $v(z)$ – скорость распространения сейсмической волны; p – параметр луча численно равный производной годографа в соответствующей точке.

Пусть годограф имеет разрыв, связанный с наличием в среде слоя с пониженной скоростью (волновода). Рассмотрим задачу определения скоростной функции $v=v(z)$ на интервале $[0, z_M]$ по годографу рефрагированной волны. Будем искать решение задачи на множестве V положительных, дважды кусочно-гладких, ограниченных скоростных функций $v(z) \in V$, определенных на сегменте $[0, z_M]$, $z_M \leq H < \infty$. Будем полагать, что число разрывов годографа конечно. Пусть первая ветвь годографа начинается в точке $(0,0)$ (что, вообще говоря, не обязательно). Тогда по формулам обращения годографа Герглотца-Вихерта-Чибисова по первой ветви годографа можно восстановить скоростную кривую до некоторой глубины z^* . Пересчитаем оставшиеся ветви годографа на уровень z^* . Будем иметь

$$x(p, z^*) = x(p) - 2p \int_0^{z^*} \frac{dz}{\sqrt{u^2(z) - p^2}} = 2p \left\{ \int_{z^*}^{\bar{z}^*} + \int_{\bar{z}^*}^{z(p)} \right\} \frac{dz}{\sqrt{u^2(z) - p^2}},$$

$$t(p, z^*) = t(p) - 2 \int_0^{z^*} \frac{u^2(z) dz}{\sqrt{u^2(z) - p^2}} = 2 \left\{ \int_{z^*}^{\bar{z}^*} + \int_{\bar{z}^*}^{z(p)} \right\} \frac{u^2(z) dz}{\sqrt{u^2(z) - p^2}}.$$

Здесь $u(z) = v^{-1}(z)$.

Рассмотрим вторую ветвь годографа. Кривая $t(x)$ (после пересчета) будет иметь вид, показанный, например, на рис. 1.

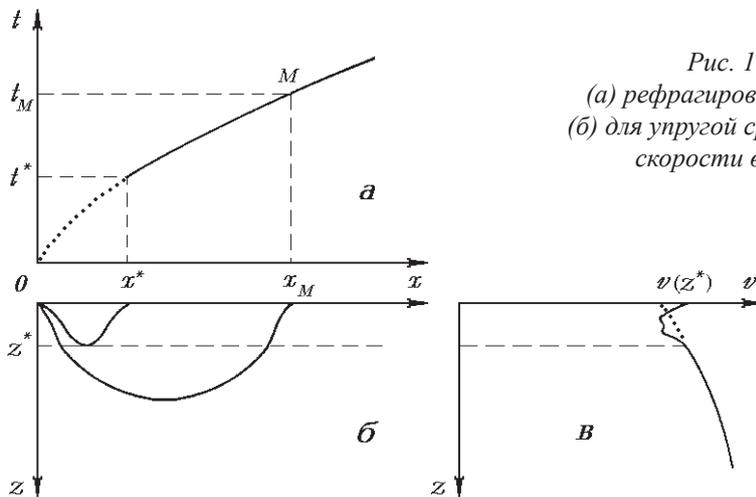


Рис. 1. Фрагмент годографа (а) рефрагированных волн и сейсмические лучи (б) для упругой среды с произвольным изменением скорости в верхней части разреза (в).

Как известно, в волноводе существует бесконечное множество скоростных функций, которые удовлетворяют наблюдаемому годографу. Рассмотрим в волноводе функцию $H(u) = \text{mes} \{z : z \in [z^*, \bar{z}^*], v^{-1}(z) \leq u\}$. По определению функция $H(u)$: а) не убывает; б) равна нулю при $-\infty < u \leq \bar{u}^*$; в) равна $h = \bar{z}^* - z^*$ при $u^* \leq u < \infty$. Здесь \bar{u}^* – минимальное значение показателя преломления в волноводе; u^* – максимальное значение показателя преломления в волноводе.

Так как вне волновода функция $u = u(z)$ строго убывающая, то, следовательно, существует обратная функция $z = z(u)$.

В этом случае уравнения годографа могут быть записаны в виде суммы интегралов Римана и Стильтьеса [Бурмин, 2012]

$$x(p, z^*) = 2p \left\{ \int_p^{q_0} \frac{\lambda(u) du}{\sqrt{u^2 - p^2}} + \int_{\bar{u}^*}^{u^*} \frac{dH(u)}{\sqrt{u^2 - p^2}} \right\}, \quad t(p, z^*) = 2 \left\{ \int_p^{q_0} \frac{\lambda(u) u^2 du}{\sqrt{u^2 - p^2}} + \int_{\bar{u}^*}^{u^*} \frac{dH(u)}{\sqrt{u^2 - p^2}} \right\}, \quad (1)$$

где $\lambda(u) = -dz/du \geq 0$, $dH(u) \geq 0$.

Умножим правую и левую часть первого уравнения из (1) на $1/\sqrt{w^2 - p^2}$ и проинтегрируем в пределах от q до q_0 . Тогда будем иметь

$$\int_q^{q_0} \frac{x(p, z^*) dp}{\sqrt{w^2 - p^2}} = \int_q^{q_0} \frac{2p}{\sqrt{w^2 - p^2}} \left\{ \int_p^{q_0} \frac{\lambda(u) du}{\sqrt{u^2 - p^2}} + \int_{\bar{u}^*}^{u^*} \frac{dH(u)}{\sqrt{u^2 - p^2}} \right\} dp,$$

где $q \leq p \leq q_0 \leq \bar{u}^* \leq w \leq u^*$.

Меняя местами внутренние и внешний интегралы, в соответствии с правилом Дирихле (область интегрирования показана на рис. 2), получим:

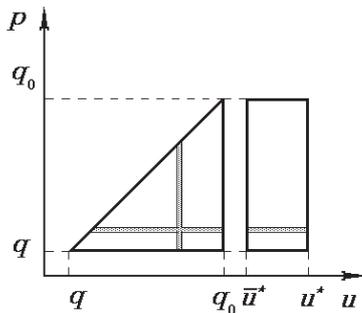


Рис. 2. Область интегрирования в задаче обращения разрывного годографа рефрагированных волн

$$\begin{aligned} \int_q^{q_0} \frac{x(p, z^*) dp}{\sqrt{w^2 - p^2}} &= \int_q^{q_0} \frac{2p}{\sqrt{w^2 - p^2}} \left\{ \int_p^{q_0} \frac{\lambda(u) du}{\sqrt{u^2 - p^2}} + \int_{\bar{u}^*}^{u^*} \frac{dH(u)}{\sqrt{u^2 - p^2}} \right\} dp = \int_q^{q_0} \lambda(u) \int_q^u \frac{2p dp}{\sqrt{(u^2 - p^2)(w^2 - p^2)}} du + \\ &+ \int_{\bar{u}^*}^{u^*} dH(u) \int_q^{q_0} \frac{2p dp}{\sqrt{(u^2 - p^2)(w^2 - p^2)}} = \int_q^{q_0} \lambda(u) K_1(u, w) du + \int_{\bar{u}^*}^{u^*} K_2(u, w) dH(u), \end{aligned} \quad (2)$$

где $K_1(u, w) = 2 \ln \frac{\sqrt{w^2 - q^2} + \sqrt{u^2 - q^2}}{\sqrt{w^2 - u^2}}$, $q \leq u \leq q_0 \leq \bar{u}^* \leq w \leq u^*$;

$$K_2(u, w) = 2 \ln \frac{\sqrt{w^2 - q^2} + \sqrt{u^2 - q^2}}{\sqrt{w^2 - q_0^2} + \sqrt{u^2 - q_0^2}}, \quad q \leq q_0 \leq u^* \leq u, w \leq u^*.$$

Умножим правую и левую часть второго уравнения из (1) на $p/\sqrt{w^2 - p^2}$ и также проинтегрируем в пределах от q до q_0 . В результате будем иметь

$$\int_q^{q_0} \frac{t(p, z^*) p dp}{\sqrt{w^2 - p^2}} = \int_q^{q_0} \lambda(u) u^2 K_1(u, w) du + \int_{\bar{u}^*}^{u^*} u^2 K_2(u, w) dH(u). \quad (3)$$

Таким образом, мы получили систему из двух интегральных уравнений Фредгольма первого рода относительно двух функций $\lambda(u)$ и $H(u)$, которые должны удовлетворять условиям

$$\lambda(u) \geq 0, \quad dH(u) \geq 0. \quad (4)$$

Для решения уравнений (2) и (3) сегмент $[q, q_0]$ разбивается $N+1$ точками на N частичных сегментов. На каждом частичном сегменте функция $\lambda(u)$ считается равной положительной константе λ_j ($j=1, 2, \dots, N$). Сегмент $[\bar{u}^*, u^*]$ также разбивается $N+1$ точками на N частичных сегментов. На сегменте $[\bar{u}^*, u^*]$ рассматривается функция скачков ΔH_j ($j=1, 2, \dots, N$). Тогда уравнения (2) и (3) запишутся в виде системы из $2N$ уравнений, линейных относительно $2N-2$ неизвестных λ_j и ΔH_j и нелинейных относительно двух неизвестных $w_1 = u^*$ и $w_N = \bar{u}^*$. Численное решение этой задачи рассмотрено в работе [Бурмин, 2012].

Сглаживание наблюдаемых годографов сейсмических волн, распространяющихся в вертикально-неоднородных средах, выпуклыми кубическими сплайнами

Использование формул обращения сейсмического годографа предполагает, что лучевой параметр p , равный производной годографа, задан для каждого значения $x \in [0, x_M]$. Поскольку предполагается, что из наблюдений известны только величины x и t , то возникает задача дифференцирования экспериментального годографа, заданного с погрешностями дискретным набором точек. Как известно, эта задача в общем случае также является некорректной.

Чтобы получить решение задачи с помощью формул обращения сейсмического годографа, необходимо предварительно сгладить экспериментальный годограф некоторой функцией $T(x)$, которая удовлетворяла бы определенным требованиям, предъявляемым к годографам, и имела бы минимальное отклонение от экспериментального годографа в заданной метрике $\rho = (f, \tilde{f})$. Дифференцируя найденную сглаживающую функцию, найдем значения параметров p .

Необходимо иметь в виду, что экспериментальный годограф задан дискретным набором точек, определенным сеткой наблюдений $D: a = x_0, \dots, x_n = b$. В то же время, для того, чтобы воспользоваться формулами обращения, необходимо, чтобы функция $t(x)$ была задана на всем интервале $[a, b]$. Следовательно, необходимо восполнить экспериментальный годограф на интервалах $[x_j, x_{j+1}]$. Очевидно, что сглаживающая функция должна выполнить и эту задачу.

На участках монотонности и непрерывности функция $t(x)$ должна удовлетворять требованиям, выполнение которых является необходимым условием для того, чтобы $t(x)$ являлась годографом рефрагированной или отраженной волны. Перечислим эти требования:

- 1) Функция $t(x)$ – неотрицательная функция, $t(x) \geq 0$ ($x \in [0, x_M]$).
- 2) Производная функции $t(x)$ – неотрицательная функция, $t'(x) \geq 0$.
- 3) Если на сегменте $[x_j, x_{j+1}]$ функция $t(x)$ соответствует прямой ветви годографа, то вторая производная $t''(x)$ – неположительная функция, $t''(x) \leq 0$. Если на сегменте $[x_j, x_{j+1}]$ функция $t(x)$ соответствует обратной ветви годографа, то вторая производная $t''(x)$ – положительная функция, $t''(x) > 0$. В случае годографов отраженных волн и волн, распространяющихся вверх от источника, вторая производная функции $t(x)$ должна быть неотрицательной функцией, $t'' \geq 0$ [Бурмин, 1980].

Очевидно, что первое требование выполняется всегда. Второе требование выполняется почти всегда, за исключением тех возможных случаев, когда ошибки в определении точек годографа недопустимо велики. Третье же требование не выпол-

няется практически никогда. Последнее обстоятельство связано с тем, что даже небольшие ошибки в определении времен и расстояний приводят к нарушению условий $t''(x) \leq 0$ ($t''(x) > 0$) для рефрагированных волн или $t''(x) \geq 0$ для отраженных волн. Кроме этого, неоднородность реальной упругой среды по латерали также приводит к нарушению третьего требования.

Условия $t''(x) \leq 0$ ($t''(x) \geq 0$) и $t''(x) > 0$, которым должны удовлетворять годографы рефрагированных (отраженных) волн, означают, что $t(x)$ – выпуклые вверх или вниз функции и, следовательно, аппроксимирующие функции $T(x)$ должны учитывать характер и степень гладкости $t(x)$ на достаточно большой области определения $t(x)$.

Наиболее подходящими функциями, аппроксимирующими экспериментальный годограф, являются выпуклые кубические сплайны, так как они обладают четко выраженными локальными свойствами – существенное влияние на поведение функции $T(x)$ оказывают лишь те t_i , которые заданы в точках, близких к x_i . Сплайны более низкого порядка не обеспечивают достаточной точности, а сплайны более высокого порядка не обеспечивают выпуклости [Бурмин, 1980].

Наша задача будет решена, если удастся построить такой сплайн, который доставлял бы минимум функционалу

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \left\{ \sum_{j=1}^{N-1} \alpha_{ij} T_j'' - \tilde{t}_i \right\}^2 \quad (5)$$

при условии выпуклости сплайна

$$T_j'' \leq 0 \quad (T_j'' > 0), \quad (6)$$

где α_{ij} – коэффициенты системы линейных алгебраических уравнений, определяющей выпуклый кубический сплайн [Бурмин, 1980].

Примечательно, что обе задачи, рассмотренные выше, редуцируются к задачам квадратичного программирования. Известно, что задача квадратичного программирования всегда имеет единственное решение, так как, например, выпуклый по T функционал S ограничен снизу и непрерывен на выпуклом множестве $T = \{T^2 \mid T^2 \in 0 \text{ (} T^2 \in 0 \text{)}\}$.

Литература

1. Бурмин В. Ю. Аппроксимация сейсмического годографа выпуклыми сплайнами // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1980. №2. С. 90-96.
2. Бурмин В. Ю. Обратные кинематические задачи сейсмологии. Новые подходы и результаты – Saarbrücken, Germany: Palmarium Academic Publishing., 2012. 146 с.
3. Гейко В. С. Теория обращения годографа преломленной волны. 1 // Геофиз. журн. 1982. Т.4. №2. С. 3-17.
4. Гервер М. Л., Маркушевич В. М. Определение по годографу скорости распространения сейсмических волн // Методы и программы для анализа сейсмических наблюдений. М.: Наука, 1967. С. 3-51. (Выч. сейсм. Вып.3).
5. Чибисов С. В. Обработка криволинейного годографа упругих волн при плоскопараллельном распределении их скоростей в упругой среде // Журн. геофизики. 1934. Т.4, вып.2. С. 211-225.

6. Bateman H. The solution of the integral equation which connects the velocity of propagation an earthquake wave in the interior of the Earth with the time which the disturbance takes to travel to different stations on the Earth's surface // *Phil. Mag.* 1910. Vol. 6, N.19. P. 576.

7. Burmin V. Inverse kinematic problems of seismology. New approaches and results – Germany. Lap Lambert Academic Publishing. 2013. 134 p.

8. Slichter L.B. The theory of the interpretation of seismic travel-time curves in horizontal structures // *J. Appl. Physics.* 1932. Vol. 3, N.6. P. 273-295.

9. Herglotz G. Uber das benndorfsche problem der fortpflanzungsgeschwindigkeit der erdbeenstrahlen // *Phys. Zeitschr.* 1907. Vol. 8, N.5. P. 145-147.

10. Wiechert E. Uber erdbebenwellen.1. Theoretisches uber die ausbreitung der erdbebenwellen // *Math. Physik. Kl.* 1907. P. 415-529.

INVERSE KINEMATIC PROBLEM OF SEISMOLOGY. INVERSION OF BURST REFRACTED WAVE HODOGRAPH

© 2013 V.Y. Burmin, Sc. Doctor (Phys.-math.)

Institute of Physics of the Earth. O. Schmidt, RAS, Russia, 123995, Moscow,
e-mail: burmin@ifz.ru.

One of the methods to determine the velocities of seismic waves propagation in the Earth is the inversion of seismic hodographs. This problems breaks down into two others: the first is a derivation of hodographs inversion formulas, second – to smooth the observed seismic hodographs using such functions that could satisfy the condition of solvability. It turns out that such functions are convex cubic splines. Here we solve only one problem – the inversion of burst refracted waves hodograph.

Keywords: seismic waves, hodographs, splines.

УДК 550.34

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ УРОВНЯ СЕЙСМИЧНОСТИ

© 2013 П. В. Воропаев, В. А. Салтыков, к.ф.-м.н., доцент

Камчатский филиал геофизической службы РАН (КФ ГС РАН),
Россия, 683006, Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, 9,
e-mail: salt@emsd.ru.

В Геофизической службе РАН разработана и постепенно внедряется методика статистической оценки уровня сейсмичности СОУС'09, в основе которой лежит функция распределения сейсмической энергии.

Для повышения оперативности получения оценок разработана программа, позволяющая вычислить текущий уровень сейсмичности для заданного сейсмического каталога. Имеется возможность построения номограмм и графиков временного хода уровня сейсмичности. При этом численные значения результатов вычислений сохраняются в файлы, которые могут быть использованы для дальнейшей обработки.

В настоящее время программа используется для предоставления еженедельных сведений о состоянии сейсмичности Камчатки в Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений.

Ключевые слова: сейсмичность, энергия, компьютерная программа, методика, каталог.

В настоящее время широко востребована информация о состоянии сейсмичности различных регионов мира. В этих сведениях могут быть заинтересованы как научные исследователи, так и специалисты различных государственных служб (МЧС, региональная администрация и т.д.). Информация о состоянии сейсмичности должна быть оперативно доступна и иметь наглядное, интуитивно понятное представление. В связи с этим возникает необходимость в создании средств оперативной обработки сейсмологических данных, определяющих текущий уровень сейсмичности.

С целью решения данной задачи была создана система вычисления уровня сейсмичности в виде программы для персонального компьютера, выполняемой в семействе ОС Windows. В основе работы программы лежит методика статистической оценки уровня сейсмичности СОУС'09 [Салтыков и др., 2013; Салтыков, 2011]. Методика СОУС'09 рекомендована Ученым советом Геофизической службы РАН для использования в ее подразделениях, поэтому создание соответствующей программы позволит ускорить ее внедрение.

Описание методики СОУС'09

В основе шкалы методики СОУС'09 (рис. 1) лежит статистическая функция распределения логарифма выделившейся сейсмической энергии в качестве параметра, характеризующего уровень сейсмичности заданного пространственного объекта в определенный временной интервал. Такая шкала позволяет формализовать такие понятия как «сейсмический фон» и «аномалии», определяя их в границах величины базового параметра (квантилей функции распределения) логарифма выделившейся сейсмической энергии $\lg E$ для заданного временного окна ΔT .

Значение функции распределения	Шкала уровня сейсмичности	Относительное время мониторинга
1.0	Экстремально высокий	0.5%
0.995		
0.975	Высокий	2.0%
0.85	Фоновый повышенный	12.5%
0.15	Фоновый средний	70%
0.025	Фоновый пониженный	12.5%
0.005	Низкий	2.0%
0.0	Экстремально низкий	0.5%

Рис. 1. Шкала уровня сейсмичности методики СОУС '09. Исходя из методики, 95% времени сейсмичность пребывает в фоновом уровне. На высокий и низкий уровень сейсмичности приходится по 2% времени. На экстремально высокий и экстремально низкий уровень – 0.5% времени наблюдения.

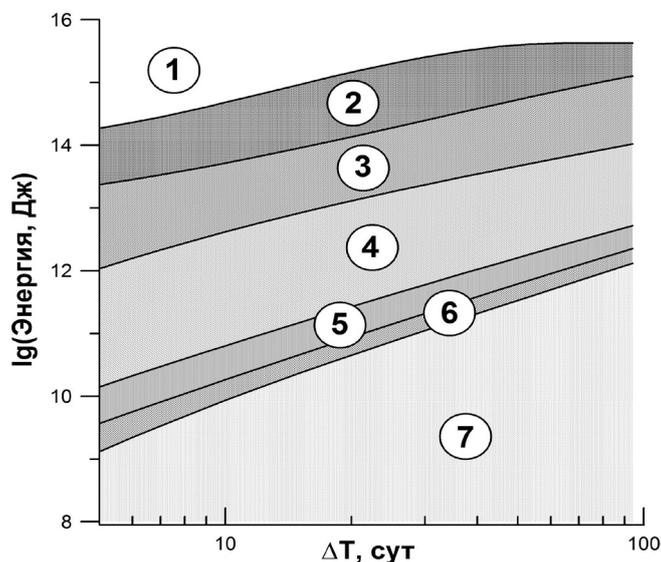
Для определения уровня сейсмичности заданного района необходимо вычислить значения квантилей, соответствующих пороговым значениям функции распределения F для различных временных интервалов. Для этого совершается следующий порядок действий. Из однородного каталога осуществляется выборка событий по определенной пространственной области и интервалу времени.

Для выборки вычисляется набор функций распределения F для различных временных окон ΔT . Из данного набора функций строятся зависимости значений опорных квантилей ($K=0.995, 0.975, 0.85, 0.15, 0.025, 0.005$) шкалы СОУС '09 от величины временного окна ΔT . Полученные значения квантилей аппроксимируются монотонной кривой. Набор аппроксимированных линий образует номограмму (рис. 2), с помощью которой можно дать качественную оценку уровня сейсмичности произвольного интервала времени ΔT на основе вычисления количественного параметра – сейсмической энергии ΔE , выделившейся в заданном временном интервале.

Программная реализация методики

Предложенная методика требует проведения большого количества вычислений, что вызывает необходимость применения ЭВМ. Реализация алгоритма методики была выполнена в виде компьютерной программы, названной «Программа стати-

Рис. 2. Пример номограммы СОУС '09. Цифрами обозначены области с соответствующими уровнями сейсмичности: 1 – экстремально высокий, 2 – высокий, 3 – фоновый повышенный, 4 – фоновый средний, 5 – фоновый пониженный, 6 – низкий, 7 – экстремально низкий.



стической оценки уровня сейсмичности по шкале СОУС'09» (Свидетельство о государственной регистрации программы №2012615123) [Воропаев, 2012]. Данная программа создана для IBM – PC совместимого компьютера, с наличием операционной системы Windows XP / Vista/ 7. При разработке программы учитывались следующие требования: простота использования, оптимизация быстродействия, возможность дальнейшего расширения функциональных возможностей. Программа написана на языке программирования C++, и имеет графический интерфейс пользователя (рис. 3).

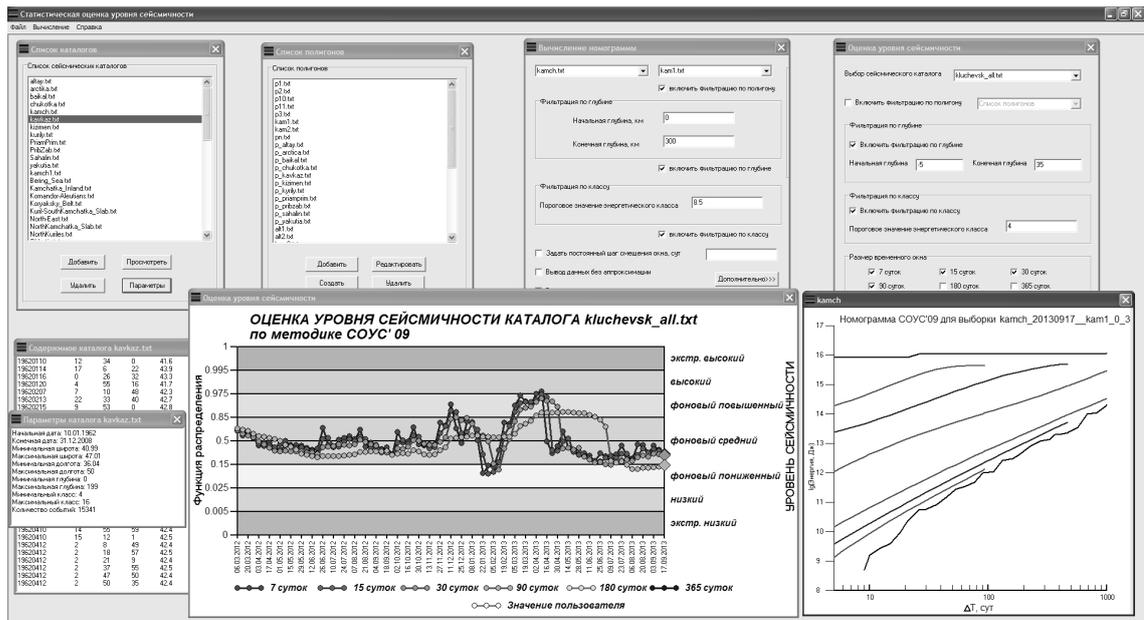


Рис. 3. Многооконный интерфейс пользователя. Главное и дочерние окна.

Основные функциональные возможности программы

В системе предусмотрена возможность хранения файлов сейсмических каталогов. Программа предоставляет возможность пространственной фильтрации записей землетрясений из каталога. Одним из способов является выборка событий, ограниченных заданным многоугольником. Система вычисляет номограмму СОУС'09 для сформированной пользователем выборки, выводит ее на экран, а также сохраняет результаты вычислений в текстовый файл, который может быть использован для обработки в других программах. При вычислении номограммы существует возможность вывода в файлы и на экран результатов промежуточных вычислений, таких как функции распределения выделившейся сейсмической энергии для заданного временного интервала и таблица эмпирических опорных квантилей распределения. Пользователь может построить график временного хода уровня сейсмичности на основании заданной им выборки. При этом может быть использован как набор временных окон по умолчанию, так и произвольное окно, заданное пользователем. В результате вычислений, на экран выводится часть графика временного хода уровня сейсмичности, которая соответствует последним восьмидесяти неделям сейсмического каталога. Полный ряд значений зависимости уровня сейсмичности от даты сохраняется в текстовые файлы.

Алгоритм вычисления номограммы

Процесс вычисления номограммы разбит на несколько этапов. Основываясь на данных сейсмического каталога, координат многоугольника, интервала глубин и порогового значения энергетического класса, производится выборка записей землетрясений из каталога.

Создается набор временных окон ΔT , по которому будет производиться дальнейшее вычисление. Для каждого окна ΔT из данного набора строится эмпирическая функция распределения $F=P(\lg E)$ для выделившейся сейсмической энергии E во временном окне ΔT .

Основываясь на вычисленной функции распределения, определяются значения логарифма энергии, соответствующие опорным значениям квантилей, методики СОУС'09 ($K = 0,005; 0,025; 0,15; 0,85; 0,975; 0,995$), а также минимальное и максимальное значения, которые записываются в соответствующий массив.

Цикл вычисления повторяется для всех значений временных окон ΔT . По окончании цикла получается таблица, содержащая значения номограммы. Столбцы данной таблицы соответствуют значениям опорных квантилей K , строки – величине временного окна ΔT . Значения выводятся на экран в виде соответствующего графика.

Алгоритм построения графика временного хода уровня сейсмичности

Производится выборка записей землетрясений из каталога в соответствии с заданными критериями (географические координаты, глубина, энергетический класс).

Для каждого окна ΔT (возможны варианты в 7, 15, 30, 90, 180, 365 суток) строится эмпирическая функция распределения $F=P(\lg E)$ для выделившейся сейсмической энергии E во временном окне ΔT . Данная функция вычисляется так же, как при построении номограммы.

С конца полученной выборки в цикле производится вычисление логарифма выделившейся сейсмической энергии за период каждого временного окна ΔT . Шаг смещения одинаков для всех окон, и равен 7 суткам. Цикл завершается по достижении окном начала выборки. Определяется величина уровня сейсмичности за период временного окна ΔT , путем сопоставления величины логарифма выделившейся сейсмической энергии в интервале ΔT с аргументом ранее вычисленной функции распределения.

Для каждого временного окна составляется таблица из двух столбцов. В первый вносится значение даты конца временного окна, во второй записывается значение функции распределения. Таблица заполняется в процессе циклического вычисления до момента окончания выборки.

На основании вычисленных данных, строится график уровня сейсмичности (рис. 3). Представление на графике всех уровней сейсмичности производится с помощью неравномерной шкалы ординат, которая позволяет визуализировать каждый уровень сейсмичности в собственном масштабе.

Примеры использования программы

В качестве первого примера для использования программы выбран сейсмический каталог Северного Кавказа с 1962 по 2008 гг. Областью, внутри которой осуществляется выборка событий, является прямоугольник 40-47 гр. с. ш., 36-50 гр. в. д.

Пороговым значением выбран энергетический класс $K=8.0$. Вычисление производилось для временных окон размером 7, 30, 365 суток. В результате программой построен график временного хода уровня сейсмичности (рис. 4).

Примечательной особенностью этого графика является выход сейсмичности на экстремально высокий уровень во временном окне 7 суток в октябре 2008 года, который был вызван землетрясением 11.10.2008, $K=14.5$. Эпицентр данного события находился в Шелковском районе Чеченской республики. Сила толчков в эпицентре достигала 7-8 баллов. Произошли многочисленные разрушения [Маловичко, 2010]. Данному событию предшествовало длительное плавное понижение уровня сейсмичности в годовом временном окне.

Во втором примере приведен график временного хода уровня сейсмичности для территории Камчатского края (рис. 5). Вычисление производилось на основании Камчатского сейсмического каталога, содержащего сведения о землетрясениях с 1962 по 2013 гг. Данное построение осуществляется для прямоугольной области ограниченной координатами: 50.5-56.5 гр. с. ш., 156-167 гр. в. д.

Пороговым значением выбран энергетический класс $K_s=8.5$. Вычисление производилось для временных окон размером 7, 30, 365 суток. Особенностью данного графика является выход уровня сейсмичности в окнах 7 и 30 суток на экстремально высокий уровень в марте 2013 года, вследствие землетрясения 01.03.2013, $K=15.1$. Данное землетрясение произошло в 80 километрах восточной южного побережья полуострова Камчатка. Расстояние от эпицентра до г. Петропавловска-Камчатского составило 270 км. По макросейсмическим наблюдениям сила толчков в г. Петропавловск-Камчатский составила 4-5 баллов.

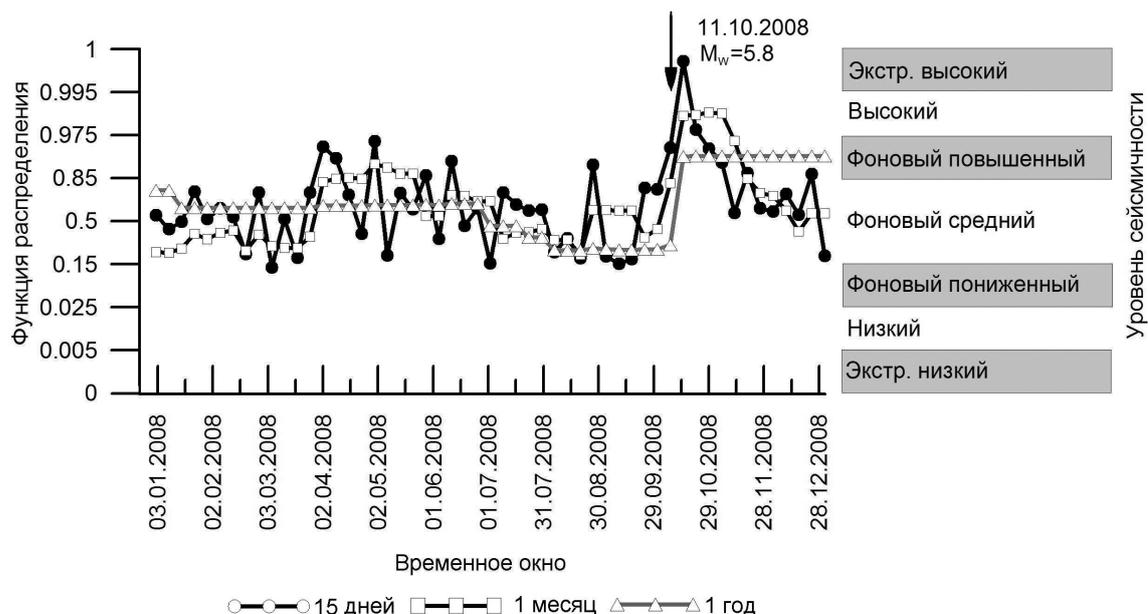


Рис. 4. График временного хода уровня сейсмичности для территории Кавказа, ограниченной прямоугольной областью 40-47 гр. с. ш., 36-50 гр. в. д. Стрелкой обозначено землетрясение 11.10.2008, $K=14.5$, произошедшее в Шелковском районе Чеченской республики.

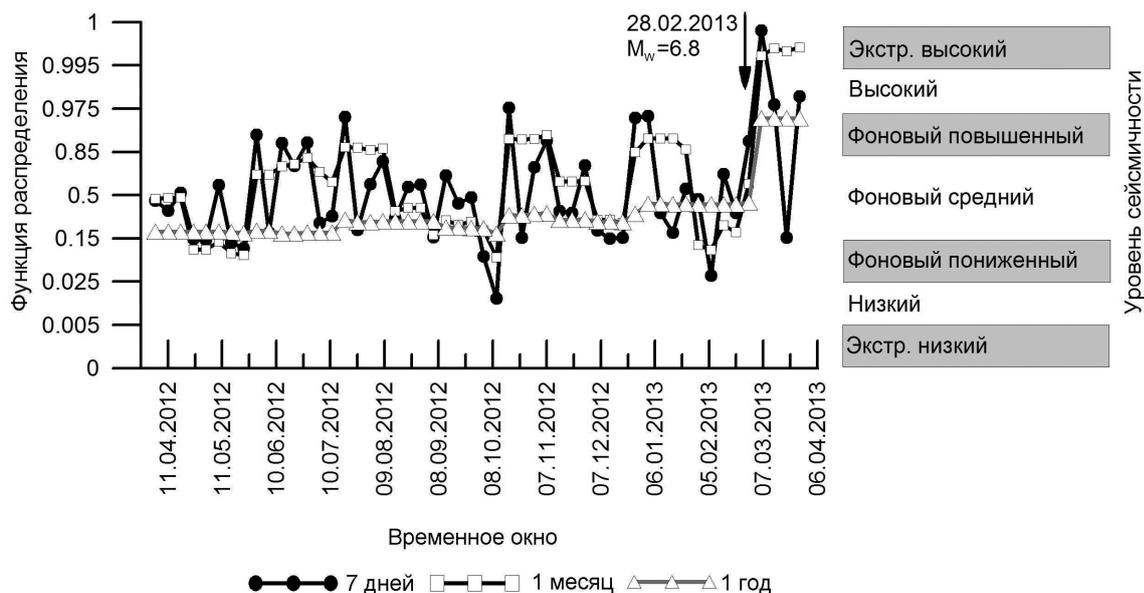


Рис. 5. График временного хода уровня сейсмичности для территории Камчатки, ограниченной прямоугольной областью 50.5-56.5 гр. с. ш., 156-167 гр. в. д. Стрелкой обозначено землетрясение 01.03.2013, $K=15.1$.

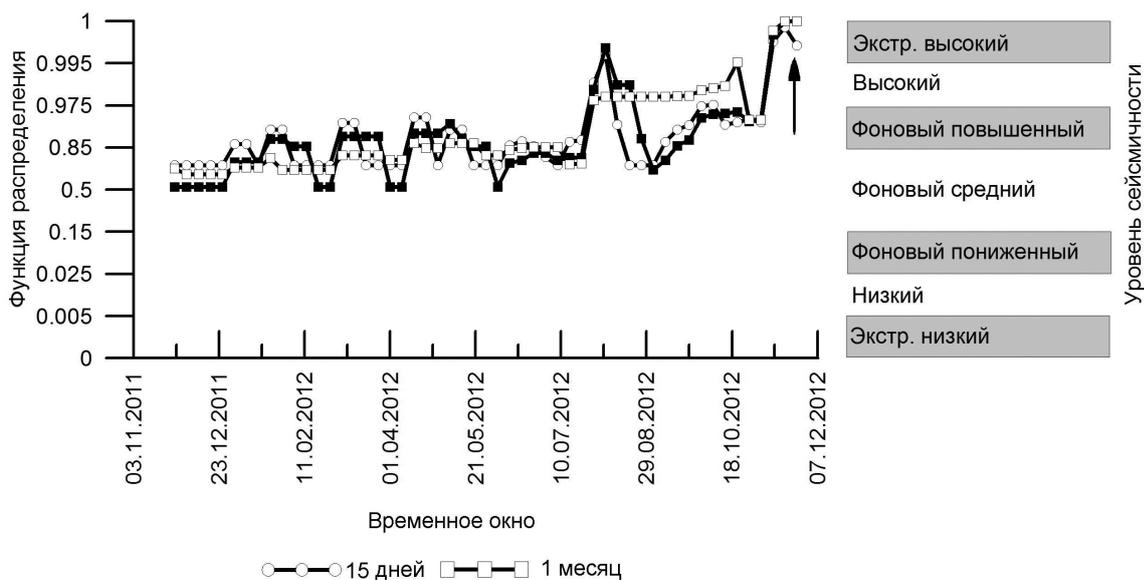


Рис. 6. График временного хода уровня сейсмичности для области радиусом 10 км, от вершины вулкана Плоский Толбачик, глубиной до 30 км. Стрелкой обозначен момент начала Трещинного Толбачинского извержения 27.11.2012.

В третьем примере приведен график временного хода уровня сейсмичности в пределах года, предворяющего Трещинное Толбачинское извержение, начавшееся в ноябре 2012 г. В основу рассматриваемого каталога легли события, произошедшие в 1999-2012 гг. в зоне радиусом 10 км от вершины вулкана Плоский Толбачик в диапазоне глубин до 30 км. Уровень надежной регистрации землетрясений составляет $K_S=4.5$. Подавляющее большинство землетрясений (более 80%) зафиксированы на глубине до 5 км; максимальные энергетические классы $K_S = 7\div 9$ отмечены для сейсмических событий 26-27.11.2012 г., которые произошли в течение последних суток перед извержением и связываются с его начальной фазой.

Выявлен статистически значимый переход уровня сейсмичности с фонового на высокий, а затем на экстремально высокий уровень, что соответствует многократному увеличению числа землетрясений и выделившейся сейсмической энергии в июле-ноябре 2012 г. Уход с фонового уровня отмечается с августа 2012 г. Последние три недели перед трещинным прорывом 2012 г. сейсмичность анализируемого сейсмоактивного объема находилась на экстремально высоком уровне.

Заключение

В Геофизической службе РАН разработана и постепенно внедряется методика статистической оценки уровня сейсмичности СОУС'09 [Воропаев, 2012], в основе которой лежит функция распределения сейсмической энергии. Оценки сейсмичности одного из наиболее сейсмоопасных регионов России – Камчатки – проводятся еженедельно. Для различных региональных зон ответственности Геофизической службы РАН сводки об уровне сейсмической активности составляются ежегодно и с 2009 г. публикуются в научных ежегодниках «Землетрясения России».

Для повышения оперативности получения оценок разработана программа, позволяющая вычислить текущий уровень сейсмичности для заданного сейсмического каталога. Имеется возможность построения номограмм и графиков временного хода уровня сейсмичности. При этом численные значения результатов вычислений сохраняются в файлы, которые могут быть использованы для дальнейшей обработки.

В настоящее время программа используется для предоставления еженедельных сведений о состоянии сейсмичности Камчатки в Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений.

Ведется работа по расширению возможностей системы. В новую версию программы, которая находится на стадии тестирования, включен модуль графического отображения сейсмических каталогов и выборки из них, а также добавлена возможность делать выборки в виде эллиптических пространственных областей.

Литература

1. Воропаев П. В. Программная реализация оценки уровня сейсмичности по методике СОУС'09 // Материалы X региональной молодежной научной конференции 28-29 ноября 2012 г., – Петропавловск-Камчатский, – ИВиС ДВО РАН. – 2012. С. 101-113.
2. Землетрясения России в 2008 году. // Под ред. Маловичко А. А. / Обнинск: ГС РАН, 2010. – 224 с.
3. Салтыков В. А., Кугаенко Ю. А., Кравченко Н. М., Коновалова А. А. «Параметрическое представление динамики сейсмичности Камчатки» // Вулканология и сейсмология. – 2013. № 1. С. 65-84.
4. Салтыков В. А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. № 2. С. 53-59.

THE LEVEL OF SEISMICITY ASSESSMENT COMPUTER SYSTEM

© 2013 P. V. Voropaev, V. A. Saltykov, SC. Candidate (Phys.-math.),
Associate Professor

Kamchatka branch of geophysical survey of RAS,
Russia, 683006, Petropavlovsk-Kamchatskiy, 9 Pijpa Boulevard,
e-mail: salt@emsd.ru.

In the geophysical survey of RAS the method of statistical estimation of the level of seismicity SOUS'09 based on the distribution function of seismic energy is developed and gradually implemented.

For expediting estimates a program that allows you to calculate the current level of seismicity for specified seismic catalog is developed. It is possible to build graphs nomogramms and temporal level of seismicity. The numeric values of the calculated results are stored in files which can be used for further processing.

Currently, the program is used to provide status information about the weekly seismicity of Kamchatka in the Kamchatka branch of the Russian Expert Council on earthquake prediction, and to create the online processing of seismological data, determining the current level of seismicity.

Keywords: seismicity, energy, software, methodology, catalog.

УДК 550.34

УЧЕТ РЕЗУЛЬТАТОВ ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ РАЗРУШИТЕЛЬНЫХ И ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 11.03.2011 г. ПРИ ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

© 2013 Дж. К. Карапетян, к.г.-м.н.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА,
Республика Армения, 3115 г. Гюмри, ул. В. Саргсяна, 5,
e-mail: iges@mail.ru.

В настоящей работе проведен сейсмостатистический анализ фактических инструментальных данных основного толчка Великого Японского землетрясения 11.03.2011 г., для выявления взаимосвязи максимальных значений ускорений колебаний грунта (PGA) от эпицентральных расстояний. Выявлены особенности проявления максимальных значений ускорений в интервале больших эпицентральных расстояний, не согласующиеся с ныне действующими шкалами сейсмической интенсивности.

Ключевые слова: сейсмическая опасность, землетрясения, инструментальные записи.

При усовершенствовании методов оценки сейсмической опасности и теории сейсмостойкости, необходимо в первую очередь изучать закономерности движения грунта, колебаний зданий и сооружений во время сильных и разрушительных землетрясений.

Для получения информации о движении грунта при сильных землетрясениях, необходимы специальные службы регистрации. В последнее десятилетие такие службы интенсивно развиваются в США, Японии, Турции, Иране и ряде других стран. Например, в Японии после землетрясения Кобе (Hyogon-Nanbu) в 1995 г. всего за один год, национальным исследовательским институтом NIED (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention) были разработаны системы K-NET [Kinoshita, 1998] and KiK-net [Aoi et al., 2000], включающая соответственно 1030 (акселерометры типа K-NET95 (588) и K-NET02 (443)) и 669 (акселерометр типа SMAC-MDK) равномерно расположенных по всей стране цифровых станций, напрямую связанных с интернетом. Все данные (информация о движении грунта, расположение сейсмических станций, грунтовые условия, и др.) сохраняются в доступной базе данных (<http://www.k-net.bosai.go.jp> for K-NET and <http://www.kik.bosai.go.jp> for KiK-net).

Накопленные в этой базе современные цифровые инструментальные сейсмологические данные уникальны тем, что позволяют решить следующие актуальные проблемы инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства. Перечислим некоторые из них:

1. Усовершенствование инструментальной шкалы сейсмической интенсивности, учитывающее реально существующие огромные величины сейсмических ускорений, зафиксированных при сильных землетрясениях, возникших в последние годы.
2. Разработка новых подходов в теории сейсмостойкости, дающих возможность при расчетах зданий и сооружений на сейсмостойкость использовать реальные величины этих ускорений.

3. Целесообразность использования сейсмических ускорений для адекватной оценки сейсмической опасности. Как уже известно, в ряде развитых стран в Европе и Китае картируется максимальное пиковое ускорение [Гусев, 2002, G. Solomos, et al., 2008], США в 1990 г. отказались от карты максимальных ускорений, и перешли к уровням спектра реакции, Россия сохраняет свой традиционный подход и картирует «балльность», а маленькая Армения среди больших стран, не явным образом картирует максимальное ускорение.

В настоящей работе на основе фактических данных K-NET рассматриваются закономерности движения грунта при Великом Японском землетрясении 11 марта 2011 г., которое непосредственно связано с решениями первой проблемы.

Исходные данные и методы исследований

Во время основного толчка Великого Японского землетрясения 11 марта 2011 г. в диапазоне эпицентральных расстояний $\Delta=123,0\div 986,0$ зарегистрированы 693 инструментальные записи, в частности акселерограммы K-NET. Эти данные позволяют решить как теоретические, так и практические задачи инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства. В частности используя эти уникальные фактические данные, проведен статистический анализ закономерностей между максимальным ускорением колебаний грунта (peak ground acceleration-PGA) и эпицентральной дистанцией (Δ).

Предварительный анализ инструментальных данных землетрясения, показал, что в верхней инженерно-геологической толще земной поверхности зарегистрированы свыше 2,0 g горизонтальных и 1,0 g вертикальных максимальных ускорений колебания грунта, характер проявления которых трудно объяснить.

Возникает вопрос, каким образом могут проявляться такие огромные величины сейсмических ускорений, приведенные в таблице 1.

Таблица 1

Инструментальные данные величин PGA

Код станции	Название станции	Префектура	Пиковое горизонтальное ускорение (гал)	Δ , km	Период грунта (с)	Тип грунта	Максимальное ускорение SA, м/с ² (Период, с)	Интенсивность по шкале JMA
MYG004	TSUKIDATE	MIYAGIKEN	2700	183	0,13	I	129,5 (0,24) – NS	6,6
MYG012	SHIOGAMA	MIYAGIKEN	1969	169	0,17	I	31,65 (0,37) – EW	6,0
MYG013	SENDAI	MIYAGIKEN	1517	175	0,26	II	26,84 (0,61) – NS	6,3
IBR003	HITACHI	IBARAKIKEN	1598	254	0,33	II	75,09 (0,32) – NS	6,4
IBR004	OHMIYA	IBARAKIKEN	1283	273	-	-	-	6,0
IBR013	HOKOTA	IBARAKIKEN	1355	296	-	-	-	6,4
TCG009	IMAICHI	TOCHIGIKEN	1186	315	-	-	-	6,2
TCG014	MOTEGI	TOCHIGIKEN	1205	291	0,17	I	51,37 (0,4) – EW	6,3
FKS008	FUNEHKI	FUKUSHIMAKEN	1012	215	-	-	-	5,7

FKS016	SHIRAKA-WA	FUKUSHIMAKEN	1295	258	-	-	-	6,1
FKS018	KOHRILYAMA	FUKUSHIMAKEN	1069	234	-	-	-	5,9
CHB007	SAKURA	CHIBAKEN	1036	347	-	-	-	5,5
FKSH10	NISHIGOU	FUKUSHIMA	1062	266	-	-	-	6,0
IBRH11	IWASE	IBARAKI	1224	309	-	-	-	6,2
MYGH10	YAMAMOTO	-	1137	174	-	-	-	6,0
IBR013	HOKOTA		1355	301				6,4
TCGH16	HAGA		1197	301				6,5
FKS010	HIRONO		1116	190				5,9

Как видно из таблицы 1 на эпицентральной расстоянии 183,0 км, на станции MYG004, была зарегистрирована акселерограмма превышающая максимальное ускорение 2,0 g (см. рис. 1).

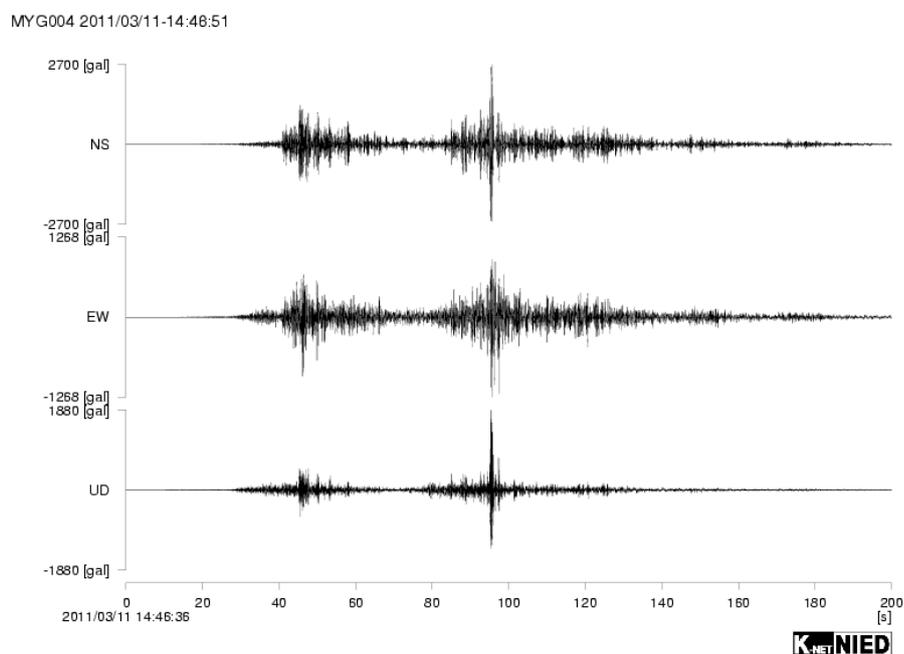


Рис.1 Акселерограмма Японского землетрясения 11.03.2011 г. на эпицентральной расстоянии 183,0 км, на станции MYG004.

Приведенные в таблице 1 данные anomalно больших ускорений соответствуют эпицентральному расстояниям $\Delta \geq 150$ км. Какие ускорения грунта были в действительности, в зоне $\Delta < 150$ км, неизвестны, так как в наблюдательной сети акселерометры отсутствуют. Для более близких эпицентральных расстояний, если попробовать решить обратную задачу, используя существующие разнovidные эмпирические модели типа $PGA = f(M, R)$ то [Хачиян, 2008, Штейнберг и др., 1993, Douglas, 2001, Fukushima et al., 2003, Youngs et al., 1997], получим невероятно «аномально» большие значения ускорений.

Зависимость ускорений от эпицентральных расстояний и изосейсты PGA представлены на рис. 2 и 3.

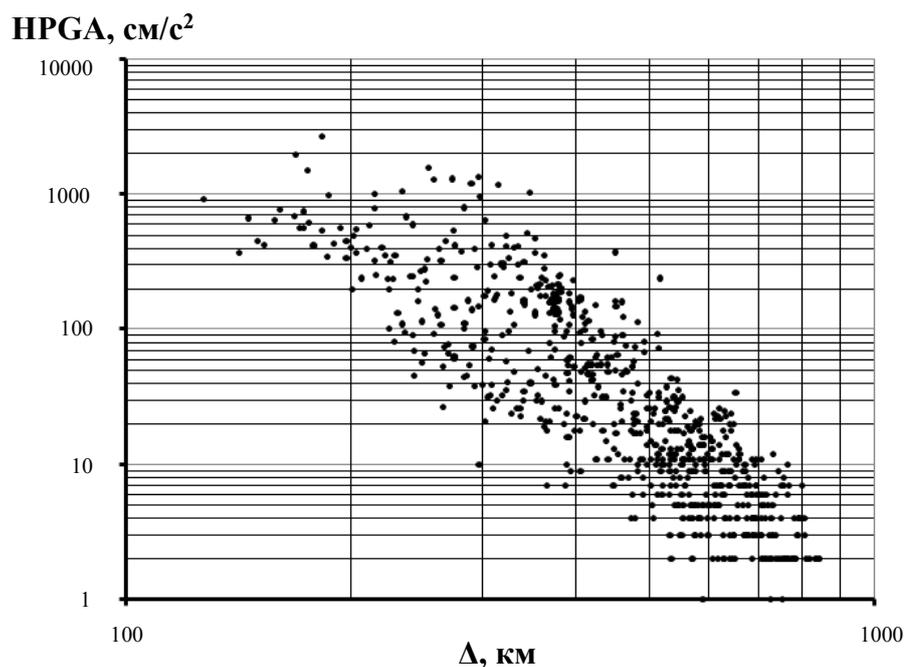


Рис.2 Распределения ускорения от эпицентральных расстояний.

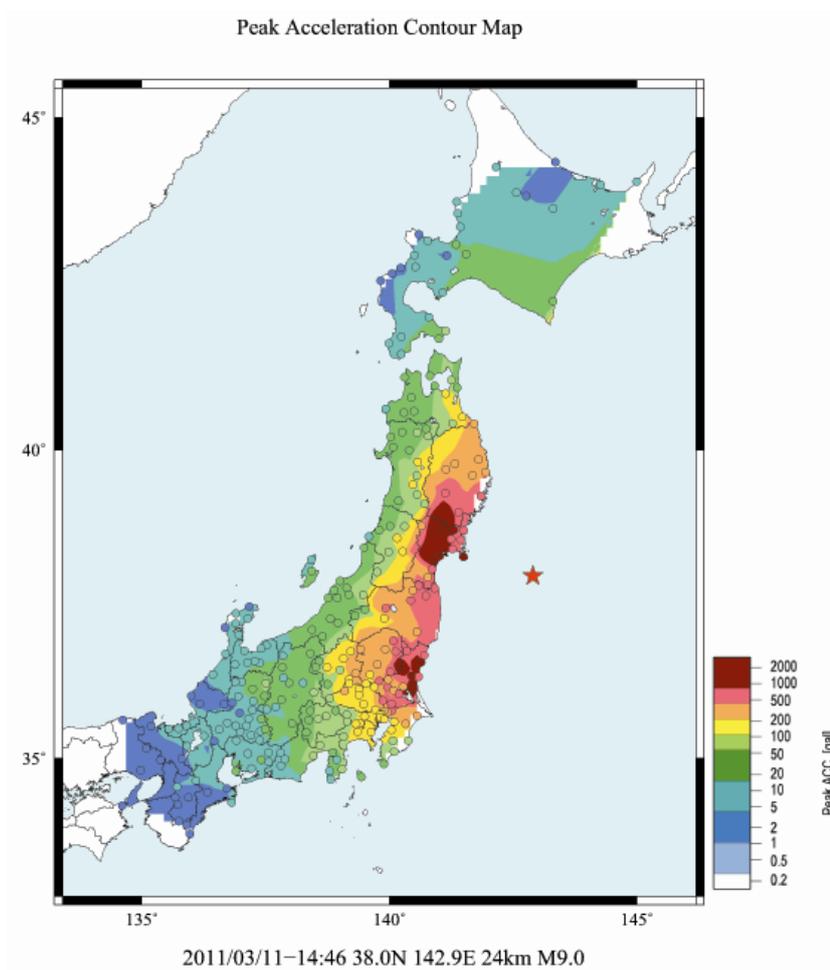


Рис.3 Изосейсты PGA [Kalkan Erol,2011, Woody Epstein, 2011].

Как видно из рисунка 2 затухание (изменение) ускорений от Δ описывается в виде степенной функции.

Как видно из рис. 2 в распределении ускорения имеются со статистической точки зрения «плохие» значения наблюдаемых данных, которые могут повлиять на результаты статистического исследования, когда для больших интервалов эпицентральных расстояний используются классические методы статистического анализа. Однако, эти «плохие» значения в наших задачах имеют существенную значимость и их необходимо учитывать. Для этого применены робастные методы в статистике, которые дают подходы, направленные на снижение влияния выбросов и других отклонений в исследуемой величине. Для того чтобы ограничить влияние неоднородностей, либо вовсе его исключить, существует множество различных подходов. Применен наиболее простой и распространенный подход группирования – разбиение на интервалы равной длины [Хьюбер, 1989].

Весь исследуемый интервал эпицентральных расстояний разделен на равные по длине интервалы. В данном случае, исходя из плотности данных и общей закономерности, длина исследуемого интервала выбрана 150 км. Далее, применяя метод наименьших квадратов, для отдельных интервалов расстояний проведен статистический анализ [Девис, 1990].

Функция распределения $PGA=f(\Delta)$ представлена в виде гиперболической функции

$$Y = A + \frac{B}{X} \pm \sigma, \quad (1)$$

где Y – значение оцениваемого параметра в данном случае значение НРГА (horizontal peak ground acceleration) – пиковых горизонтальных ускорений, зарегистрированных на разных сейсмических станциях, X значение эпицентральных расстояний, σ – среднеквадратичное отклонение исследуемых значений PGA, A и B коэффициенты, которые определяются методом наименьших квадратов [Девис, 1990].

Логарифмические среднеквадратичные значения НРГА рассчитаны по следующей формуле:

$$\sigma [\lg Y] = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\lg \bar{Y} - \lg Y_i]^2}{n-1}}, \quad (2)$$

где \bar{Y} , $\sigma [\lg Y]$ – соответственно среднее и среднеквадратичное значение.

Коэффициенты A , B и σ среднеквадратичное отклонение исследуемых значений НРГА зависимости $HPGA=f(\Delta)$ приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Коэффициенты A , B и среднеквадратичное отклонение σ исследуемой функции распределения $HPGA=f(\Delta)$ для различных интервалов эпицентральных расстояний

№	Исследуемый диапазон эпицентральных расстояний	A	B	$\sigma \lg (HPGA)$
1	127÷250	-4,305	15,8	0,3009
2	251÷400	-3,361	13,6	0,4670
3	402÷550	-13,027	38,6	0,3765
4	551÷700	-5,775	18,5	0,3003
5	701÷850	-7,312	22,5	0,2414

Применяя робастный подход для общего диапазона эпицентральных расстояний, получается ниже приведенная картина.

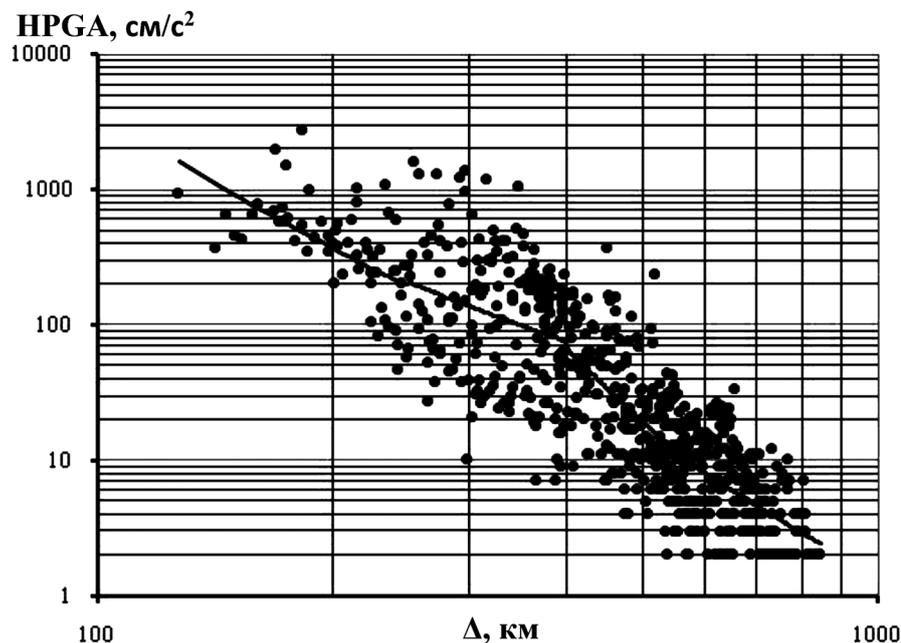


Рис.4 Эмпирическая кривая затухания ускорений.

Сейсмостатистический анализ фактических данных

Из графиков, приведенных на рис. 2 видно, что разброс значений максимальных ускорений грунта велик. Среднеквадратичное отклонение $\sigma_{\lg}(\text{HPGA})$ варьируется в интервале $0,2 \div 0,5$ (см. табл. 2).

Затухание ускорений от значений эпицентральных расстояний – Δ неоднозначно: если при значении $\Delta < 400$ км происходит более медленный спад (затухание) значений ускорений, то в интервале $\Delta > 400$ км спад значений ускорений сравнительно выше. Более того, начиная с значений расстояний 400 км общий характер кривых типа $\text{HPGA} = f(\Delta)$ изменяется, в частности, начиная с значений 400 км кривая $\text{HPGA} = f(\Delta)$ ломается (см. рис.4). Важно отметить, что данный результат хорошо согласуется с эмпирическими кривыми затухания при магнитуде $M = 5,0$ и $M = 7,0$, приведенные в работе Аптикаева (см. рис.5) [Аптикаев, 2001, 2005]. Выбор модели Аптикаева для сопоставления с наблюдаемыми нами распределениями $\text{HPGA} = f(\Delta)$ обосновывается тем, что в этой модели в отличие от других моделей эпицентральное расстояние подразделяется на три основные зоны, имеющие различный характер затуханий: очаговая, ближняя и дальняя.

По Аптикаеву в пределах очаговой зоны $\text{PGA} = \text{PGA}_0 = \text{const}$. Эта зона распространяется от поверхности разрыва до расстояния R_0 (км), которое определяется следующим образом:

$$\lg R_0 = 0,33 \cdot M_s - 1,51, \quad (3)$$

где M_s – магнитуда определенная по поверхностным волнам. При магнитудах $M_s = 5,0$ и $M_s = 7,0$ значения R_0 получается соответственно 1,4 км и 6,3 км. Как уже отмечали, во время основного толчка Японского землетрясения не были зарегистрированы

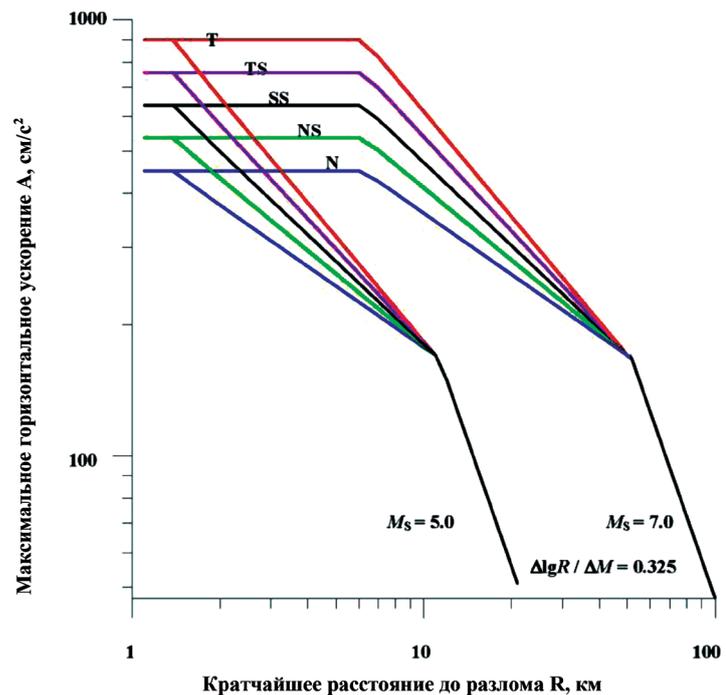


Рис.5. Эмпирическая кривая затухания.

записи сейсмических колебаний до 120,0 км. Если принять (полагать), что при эмпирической кривой затухания см. рис. 3 (построения на основе данных основного толчка Японского землетрясения) начальная граница «ближних» зон начинается с 120 км, то длина «очаговой» зоны получается примерно 120 км, примерно в 19 раз больше R_0 полученной при магнитуде $M_s = 7,0$. По эмпирической формуле (3) при магнитуде 8,8 (отмеченная магнитуда во время Японского землетрясения была оценена EMSC агенством).

По Аптикаеву вторая (ближняя) зона протягивается от R_0 до R_1

$$\lg R_1 = 0,33 \cdot M_s - 0,61, \quad (4)$$

где R_1 – граница между ближней и дальней зонами.

При магнитудах $M_s = 5,0$ и $M_s = 7,0$ R_1 получатся соответственно 11 км и 50 км. Как видно из рис.3 «ближняя» зона протягивается от 127 км до 400 км, т. е. R_1 получается $\approx 270,0$ км. По формуле (4) при $M_s = 8,8$ R_1 получается 197 км, которая примерно в 4 раза больше R_1 полученной при магнитуде $M_s = 7,0$.

В третьей (дальной) зоне, как правило, $\lg R$ больше, чем $\lg R_1$, т. е. $\lg R > \lg R_1$. При Японском землетрясении дальняя зона получается примерно 400 км, которое тоже больше получается от длины дальней зоны представленный на рис. 5, однако оно удовлетворяет выше отмеченному условию: $\lg R > \lg R_1$.

Согласно модели Аптикаева типа $HPGA=f(\Delta)$, в очаговой зоне для магнитуд $M_s=5,0$ и $M_s=7,0$, не только не меняется уровень $HPGA$, но и оно не превышает значения $1g$. Статистический анализ инструментальных данных Великого Японского землетрясения показывает, что при магнитуде $M_{JMA}=9,0$ меняется не только уровень оцениваемых значений $HPGA$, но и величина эпицентральных расстояний, отделяющих основные зоны: ближнюю, очаговую и дальнюю. По всей вероятности существенное изменение положения границ зон, обусловлено в основном слишком большими размерами очага Японского землетрясения 510×210 км и сейсмическим

моментом – $3,28 \cdot 10^{23}$ Нм ($M_w=8,9$), а изменение уровня НРГА обусловлено сложными процессами разрывообразования.

Важно отметить еще одну особенность, которая проявилась при Великом Японском землетрясении. При возрастании значений Δ среднее квадратичное значение $-\sigma_{lg}$ (НРГА) уменьшается. Наименьшее значение получается в «дальней» зоне. Например, если в интервале расстояний $\Delta=251,0 \div 400,0$ значений σ_{lg} (НРГА) получается 0,467, то для $\Delta=701,0 \div 805,0$ значение σ_{lg} (НРГА) примерно два раза меньше (см. табл. 2).

В таблице 1 приведены величины интенсивности выраженные в баллах по шкале JMA (Japanese Meteorological Agency), полученные в результате макросейсмического обследования, которые были оценены сразу после Японского землетрясения.

В таблице 3 приведено сопоставление наиболее распространенных в мировой практике шкал сейсмических интенсивностей MM (Modified Mercalli), RF (Rossi-Forel), JMA (Japanese Meteorological Agency), MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik) и соответствующие им вероятностные значения ускорений [Аптикаев, 1999, 2005, Медведев, 1962, Назаров, Дарбинян, 1974, Дарбинян, 2003, Заалишвили, 2000, Уломов, 2012, Zaalishvili, 2012, Panza et al., 1997, Panza et al., 2001, Wald et al., 1999, Карапетян, Карапетян, 1978, Григорян, Карапетян, 2008].

Таблица 3

Сопоставление наиболее приемлемые в мировой практике шкал сейсмических интенсивностей

MM	RF	JMA	MSK	PGA(g)
I	I	0	I	
II	II	1	II	
III	III	2	III	
IV	IV	2,3	IV	
V	V-VI	3	V	0,01-0,025
VI	VII	4	VI	0,025-0,05
VII	VIII	4,5	VII	0,05-0,1
VIII	IX	5	VIII	0,1-0,2
IX	X	6	IX	0,2-0,4
X			X	0,4-0,8
XI		7	XI	0,8-1,6
XII			XII	>1,6

Если руководствоваться данными PGA приведенными в таблице 3, то при Японском землетрясении величины ускорений не должны превышать значения 0,4 g, однако как видим, данные НРГА приведенные в табл.1 говорят о том, что реальные величины ускорений примерно в 5 раз превосходят величину ускорения, соответствующего интенсивности 6÷7. Парадоксально, но факт, что при таких условиях проявления огромных ускорений грунта здания и сооружения оценивались по JMA шкале в 6÷7 баллов (см. табл.1), т.е. здания и сооружения противостояли таким огромным величинам ускорений (сил).

Особо отметим, что макросейсмические обследования и теоретические расчеты также показали, что во время Спитакского землетрясения 07.12.1988 г. в районе города Ленинакан (Гюмри) должны были наблюдаться ускорения колебания грунта $0,6 \div 0,8$ g. Поэтому в планах научных исследований 1996 и 1999 года (письмо ИГИС НАН РА о перспективных работах на имя академика секретаря отделения Ю. Г. Шукуряна) по оценке сейсмической опасности была поставлена задача о выделении на картах ОСР участков с ускорением грунта $0,6 \div 0,8$ g.

Для приведенных в таблице 2 коэффициентов было рассчитано среднее статистическое значение $HPGA$ для $\Delta = 130$ км, которое составляет примерно 1,5 g. Они превышают не только все величины PGA приведенные во всех ныне действующих шкалах, но и ожидаемое среднее геометрическое значение PGA , полученное в 1999 г. специалистом Вальдом [Wald et al. 1999] по данным США, а также данные приведенные в проекте ШИЗ (шкала интенсивности землетрясении 2010), предложенные совсем недавно [Аптикаев, 2005, Уломов, 2012]. Отсюда можно заключить, что все существующие разновидности сейсмических шкал подлежат уточнению и корректировке.

Особо отметим, что в префектуре Фукусима, где действует АЭС Фукусима, расположены 33 сейсмические станции, регистрирующие сильные движения, из которых на трех станциях (FKS008, FKS016, FKS018), как видно из таблицы 1, зарегистрированы ускорения, превышающие 1,0 g. По данным NIED АЭС Фукусима во время Японского землетрясения находилась в зоне $0,5 \div 1,0$ g картирующих значений ускорений и сооружения АЭС противостояли выше отмеченным огромным величинам ускорений.

Важно отметить, что на спектрах ускорений $SA(T)$ максимальное значение ускорений получается при периоде $T=0,24$ сек (5% декремент затухания), равное примерно 12,9 g, которое превышает нормативное значение примерно в 5 раз, (спектр реакции рассчитан с использованием записи, зарегистрированной на станции MYG 004), преобладающий период грунта получается $T=0,13$ сек, а максимальное значение коэффициента динамичности получается 5,3 (см. рис. 6.).

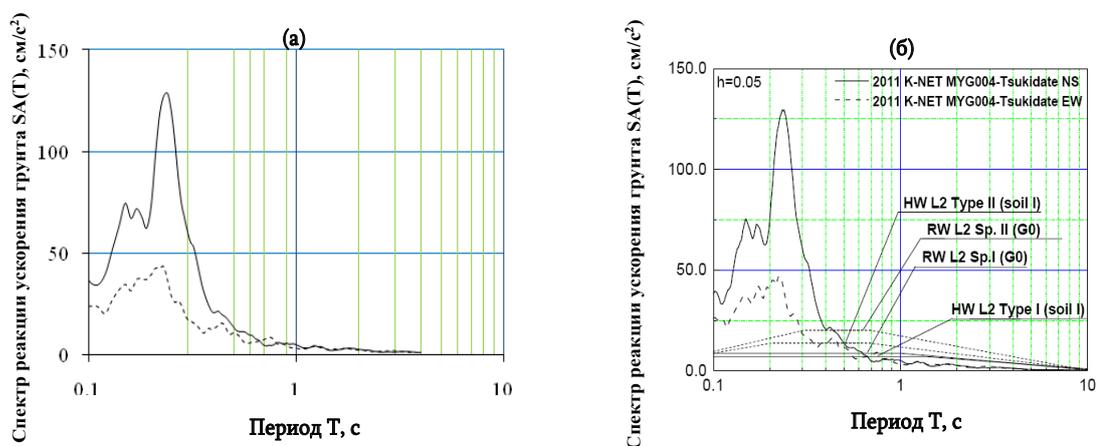


Рис.6 Сопоставление кривых спектра реакции $SA(T)$ (а) (спектр реакции рассчитан с использованием записи зарегистрированной на станции MYG004) с подобными нормативными кривыми (б) (Seismic Design) 1999 (L2 Spectrum I and II for soil types (G0)).

Для записи, зарегистрированной на станции MYG012, при построении SA (T) параметры $SA_{\max}(T)$, T, T_{Π} и $\beta_{\max}(T)$ получаются соответственно: $SA_{\max}(T) = 3,18g$, $T = 0,36$, $T_{\Pi} = 0,17$ с и $\beta_{\max}(T) = 2,0$; IBR003- $SA_{\max}(T) = 7,5g$, $T = 0,32$, $T_{\Pi} = 0,33$ с и $\beta_{\max}(T) = 4,7$; MYG013- $SA_{\max}(T) = 2,7g$, $T = 0,61$, $T_{\Pi} = 0,26$ с и $\beta_{\max}(T) = 2,0$; TCG014 – $SA_{\max}(T) = 5,2g$, $T = 0,4$, $T_q = 0,17$ с. и $\beta_{\max}(T) = 4,3$; MYG013- $SA_{\max}(T) = 2,7g$, $T = 0,61$, $T_{\Pi} = 0,26$ с и $\beta_{\max}(T) = 2,0$; IBR013- $SA_{\max}(T) = 1,5g$, $T = 0,2$, $\omega_{\Pi} = 3,7$ герц и $\beta_{\max}(T) = 1,5$:

Важно отметить, что анализ фактических данных подтверждает мысль академика А. Назарова [Назаров, 1983], что сооружения, рассчитанные как упругие системы с учетом затухания, в предположении мгновенного распространения сейсмических возмущений, при периоде свободных колебаний T порядка $0,4 \div 0,5$ с, противостоят сейсмическим нагрузкам, превышающим расчетные в 4 и более раза. На спектрах реакции Великого Японского землетрясения T охватывает более широкий диапазон периодов свободных колебаний порядка $0,24 \div 0,61$ с. Необходимо особо отметить, что исследования, направленные на подбор теории сейсмостойкости, или разработке новой теории, осуществляются в институте геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова с 1991 г. под руководством член-корр. РАН РА С. М. Оганесян [Оганесян 2002, 2004, 2008].

Выводы

1. Используя фактические инструментальные данные Великого Японского землетрясения 11 марта 2011 г. для магнитуд $M_{\text{JMA}} = 9,0$ построена эмпирическая кривая затухания ускорения (ЭКЗУ). При построении подобных эмпирических кривых целесообразно использовать робастные методы для избежания систематических ошибок. ЭКЗУ были сравнены с подобными эмпирическими кривыми, предложенными Аптикаевым. Сравнительная оценка этих кривых показала, что в $HPGA = f(\Delta)$ подобных эмпирических кривых выделяются некоторые, ранее неизвестные, особенности.

2. В общем случае зависимости типа $HPGA = f(\Delta)$ характеризуются большим разбросом оцениваемых величин. Среднеквадратичное отклонение $\sigma_{lg}(HPGA)$ варьирует в пределах $0,2 \div 0,5$. Причем среднеквадратичное отклонение $\sigma_{lg}(HPGA)$ (оцененное для разных интервалов расстояний) уменьшается с увеличением значений эпицентральных расстояний.

3. В интервале эпицентральных расстояний $123 \div 986$ км зарегистрированы примерно 20 фактических данных $HPGA$, значение которых колеблется (изменяется) от $1,0g$ до $2,7g$. Вопрос о том, какие значения ускорений имели место в интервале расстояний < 123 остается открытым. Неизвестно, следствием чего явилось проявление подобных аномально больших ускорений: локального эффекта (сейсмического эффекта) данной территории и/ или процесса движения литосферных плит.

4. Проявление огромных реальных ускорений грунта указывает, что действующие карты сейсмической опасности, в том числе The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP) [Global Seismic Hazard Assessment Program..., 1999], разнovidные эмпирические модели типа $HPGA = f(M, R)$, сейсмические шкалы далеки от адекватности и нуждаются в пересмотре и существенной корректировке.

Имея в виду важность затрагиваемых в статье вопросов для территории Армении предлагается аналогичная задача, поставленная Минрегионом России, о создании в стране единой и постоянно функционирующей информационной системы

(ЕИС) «Сейсмобезопасность Армении», обеспечение государственных органов, заинтересованных организаций и лиц наиболее полной, актуальной и достоверной информацией по вопросам обеспечения сейсмической безопасности жизнедеятельности на территории Армении.

Литература

1. Аптикаев Ф.Ф. Проблемы создания шкалы сейсмической интенсивности нового поколения. // Вулканология и сейсмология, 1999, № 4-5, с. 23-28.
2. Аптикаев Ф.Ф. "Сильные движения грунта при землетрясениях" Автореферат диссерт. на соиск. ученой степени доктора ф.-м. н. ОИФЗ РАН, М., 2001, с. 47.
3. Аптикаев Ф.Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. – М.: Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений, № 5, 2005, с. 33-37.
4. Григорян В.Г., Карапетян Дж. К. Комплексный анализ количественных параметров колебаний грунтов и оценка их зависимостей от магнитуд землетрясений // Строительная механика и расчет сооружений. М.: 2008, № 3. С.59-63.
5. Гусев А. А. О сейсмологической основе норм сейсмостойкого строительства в России. Изд. Физика Земли, М. 2002, № 12, с.56-70.
6. Дарбинян С. С. Методы определения интенсивности землетрясений. Изд.-во «Асогик», Ер., 2003, 115 с.
7. Девис Дж. С. Статистический анализ данных в геологии: Пер. с англ. В кн.2. / Пер. В. А. Голубевой; Под ред. Д. А. Родионова. Кн. 1. -М.: Изд. Недра, 1990. 319 с.
8. Заалишвили В.Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования. М.: ОИФЗ РАН, 2000. 367 с.
9. Карапетян Б.К., Карапетян Н.К. Сейсмические воздействия на здания и сооружения. Изд. «Наука» Москва-1978, стр.159.
10. Медведев С.В. Инженерная сейсмология. Изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам. М.: 1962, с. 283.
11. Назаров А.Г. Некоторые вопросы количественной оценки сейсмических воздействий. Материалы IV-й школы-семинара в г. Сигнахи 20-25 октября 1980 г.: "Методы количественной оценки сейсмических воздействий" Изд. «МЕЦНИЕРЕ-БА», Тбилиси-1983. С.5-16.
12. Назаров А.Г., Дарбинян С.С. Основы количественного определения интенсивности сильных землетрясений. Изд. АН Арм. ССР, Ереван –1974. 165 с.
13. Оганесян С.М., Аветисян А.М., Геодакян Э.Г., Григорян В.Г., Варданян К.С., Карапетян С.С., Минасян Дж.О., Оганесян А.О., Симонян А.О., Тамразян А.А., Чилингарян А.З., Фиданян Проблемы геофизики и инженерной сейсмологии // Известия НАН РА, Науки о Земле, 2004, LVII, N1, 41-48.
14. Оганесян С.М. Идеиные основы новой теории сейсмостойкости // В кн.: Сб. научных трудов конференции, посвященной 100-летию со дня рождения основателя ИГИС НАН РА, акад. А.Г. Назарова. – Гюмри, Изд. "Гитутюн", НАН РА, 2008, с. 211-216.
15. Оганесян С.М. О необходимости изменения расчетной схемы колебания линейного осциллятора при кинематическом возбуждении // В кн.: Сб. научных трудов конференции, посвященной 40-летию основания ИГИС НАН РА – Гюмри, Изд. "Гитутюн", НАН РА, 2002, с.368-380.

16. Уломов В. И. Актуализация нормативного сейсмического районирования в составе единой информационной системы «сейсмобезопасность России» // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2012. – № 1. – Т.39. – С.5-38.
17. Хачиян Э. Е. Прикладная сейсмология // Гитутюн НАН РА, 2008. 491 с.
18. Хьюбер П. Робастность в статистике. – М.: Мир, 1989.
19. Штейнберг В. В., Сакс М. В., Аптикаев Ф. Ф., Алказ В. Г., Гусев А. А., Ерохин Л. Ю., Заградник И., Кендзера А. В., Коган Л. А., Лутиков А. И., Попова Е. В., Раутиан Т. Г., Чернов Ю. К. Методы оценки сейсмических воздействий (пособия) // Вопросы инженерной сейсмологии. М.: Наука, 1993, вып. 34. 95 с.
20. Aoi, S., Obara, K., Hori, S., Kasahara, K. and Okada, Y. (2000). «New strong-motion observation network: KiK-net.» EOS. Trans. Am. Geophys. Union, Vol. 81, F863.
21. Douglas J., 2001. A comprehensive worldwide summary of strong-motion attenuation relationships for peak ground acceleration and spectral ordinates (1969 to 2000). Imperial College of Science, Technology and Medicine Civil Engineering Department London SW72BU, ESEE Report No. 01-1. P.144.
22. Fukushima Y., Berge-Thierry, C., and Volant Ph., Griot-Pommer, D. A., Cotton F. (2003). Attenuation relation for west Eurasia determined with recent near-fault records from California, Japan and Turkey. Journal of Earthquake Engineering, Vol. 7, No. 3, Imperial College Press, p.1-26.
23. Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP) 1992-1999. // Ann. Di Geofis. Roma. Italy, 1999, Vol.42, N 6, pp. 955-1230.
24. Kalkan Erol. Top 5 Ground Motion Records of the March 11, 2011 M9.0 Tohoku Earthquake. March 24, 2011. P.3.
25. Kinoshita, S. (1998). «Kyoshin Net (K-NET).» Seism. Res. Lett., Vol. 69, 309-332.
26. Panza G. F., Vaccari, F. And Cazzaro, R., 1997. Correlation between macroseismic Intensities and seismic ground motion parameters, Ann. Geof., 15, 1371-1382.
27. Panza G. F., Romanelli, F. and Vaccari, F., 2001. Seismic wave propagation in laterally heterogeneous anelastic media: Theory and applications to seismic zonation. Advances in Geophysics, vol.43, 1-95.
28. Solomos G., Pinto A., Dimova S. A review of the seismic hazard zonation In national building codes In the context of Eurocode 8. EUR 23563 EN – 2008 © European Communities, 2008, 2008-72 pp. EUR – Scientific and Technical Research series – ISSN 1018-5593.
29. Wald, D. J., V. Quintro, T.H. Heaton and H. Kanamori (1999). Relationships between peak ground acceleration, peak ground velocity and Modified Mercalli Intensity in California, Earthquake Spectra, 15, 557-564.
30. Woody Epstein. A PRA Practioner looks at the Great East Japan Earthquake and Tsunami. Tokyo Institute of Technology A Ninokata Laboratory White Paper. April 29th, 2011, pp. 1/41.
31. Youngs R. R., Silva W. J., Humphrey J. R. (1997) Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes. Seismological Research Letters. Vol. 68, No. 1, pp. 58-73.
32. Zaalishvili V. B. (2012) Earthquake engineering // Edited by Halil Sezen, pp. 25-64.

USING RECORDED DESTRUCTIVE SEISMIC SHAKE AT GREAT JAPANESE EARTHQUAKES 11.04.2011 IN SEISMIC HAZARD ASSESSMENT

J. K. Karapetyan, Sc. Candidate (Geol.)

Institute of geophysics and engineering seismology. A. Nazarova of NAS RA,
Gyumri, Armenia, st. V. Sargsiana, 5,
e-mail: iges@mail.ru.

Seismostatistic analysis of actual instrumental data of the main shake of the Great Japan earthquake 11.04.2011 is carried out in the present work for the reveal of interaction of peak ground movement acceleration values from the epicentral distances. A number of features of the manifestation of peak acceleration values are revealed in the interval of great epicentral distances not matching the really existing seismic intensity scales.

Keywords: seismic hazard, earthquakes, instrumental records.

УДК 528.27

МОНИТОРИНГ ПРИРАЩЕНИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ НА ОПОРНЫХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ПУНКТАХ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА ВЫСОКОТОЧНЫМИ ОТНОСИТЕЛЬНЫМИ ГРАВИМЕТРАМИ

© 2013 В.К. Милюков¹, д.ф.-м.н., В.Д. Юшкин¹, А.П. Миронов¹,
В.Б. Заалишвили², д.ф.-м.н., профессор, А.С. Кануков², асп.,
Б.В. Дзеранов², к.г.-м.н.

¹ Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга,
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Россия,
119991, Москва, Университетский проспект, д. 13,

e-mail: milyukov@sai.msu.ru;

² Центр геофизических исследований Владикавказского научного
центра РАН-PCO-A, Россия, 362002, Владикавказ, Маркова, 93а,

e-mail: cgi_ras@mail.ru.

Представлены результаты измерения приращений силы тяжести относительными гравиметрами на семи пунктах Северо-Кавказского региона, образующих опорную гравиметрическую сеть для определения вариаций абсолютных значений силы тяжести и вертикальных движений региона. Для распространения сети на другие участки региона без проведения дорогостоящих абсолютных измерений разработана методика, основанная на измерении приращения силы тяжести между новым и опорным пунктами высокоточным относительным гравиметром. Апробация методики на двухлетнем интервале наблюдений показала ее перспективность, тем не менее, для достоверного определения вертикального движения пункта необходимы наблюдения на более длительном интервале.

Ключевые слова. Вертикальные движения земной коры, сила тяжести, относительные гравиметры.

Введение

Первые опорные гравиметрические пункты на Северном Кавказе были заложены в 1994 г. в рамках международного проекта SELF (Sea Level Fluctuations). В 1994 г. совместно со специалистами института IFAG (Германия) были сделаны измерения абсолютных значений силы тяжести баллистическим гравиметром FG5 № 101 в Баксанской подземной обсерватории ГАИШ (Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга) (п. Нейтрино, Кабардино-Балкария) и Зеленчукском филиале Института прикладной астрономии РАН (ст. Зеленчукская, Карачаево-Черкесия) [Wilmes et al., 1994]. В настоящее время сеть пунктов повторных измерений абсолютных значений силы тяжести в Северо-Кавказском регионе покрывает территории трех республик: Карачаево-Черкесию, Кабардино-Балкарию и Северную Осетию, и состоит из семи пунктов: «Зеленчукская», «Нейтрино», «Азау», «Терскол», «Нальчик», «Владикавказ» и «Ардон» (рис. 1) [Milyukov et al., 2010].

На пунктах абсолютной гравиметрической сети в результате продолжительных повторных наблюдений абсолютными гравиметрами с достаточной точностью можно получить оценку величины вертикального подъема этих пунктов. До недав-

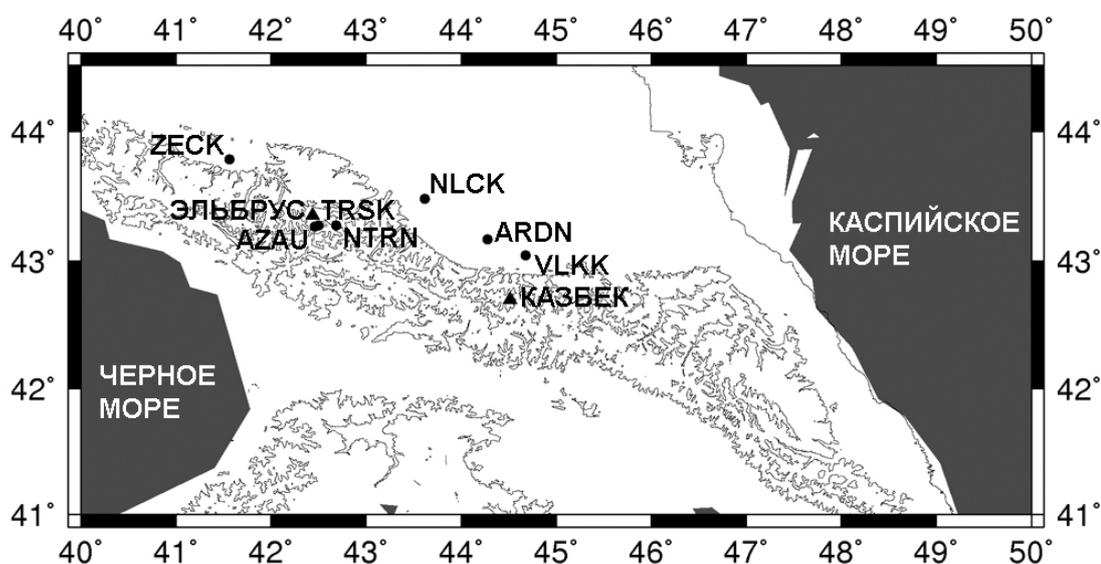


Рис.1. Сеть пунктов повторных определений абсолютных значений силы тяжести Северо-Кавказского региона: ZECK – Зеленчук; AZAU – Азау; TRSK – Терскол; NTRN – Нейтрино; NLCK – Нальчик; ARDN – Ардон; VLKK – Владикавказ. Треугольниками отмечены вулканы: Эльбрус и Казбек.

него времени альтернативы таким наблюдениям не было, поскольку при больших расстояниях между пунктами (более 150 км) и значительной разности высот (более 1,7 км) измерения приращений силы тяжести относительными гравиметрами имели погрешности, значительно превышающие погрешности абсолютных измерений. С появлением в России относительных гравиметров Scintrex CG3 и CG5, погрешности относительных измерений стали сравнимы с погрешностями абсолютных гравиметров. Так как затраты на проведение абсолютных гравиметрических измерений практически на порядок превышают затраты на относительные измерения, в ряде задач высокоточной гравиметрии может быть успешно использована съемка относительными гравиметрами. В частности, контроль вертикальных движений региона может быть осуществлен с помощью относительных гравиметров, если в регионе имеются опорные пункты, на которых с помощью абсолютных гравиметров определены изменения значения силы тяжести, а с помощью GPS наблюдений – изменения высот. С помощью высокоточной относительной съемки новые пункты могут быть связаны с опорными, и в дальнейшем на этих пунктах может осуществляться мониторинг вертикальных движений.

В работе приводятся результаты мониторинга приращений силы на гравиметрических пунктах Северного Кавказа относительными гравиметрами. Работы по этому мониторингу начаты в 2010 году и выполняются ежегодно специалистами МГУ ГАИШ и Центром Геофизических Исследований Владикавказского Научного Центра Российской Академии Наук.

Методика относительных измерений

Пусть $g_1^{t_1}$, $g_2^{t_1}$ и $\Delta p^{t_1} = g_1^{t_1} - g_2^{t_1}$ – сила тяжести на пункте (1), сила тяжести на пункте (2) и приращение силы тяжести между двумя пунктами, измеренные в эпоху t_1 . Соответственно, $g_1^{t_2}$, $g_2^{t_2}$ и $\Delta p^{t_2} = g_1^{t_2} - g_2^{t_2}$ – те же величины, измеренные в эпоху

t_2 . Тогда приращение силы тяжести между двумя пунктами за интервал времени $\Delta t = t_2 - t_1$ выражается следующим соотношением

$$\Delta p = \Delta p^{t_2} - \Delta p^{t_1} = (g_1^{t_2} - g_2^{t_2}) - (g_1^{t_1} - g_2^{t_1}) = (g_1^{t_2} - g_1^{t_1}) - (g_2^{t_2} - g_2^{t_1}) =$$

$$\Delta g_1 - \Delta g_2 = (\Delta \tilde{g}_1 + \Delta h_1 \times \tilde{W}_1) - (\Delta \tilde{g}_2 + \Delta h_2 \times \tilde{W}_2) \quad , \quad (1)$$

где:

$\Delta g_i = (\Delta \tilde{g}_i + \Delta h_i \times \tilde{W}_i)$ – изменение гравитационного поля на пункте i ($i=1,2$) за время Δt за счет изменения высоты поверхности Δh_i и изменения гравитационного поля \tilde{g}_i в результате геологических, геофизических процессов;

$$\tilde{W}_i = W_i + 2\pi G\sigma \quad ,$$

где W_i – измеренный вертикальный градиент силы тяжести в свободном воздухе на пункте i ; $2\pi G\sigma$ – поправка Буге ($2\pi G\sigma \approx 113$ мкГал/м при плотности $\sigma \approx 2,7$ г/см³); G – гравитационная постоянная.

Если изменения гравитационного поля в результате процессов, не связанных с изменением высоты, составляют малую величину, ($\Delta \tilde{g}_i \approx 0$), тогда

$$\Delta p = \Delta h_1 \times \tilde{W}_1 - \Delta h_2 \times \tilde{W}_2. \quad (2)$$

Если один из пунктов является опорным (например, $i=1$), для которого, из геодезических наблюдений, известно изменение высоты Δh_1 , то по формуле (2) можно определить изменение высоты другого пункта, на котором не выполнялись (или забракованы) измерения высот:

$$\Delta h_2 = \Delta h_1 \cdot \frac{\tilde{W}_1}{\tilde{W}_2} - \frac{\Delta p}{\tilde{W}_2}. \quad (3)$$

Таким образом, для определения подъема некоторого пункта на интервале времени Δt необходимо с помощью относительного гравиметра измерить приращение силы тяжести между опорным и определяемым пунктами Δp , а также измерить вертикальные градиенты силы тяжести на пунктах \tilde{W}_1 и \tilde{W}_2 .

Измерения

Относительная гравиметрическая съемка была выполнена в две эпохи (июнь 2010 г., июнь 2012 г.) гравиметром Scintrex CG5 № 567 (рис. 2) на абсолютных гравиметрических пунктах «Азау», «Нейтрино», «Нальчик», «Ардон», «Владикавказ». Все относительные измерения выполнялись по схеме А-В-А. Во время измерений, с целью введения соответствующих поправок в приращения ускорения свободного падения, на всех пунктах контролировались изменения атмосферного давления. Величины поправок не превышали 0,2 мкГал. На всех пунктах в каждую эпоху выполнялись определения вертикальных градиентов для изучения изменения параметров приповерхностного слоя Земли [Юшкин, 2012]. Вертикальные градиенты определялись тем же гравиметром по разности силы тяжести на высотах 273 мм и 1300 мм.

Для достижения минимальных погрешностей измерений при выполнении высокоточной гравиметрической съемки относительными гравиметрами в работах такого рода, необходимы тщательные предварительные исследования и отбор гравиметров. Исследования заключаются в определении параметров разного рода

дрейфов и стабильность показаний гравиметров [Юшкин, 2011; Юшкин и др., 2011]. При расстояниях между пунктами свыше 150 км и разности высот свыше 2 км стабильность параметров относительных гравиметров имеет решающее значение. К сожалению, замечено, что со временем, даже если гравиметры не используются, их качество ухудшается. При возникновении скачков в записях на стационарных пунктах, гравиметры приходится отправлять на фирму – изготовитель. Как правило, там проводятся работы по чистке приборов, подстройке электронных схем и иногда даже их замене. Это говорит о том, что в камерах чувствительных элементов со временем конденсируются крупные частицы вещества, влияние которых на чувствительную систему приводит к скачкам в сигнале и, как следствие, к увеличению погрешности измерений. Кроме выбора и настройки гравиметров, во время измерений необходимо придерживаться строгой методики, позволяющей полностью вычищать влияния тряски приборов во время транспортировки, ударов их о подставку при постановке на пункт и влияния изменения температур и атмосферного давления. Эти вредные воздействия исчезают с увеличением времени наблюдений на пунктах. Дрейф сигнала гравиметра на всех пунктах должен быть одинаковым, или он должен быть равен стационарному. Т.е. при наблюдениях необходимо постоянно контролировать дрейф, и снимать прибор при одном и том же дрейфе на разных пунктах (для экономии времени съемки), или давать отстаиваться прибору время, которое достигает стационарного дрейфа с гарантией. На рис. 3 представлена кривая дрейфа гравиметра. Серой полосой вы-

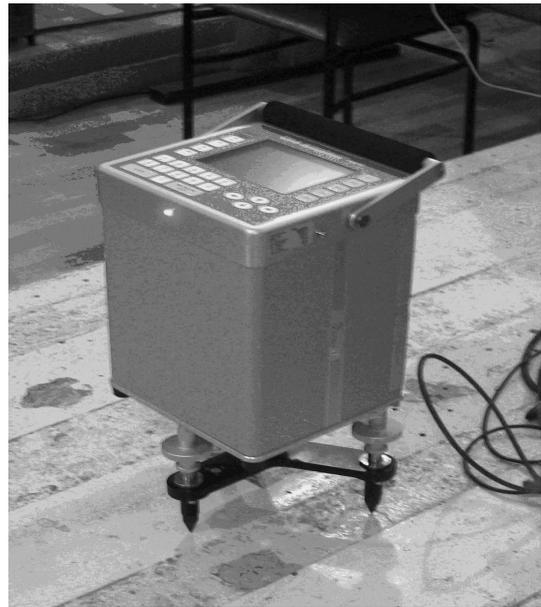


Рис. 2. Наблюдения относительным гравиметром CG5 Scintrex на пункте «Нейтрино» (2007 г.)

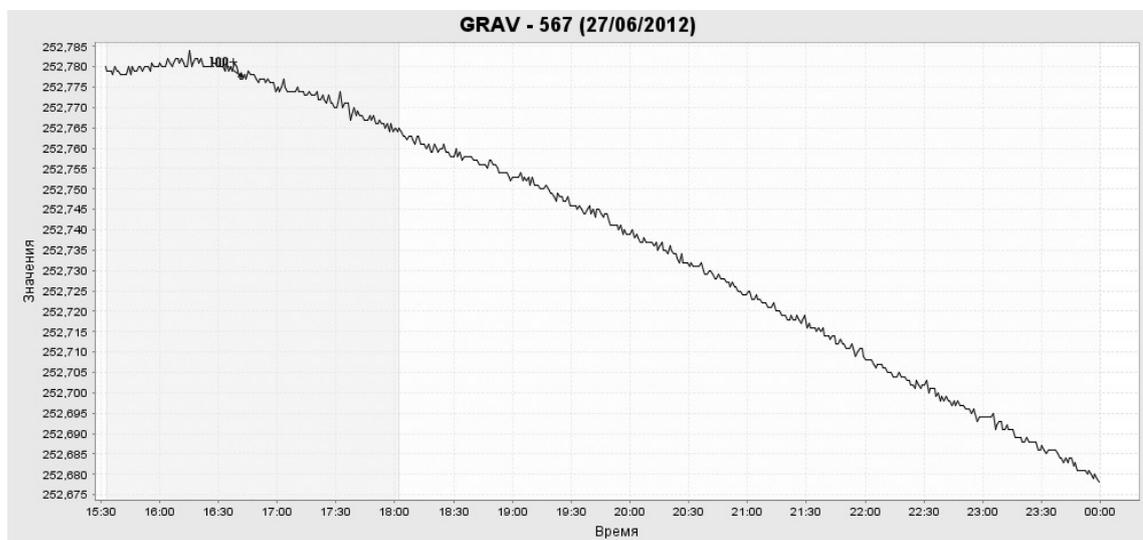


Рис. 3. Выход гравиметра в рабочий режим (кривая дрейфа).

делен участок времени, на котором брать сигнал в обработку при высокоточных наблюдениях нельзя. Из рисунка видно, чтобы дрейф с гарантией стал линейным (таковым он является при стационарных наблюдениях), требуется время не менее 4-х часов.

Результаты измерений приращений силы тяжести гравиметром CG5 приведены в таблице 1. Приращения силы тяжести приведены на высоте чувствительного элемента относительного гравиметра CG5 (273 мм над поверхностью постаментов при среднем положении подъемных винтов).

Таблица 1.

Результаты определений приращений силы тяжести между пунктами Северного Кавказа относительным гравиметром CG5

Пункты	Год измерения	Приращение силы тяжести (мкГал)	Прибор
Ардон-Владикавказ (41 км)	2010	(56830 ± 3)	CG5
	2012	(56832 ± 2)	CG5
Нальчик-Азау (150 км)	2010	(474799 ± 2)	CG5
	2012	(474800 ± 2)	CG5
Нейтрино-Азау (18 км)	2010	(85239 ± 2)	CG5
	2012	(85239 ± 2)	CG5
Нальчик-Нейтрино (130 км)	2010	(389560 ± 2)	CG5
	2012	(389561 ± 2)	CG5

Обсуждение результатов

Основываясь на данных по вертикальным движениям пунктов и измеренных вертикальных градиентах на пунктах (таблица 2), по формуле (2) можно оценить

Таблица 2.

Оценки скоростей вертикальных движений пунктов Северного Кавказа по гравиметрическим и геодезическим данным.

Пункт (высота)	Вертикальная скорость, мм/год		Изменение силы тяжести, мкГал/год	Верт. градиент, мкГал/м
	гравиметрия	Геодезия		
1. Зеленчукская (1166 м)	$(2,2 \pm 0,7)^1$	$(2,0 \pm 0,7)^2$	-0,41	-281,51
2. Нейтрино (1720 м)	$(5,2 \pm 0,7)^1$		-1,00	-234,31
3. Терскол (3122 м)		$(5,6 \pm 0,5)^2$	-1,06	-309,0
4. Азау (2334 м)				-247,1
5. Нальчик (530 м)		$(0 \pm 1,0)^3$	0	-280,2
6. Владикавказ (684 м)		$(-1,1 \pm 0,7)^2$	0,321	-284,9
7. Ардон (399 м)		$(-2,5 \pm 0,7)^3$	0,47	-307,0

⁽¹⁾ По данным Северо-Кавказской региональной сети пунктов абсолютной гравиметрии (ГАИШ МГУ).

⁽²⁾ По данным Северо-Кавказской региональной сети стационарных станций наблюдения спутников GPS/ГЛОНАСС (ГАИШ МГУ).

⁽³⁾ Карта современных вертикальных движений земной коры по геодезическим данным на территорию СССР (СВДЗК). Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, М., 1989.

ожидаемые за некоторый интервал времени изменения приращений силы тяжести между двумя пунктами. Эти оценки для двухлетнего интервала приведены в таблице 3. В ней также приведены изменения приращений силы тяжести, вычисленные по значениям приращений, измеренным относительным гравиметром в 2010 и 2012 гг. (таблица 1).

Таблица 3.

Ожидаемые и измеренные изменения приращений силы тяжести между пунктами за два года

Пункты	Ожидаемое за 2 года изменение приращения силы тяжести (мкГал)	Измеренное за 2 года изменение приращения силы тяжести (мкГал)
Ардон- Владикавказ (41 км)	0,9	(2±2)
Нальчик-Азау (150 км)	2,8	(1±2)
Нейтрино-Азау (18 км)	0,14	(0±2)
Нальчик-Нейтрино (130 км)	2,6	(1±2)

Как следует из таблицы 3, наибольшее изменение приращений силы тяжести следует ожидать для пунктов, наиболее удаленных друг от друга: Нальчик-Азау (150 км) и Нальчик-Нейтрино (130 км). Измеренные значения изменений в пределах ошибок не отличаются от ожидаемых, тем не менее, точность измерений не достаточна, чтобы значимо выявить измеряемую величину на данном временном интервале. Можно ожидать, что на 5-6- летнем интервале наблюдений изменение приращения силы тяжести между наиболее удаленными пунктами достигнет величины 7-8 мкГал. Эта величина уже может быть уверенно определена современными относительными гравиметрами.

Заключение

В Северо-Кавказском регионе создана сеть пунктов повторных измерений абсолютных значений силы тяжести, которая покрывает территории трех республик: Карачаево-Черкесию, Кабардино-Балкарию и Северную Осетию, и состоит семи пунктов: «Зеленчукская», «Нейтрино», «Азау», «Терскол», «Нальчик», «Владикавказ» и «Ардон». Эти пункты рассматриваются как опорные для контроля современных вертикальных движений региона.

Измерение изменения абсолютного значения силы тяжести на длительном интервале наблюдения дает надежную оценку вертикальных движений. Однако проведение абсолютных гравиметрических работ требует достаточно высоких организационных и финансовых затрат. Разработанная нами методика позволяет заменить дорогостоящие абсолютные гравиметрические определения на измерения приращения силы тяжести между определяемым и опорным (на котором известно абсолютное значение силы тяжести) пунктами высокоточным относительным гравиметром. Затраты на проведение таких измерений будут существенно ниже. Для апробации этого метода на двухлетнем интервале наблюдений была выполнена связь между рядом пунктов Северо-Кавказской сети относительным гравиметром Scintrex CG5. Измеренные значения приращений между пунктами имеют среднеквадратические ошибки, сравнимые с ошибками абсолютных измерений. Можно ожидать, что на 5-6- летнем интервале наблюдения изменение приращения силы тяжести между

наиболее удаленными пунктами достигнет величины 7-8 мкГал. Эта величина уже может быть уверенно определена современными относительными гравиметрами. Таким образом, с использованием высокоточных относительных гравиметров сеть пунктов для контроля вертикальных движений может быть значительно расширена. Это особенно актуально для труднодоступных районов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 12-05-00475).

Литература

1. Юшкин В. Д. «Опыт работы с гравиметрами CG5» Измерительная техника, 2011, №5, с. 3-9.
2. Юшкин В. Д., Сапунов А. Н., Стусь Ю. Ф., Калиш Е. Н., Бунин И. А., Носов Д. А. «Измерения новым полевым баллистическим гравиметром ГАБЛ-М в условиях тундры», Измерительная техника, № 10, 2011, с. 3-9.
3. Юшкин В. Д. «Влияние поверхностного слоя Земли на ускорение свободного падения», Измерительная техника, 2012, №5, с.8-11.
4. Milyukov V., Kopaev A., Zharov V., Mironov A., Myasnikov A., Kaufman M., Duev D., «Monitoring crustal deformations in the Northern Caucasus using a high precision long base laser strainmeter and the GPS/GLONASS network», J. Geodyn., 2010, с. 216-223.
5. Wilmes H., Schafer U., Kopaev A., Richter B., Becker M., Kumkova I., Milyukov V., «First absolute gravity campaign in the Caucasus Region and its relation to the detection of height variations», IGC/ICG Joint Meeting Abstracts, Sept. 11-17, 1994, Graz, Austria.

THE INCREMENTS OF GRAVITY MONITORING AT NORTHERN CAUCASUS GRAVIMETRIC TEAM POINTS USING PRECISION RELATIVE GRAVIMETERS

V.K. Milyukov¹, Sc. Doctor (Phys.-math.), V.D. Iushkin¹, A. P. Mironov¹,
V.B. Zaalishvili², Sc. Doctor (Phys.-math.), prof., A.S. Kanukov², B.V. Dzeranov²,
Sc. Candidate (Geol.)

¹Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University,
119991, Moscow Russia, Universitetsky pr., 13,
e-mail: milyukov@sai.msu.ru.,

²Center for Geophysical Investigation of Vladikavkaz Scientific Center of RAS,
Russia, 362002, Vladikavkaz,
e-mail: cgi_ras@mail.ru.

Results of relative gravity measurements on seven sites of Northern Caucasus region, which form a reference network for determination of vertical movements of the region by a gravimetric method, are presented. To spread this network to other parts of the region without carrying out expensive absolute measurements, the technique based on measurement of the gravity increment between the new and reference sites by the high-precision relative gravity meter is developed. Two-years observations showed availability of this technique, nevertheless, for reliable determination of the site vertical movements, the observations on longer time interval are necessary.

Keywords: Absolute and relative gravity, relative gravity meters.

УДК 550.34

ОПЫТ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИНЖЕНЕРНО- СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ АРМЕНИИ

© 2013 С. М. Оганесян¹, член-корр. НАН РА, д.ф.-м.н. профессор,
С. С. Карапетян¹, к.г.-м.н., Э. Г. Геодакян¹, к.ф.-м.н., Дж. К. Карапетян¹,
к.г.-м.н., Ж. М. Аукажиева², к.т.н., А. С. Гаспарян¹, Г. А. Мкртчян¹, н.с.

¹Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА, Республика Армения, 3115 г. Гюмри, ул. В. Саргсяна, 5, e-mail: iges@mail.ru.

²Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Казахстан, 010000, г. Астана, пр. Победы, 62, e-mail: agun.katu@gmail.com.

В работе приводятся результаты мониторинга системы инженерно-сейсмологического наблюдения, разработанных ИГИС НАН РА, для грунтовых плотин.

Ключевые слова: система мониторинга, сейсмологическая обсерватория, плотина, водохранилище, строительные нормы.

Для богатой водными ресурсами территории Армении, создание сети водохранилищ и на их основе широкоразветвленных ирригационных систем орошения, является важной народнохозяйственной задачей.

К настоящему времени на территории республики сосредоточено более 70 водохранилищ с общим объемом 1,4 млрд.м³, и планируются построение еще 13 водохранилищ, с общим объемом порядка 800 млн.м³. Более 75% вышеуказанного объема воды сконцентрировано в 22 водохранилищах, которые по своим техническим характеристикам, классу гидротехнического сооружения (плотин) считаются основными и отнесены к особо ответственным гидротехническим сооружениям (таблица 1, рис. 1).

Таблица 1.

	Название водохранилищ	Высота плотины (м)	Объем (млн.м ³)	Класс гидротехнического сооружения (плотины) *	Количество населения ниже уровня водохранилища (тыс.чел.)	Категория ответственности
1	Арпиличское	16	105	1	6,2	I
2	Айгедзорское	36	3,55	1	0,4	I
3	Алаварское	31	5,5	1	1,9	I
4	Азатское	77	70	1	88,2	I
5	Вардакарское	16,2	5	1	11,6	I
6	Тавшутское	37	6	1	1,6	I
7	Советашенское	42	1,4	1	0,6	I
8	Давид-Бекское	41,2	3,2	1	0,7	I
9	Севабердское	42	6	2	8,4	I
10	Апаранское	50,6	90	1	185,6	I
11	Карнутское	34,5	22,62	1	11,5	I

12	Манташское	30,4	8,2	1	14,6	I
13	Сарнахпюрское	29,2	5	1	7,7	I
14	Акумское	46	12	1	0,3	II
15	Тавшутское	42,4	5	1	0,2	II
16	Гегардаличское	13,8	3,4	1	2,7	I
17	Какавадзор 2	33,4	590	1	0,7	I
18	Ахурянское	70,0	520	1		I
19	Гер-герское	71,5	26	1	8,0	I
20	Спандарянское	63	257	1		I
21	Толорское	69	96,8	1		I
22	Шамбское	41,0	13,6	1		I

Преобладающее большинство плотин этих водохранилищ построены из местных материалов, за исключением плотин Ахурянской и Спандарянской водохранилищ.

Следует отметить, что практически все плотины расположены в высокогорных районах республики, со сложными геологическими и сейсмотектоническими условиями. Руководствуясь требованиями СНиП к строительству в сейсмоактивных областях в период инженерно-геологических изысканий, проводились также работы по сейсмомикрорайонированию строительных площадок. При этом выдавались расчетные вероятностные оценки возможных сейсмических воздействий на основе

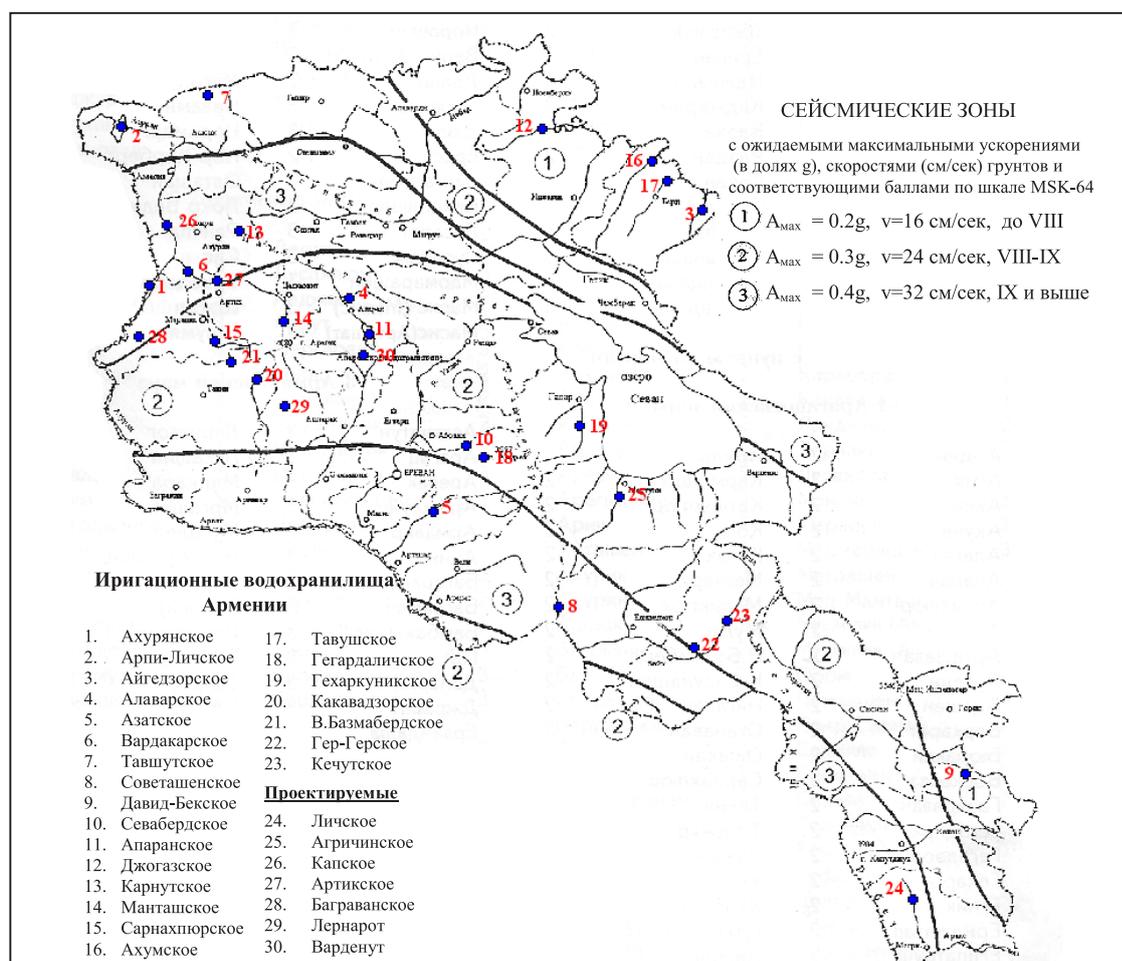


Рис. 1. Карта сейсмической опасности и места расположения наиболее крупных водохранилищ

карт ОСР-68 и ОСР-78. Эти исследования для всех плотин проводились специалистами ИГИС НАН РА. Построенные в советские времена (1960-1980 гг.) по нормам и стандартам СНиП-66÷86 гг. и эксплуатируемые по настоящее время, эти водохранилища подвергались техногенным, природным экзогенным и неоднократным сейсמודинамическим воздействиям.

Вследствие сейсмического воздействия разрушительного Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года значительно снизились заложенные в проектах расчетные уровни сейсмоустойчивости грунтовых плотин водохранилищ, расположенных в Северной Армении.

В результате вышеуказанных воздействий в телах грунтовых плотин происходят непрерывные процессы изменения физико-механических и прочностных свойств грунтов приводящих в ряде случаев к аварийным ситуациям. В таблице 2. приводится перечень и причины ряда характерных аварийных ситуаций, возникавших в ходе эксплуатаций водохранилищ Армении.

После Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года по постановлению Совета Министров РА был разработан новый кодекс СНиП РА 1994-2006 гг., (строительные нормы). Согласно новой карте ОСР-94 уровень сейсмической опасности практически по всей территории РА повысился на 1 балл, а по ряду зон на 2 балла по шкале MSK-64 [СНРА II-6.02-2006].

Таблица 2.

№	Плотина	Год аварии	Причины аварии и последствия
1	Агарак	1974	Фильтрация, сползание, осадка гребня и перелив. Затоплена одна деревня.
2	Мармарик	1978	Черезмерное давление пор. Пустое водохранилище.
3	Советашен	1989	Сильная фильтрация из тела плотины на высоком уровне.
4	Сарнахбюр	1991	Эрозия тела плотины внутри водовода.
5	Спандарян	1991	Прорыв воды >50 м ³ /сек. Город Сисиан частично затоплен.
6	Карнут	1993	Осадка гребня на 1,2 м. Понижение уровня водохранилища.
7	Апаран	1994	Нарушение метал.облицовки вследствие плохого контакта метал-бетон.
8	Артик	1994	Постепенное ухудшение верхних откосов и последующий перелив. Затоплены деревни, 2 жертвы, много ущерба.
9	Джогаз	1996	Эрозия тела плотины внутри водовода.
10	Давид-Бек	1997	Разрушение водовыпускного клапана вследствие накопления льда внутри метал. трубопровода.
11	Азат	1998	Эрозия манолитного грунта внутри тоннеля, местами разрушена облицовка.
12	Советашен	1998	Эрозия грунта в дренажной галлерее под водосливным руслом. Постепенная осадка облицовки русла (канал) на глиняной основе.
13	Айгадзор	1998	Эрозия тела плотины внутри водовода.
14	Иллис (НКР, рис.2)	2009	Эрозия тела в районе катастрофического водосброса

Соответственно изменились также принятые при проектировании и строительстве водохранилищ, значения исходной балльности ожидаемых на территории строительства водохранилищ. Учитывая это обстоятельство, а также низкое техническое состояние эксплуатируемых водохранилищ Правительством РА было принято решение о модернизации 8-ми первоочередных крупных водохранилищ республики, имеющих важное народнохозяйственное значение и 1-категорию ответственности



Рис. 2. Авария плотины (Иллис), пунктирная линия показывает существовавший до аварии уровень гребня.

гидротехнических сооружений. В технические проекты модернизации этих водохранилищ, по предложению ИГИС НАН РА, были включены обязательные условия организации на плотинах системы инженерно-сейсмометрических наблюдений.

Руководствуясь этим решением, в ИГИС НАН РА был разработан проект организации инженерно-сейсмометрической службы на плотинах водохранилищ. В этот проект входили: план размещения аппаратуры и автономная многоканальная система инженерно-сейсмометрических наблюдений (в дальнейшем система) с собственным программным обеспечением (рис.3, 4).

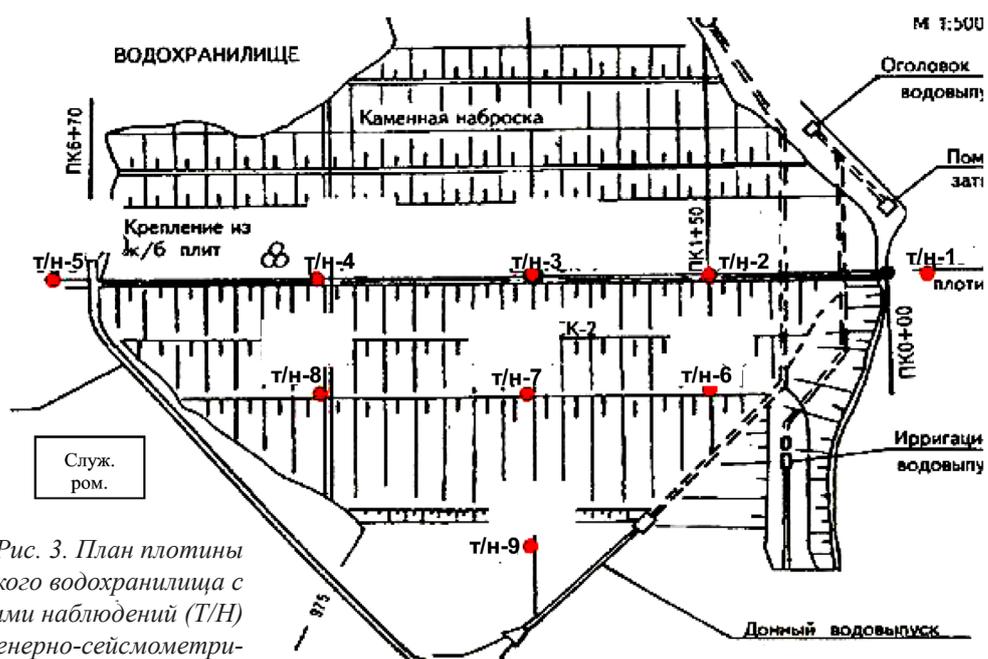


Рис. 3. План плотины Азатского водохранилища с точками наблюдений (Т/Н) инженерно-сейсмометрической службы.

Наиболее ответственной задачей являлась разработка схемы установки сейсмодатчиков в теле гидротехнического сооружения, позволяющая обеспечить представительную и достоверную информацию.

Руководствуясь рекомендациями, приведенными в работе [Напетваризе, 1968], а также современными нормами и требованиями по проведению мониторинга и оценки технического состояния гидротехнического сооружения, принятого в ряде ведущих стран мира [Нормы и требования, 2009; Дениэл и др., 2003], нами для каждой из реконструируемых плотин, исходя из геометрических параметров (высота плотины и ее протяженность), разрабатывалась индивидуальная схема размещения сейсмодатчиков. Разрабатываемая схема должна была обеспечивать следующие критерии:

- сейсмодатчики должны быть размещены в нескольких характерных сечениях (вертикальных и горизонтальных) именуемых измерительными сечениями;
- сейсмодатчики должны располагаться вдоль измерительных створов, включающих несколько измерительных точек;
- количество измерительных створов по высоте плотины должны быть от 3 до 5;
- количество точек в измерительном створе должно быть не менее 3-5, и установлены в наиболее «чувствительных» к нагрузкам и напряженным точкам таким образом, чтобы получить численные величины наиболее опасных сейсмических воздействий, возникающих в теле плотины при землетрясениях.

Автономные системы инженерно-сейсмометрических наблюдений включали в себе трехкомпонентные скважинные акселерометры, велосиметры типа СМ-3 и акселерометры типа ОСП для наземных наблюдений, коммуникации (кабельные) и

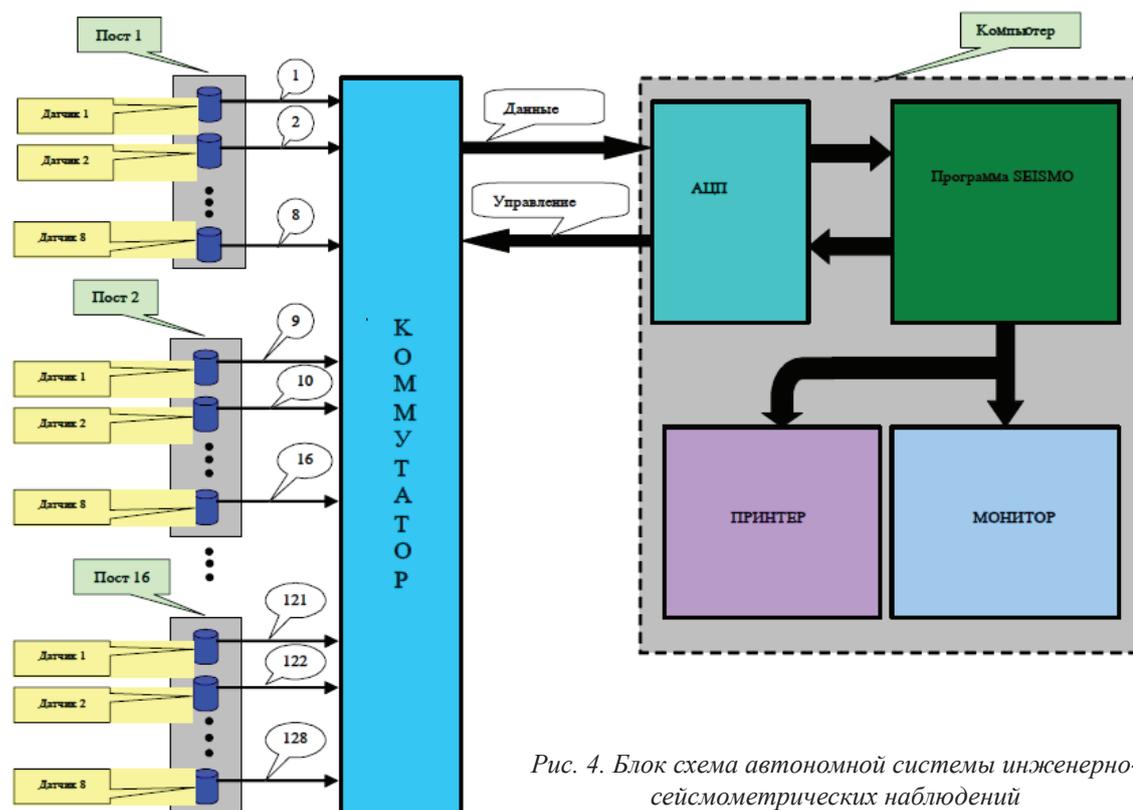


Рис. 4. Блок-схема автономной системы инженерно-сейсмометрических наблюдений

блока сбора и хранения информации (компьютер), находящегося в служебном помещении обслуживающего персонала.

Первые системы этой конструкции были изготовлены и установлены институтом на четырех плотинах водохранилищ (Азат, Тавшут, Советашенское и Гер-Гер, (рис.1)).

За период с 2005 г. по настоящее время системами ИСС (инженерно-сейсмометрическая сеть) были зарегистрированы более 7 землетрясений в магнитудном диапазоне $M=3,3\div 4,2$.

По цифровым инструментальным записям ускорений и скоростей (рис 5), полученных как на гребне плотины, так и по бьефу на разных уровнях, строились амплитудно-частотных спектры и проводились их сопоставительный анализ.

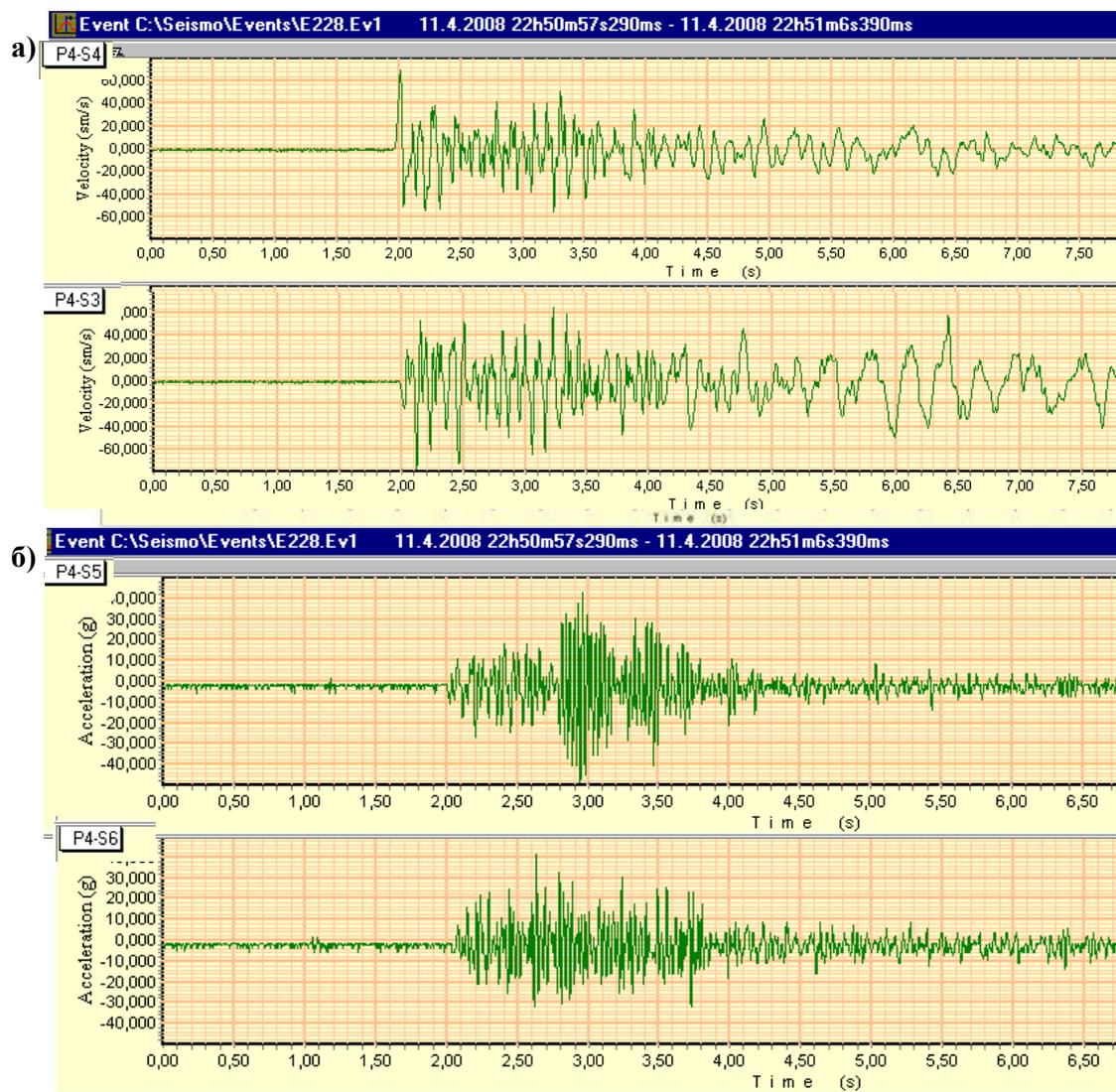


Рис. 5. Пример записи а)- велосиграмм и б)- акселерограмм на плотине Азатского водохранилища

На основе результатов спектрального анализа строились эпюры распределения максимальных значений ускорений и скоростей (рис.6). В процессе сопоставительного анализа выявлено, что наиболее опасными участками являются зоны стыковки тела плотины с бортами котловины водохранилища.

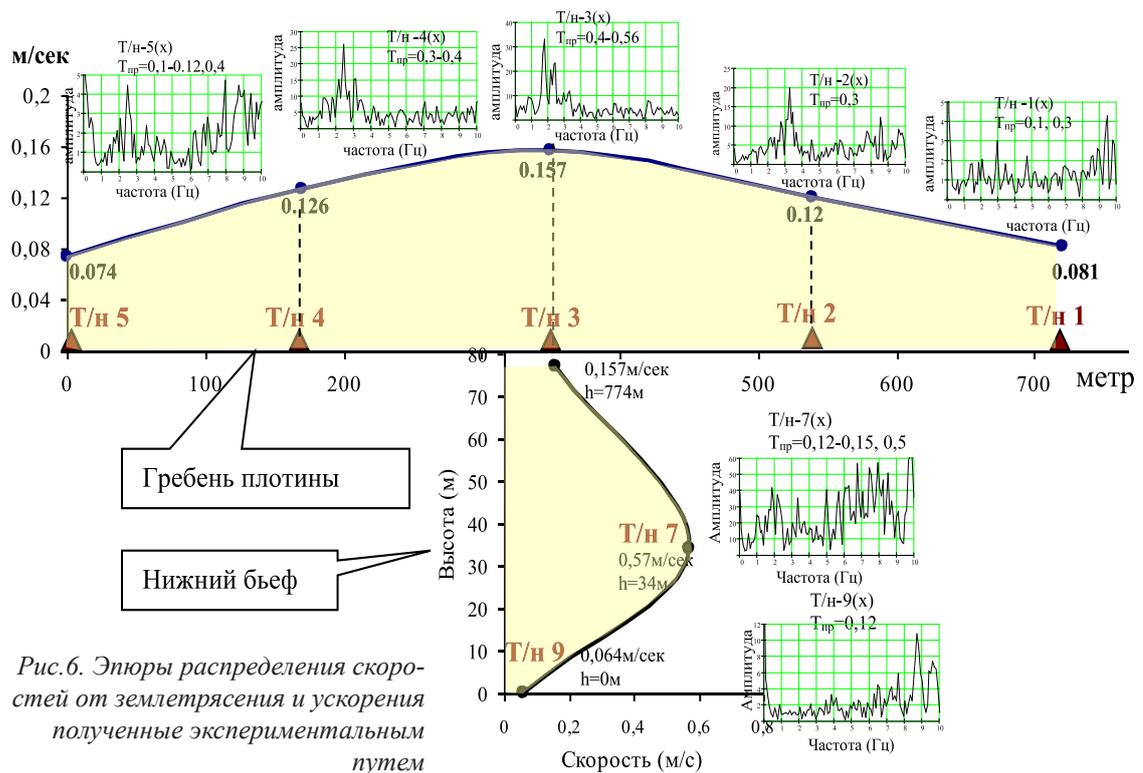


Рис.6. Эпюры распределения скоростей от землетрясения и ускорения полученные экспериментальным путем

В процессе эксплуатации системы ИСС проводились периодические (год) диагностические работы по оценке работоспособности системы ИСС и технического состояния плотин, состоящих из следующих мероприятий:

1. проверка работоспособности аппаратуры путем возбуждения искусственно-го импульса (удар, взрыв);
2. инженерно-геофизические исследования самого тела плотины и прилегающих к ней территорий с целью выявления зон фильтрации воды, а также участков на бортах котловины водохранилища, являющихся потенциально опасными для возникновения оползневых явлений.

Опыт эксплуатации системы ИСС позволил выявить присущие этой системе характерные недостатки, усложняющие ее автономную деятельность:

- кабельные коммуникации не имеют достаточной защиты от внешних воздействий и грызунов;
- применяемые в этой системе ИСС сейсмоприемники СМ-3 и акселерометры ОСП оказались уязвимыми к разным температурным переходам и тяжелым полевым условиям их эксплуатации.

Исходя из опыта и результатов эксплуатации ИСС на плотинах водохранилищ Армении в ИГИС НАН РА разработана и изготовлена новая автономная система инженерно-сейсмометрической наблюдений «Гюмри-01». В этой системе устранены выявленные недостатки и предусмотрены дополнительные порталы для подключения стандартных контрольно-измерительных аппаратур, позволяющих осуществить полную диагностику.

Литература

1. Гидроэлектростанции. Мониторинг и оценка технического состояния гидротехнических сооружений в процессе эксплуатации. Нормы и требования. Москва, 2009 г., с. 64.
2. Дениэл Д. Бренлоу, Алиссандро Пальмиери, Салмон М. А. Нормативно-правовая база безопасности плотин. Сравнительный аналитический обзор. «Всемирный банк». Из. «Весь Мир», Москва, 2003 г., 171 стр.
3. Напетваризе Ш.Г., Вопросы организации инженерно-сейсмометрической службы на плотинах из местных материалов. Из. «Дониш» Душанбе, 1968, с. 40.
4. Строительные нормы республики Армения СНРА II-6.02-2006.

THE EXPERIENCE AND THE RESULTS OF ENGINEER-SEISMOMETRIC MONITORING OF ARMENIAN HYDRAULIC STRUCTURES

S. M. Oganesyanyan¹, corresponding member of NAS of RA, Sc. Doctor (Phys.-math.), prof., S. S. Karapetyan¹, Sc. Candidate (Geol.), E. G. Geodakian¹, Sc. Candidate (Phys.-math.), J. K. Karapetyan¹, Sc. Candidate (Geol.), J. M. Aukazshieva², A. S. Gasparyan¹, H. A. Mkrtchyan¹, sci. work.

*¹Institute of geophysics and Engineering seismology.
A. Nazarova of NAS RA, Gyumri, 5 V. Sargsian Str.
e-mail: iges@mail.ru.*

*² S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, 62 Prospect Pobedy,
Astana, Republic of Kazakhstan,
e-mail: agun.katu@gmail.com.*

The results of the monitoring system of the engineering seismological observation of NAS RA IGIS for ground dams.

Keywords: monitoring system, seismological observation, dam, water storage, building codes.

ДИСКУССИИ И ОБСУЖДЕНИЯ

УДК 550.34

ФИЗИКА ТЕХНОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

© 2013 А.Г. Гликман

НТФ ГЕОФИЗПРОГНОЗ,
Россия, 195027, Санкт-Петербург, Свердловская наб. 62-139,
e-mail: agg@newgeophys.spb.ru, geophysprognos@rambler.ru.

Как только частота вибрации объекта на поверхности Земли приближается к собственной частоте, залегающей в том месте колебательной системы, начинается рост амплитуды вибрации, который может достичь колоссального уровня и вызвать разрушение вибрирующего объекта.

Ключевые слова: вибрация, собственная частота.

В 1977 году было обнаружено новое физическое явление, которое заключается в том, что земная толща, а в пределе, наша планета по акустическим параметрам представляет собой совокупность упругих колебательных систем.

Что это такое и как это было обнаружено. Так сложилось, что понятие колебательной системы разработано только в радиофизике. Как известно всем радистам со второго курса обучения, колебательная система – это объект, который на ударное воздействие реагирует гармоническим (синусоидальным) затухающим сигналом. Когда в 1870 году лорд Кельвин обнаружил, что сигнал, возникающий при импульсном воздействии на конденсатор, закороченный катушкой индуктивности, имеет вид затухающей синусоиды (рис.1), он сразу же заявил, что имеет место новая колебательная система.

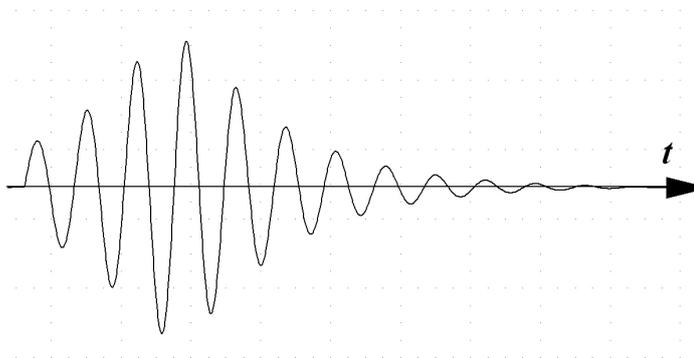


Рис. 1.

Как оказалось, в земной толще, в простейшем случае, упругой колебательной системой является плоскопараллельная породная структура. Толщина (мощность) этой структуры h связана с частотой f_0 синусоиды, возникающей в результате ударного на нее воздействия, следующим соотношением:

$$f_0 = \frac{V_{ph}}{h}, \quad (1)$$

где, V_{ph} – фазовая скорость. Для горных пород $V_{ph} = 2500$ м/с.

Физический смысл фазовой скорости заключается в следующем. Состояние собственных колебаний замкнутого объекта, каковым является плоскопараллельная структура – это режим стоячих волн. В этом режиме поле никуда не распространяется, и скорость его определяется не отношением $V=l/t$, а произведением $V=f_0 \lambda$, где λ – длина волны, а это, по определению, принятому в электродинамике, есть фазовая скорость [Гликман, 2013].

Каждое вновь обнаруженное природное явление или физический эффект в большей или меньшей степени изменяет картину мира. Но, как правило, на то, чтобы это понять, уходят многие годы.

Первоначально значение того, что земная толща представляет собой совокупность колебательных систем, не было осознано в полной мере, и это явление использовалось только для того, чтобы определять мощность породного слоя в кровле угольного пласта для оценки устойчивости кровли горных выработок. Идея этого направления состоит в том, что аппаратура, реализующая его, позволяет определять частотный спектр сейсмосигнала, возникающего в результате ударного воздействия на горные породы, залегающие в кровле подземной выработки. Определяя далее с помощью выражения (1) мощности породных слоев, залегающих в кровле, мы получаем возможность делать определенные выводы в отношении горнотехнической обстановки. Таким образом, зародилось спектрально-сейсморазведочное направление в геофизике.

На рис. 2 показан пример спектрально-временного преобразования и пересчета частоты f в глубину h .

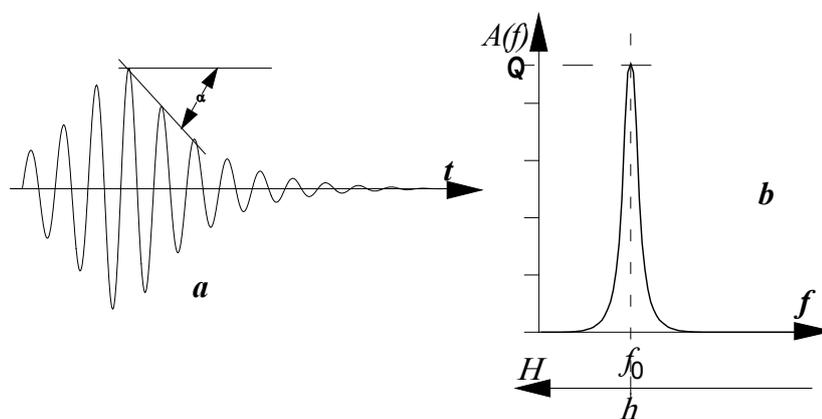


Рис. 2

Согласно спектрально-временным преобразованиям, временное изображение затухающей синусоиды **a** эквивалентно спектральному изображению **b** на рис.2. Угол α , показывающий скорость затухания синусоиды, обратно пропорционален добротности этого сигнала Q . Добротность – очень важный параметр колебательных систем, и об этом будет сказано дальше. Согласно выражению (1), h и f обратно пропорциональны друг другу, и поэтому оси h и f направлены в разные стороны.

Подвижка в понимании значения свойства земной толщи как совокупности колебательных систем произошла в мае 1986 года, когда произошла авария на Чернобыльской АЭС.

Как оказалось, на ЧАЭС всё началось с того, что в машинном зале 4-го блока возникла вибрация, амплитуда которой выросла до немыслимых значений, и оборвалась тем, что турбина провалилась под землю. В этот момент сейсмологи отметили сейсмособытие, а через 30 с. взорвался реактор, что было отмечено как второе сейсмособытие. Эпицентр обоих толчков находился непосредственно под 4-м блоком ЧАЭС.

Не нужно было иметь семь пядей во лбу, чтобы догадаться, что это было ни чем иным, как резонансным разрушением. Как известно, чтобы возникло резонансное явление, необходимо иметь колебательную систему и динамическое (вибрационное) воздействие на нее. Источником вибрационного воздействия была вращающаяся турбина, а колебательная система залегала в земной толще под этой турбиной. То есть, в полном соответствии с тем физическим эффектом, который был обнаружен за 9 лет до этого. При этом, как только частота вибрации приближается к собственной частоте, залегающей в том месте колебательной системы, начинается рост амплитуды вибрации, который может достичь колоссального уровня и вызвать разрушение вибрирующего объекта.

Амплитуда вибрации на резонансе может увеличиться в Q раз, а Q колебательных систем, залегающих в земной толще, может иметь значение от единиц до тысяч.

Сейчас мне непонятно, почему я с самого начала, еще в 1977 году не подумал о том, что если мы живем на совокупности колебательных систем, то избежать резонансных явлений (и разрушений) невозможно.

Естественно, когда я высказал эту точку зрения, ко мне никто не прислушался, и я стал коллекционировать подобные истории. Оказалось, что точно по такому сценарию нередко разрушаются электростанции, насосные станции, железнодорожные пути.

То есть, те объекты, которые оказывают на опору динамическое (вибрационное) воздействие. Понятно, что в условиях тотальной секретности я добывал эти данные с большим трудом, от очевидцев, и публикации на эту тему были невозможны. Что было общим во всех этих рассказах, это колоссальная вибрация, которая предшествовала аварии.

Первая открытая (незасекреченная) авария такого типа – это авария на Саяно-Шушенской ГЭС, которая произошла в 2009-м году. Повышенная вибрация в машинном зале там наблюдалась (кстати, как и на ЧАЭС) больше, чем за год до аварии. Амплитуда вибрации росла всё больше, и, наконец, было принято решение остановить гидрогенератор. Совершенно деморализованные начальственными криками, люди совершили роковую ошибку. Они стали останавливать генератор медленно. При проходе через запрещенную скорость вращения начался быстрый рост амплитуды вибрации, и она увеличилась в 600 раз, что показал их же собственный самописец.

Как известно, причина этой аварии считается неизвестной. Но как можно не распознать в этом случае резонансное разрушение, я понять не могу. Но, с другой стороны, можно и понять. Если произнести слово «резонанс», то немедленно последует вопрос: «а где колебательная система, на которую воздействовал вибрирующий гидроагрегат?» И если сказать, что колебательная система залегает в земной толще, то это нанесет сильнейший удар по так называемой лучевой сейсморазведке. А этого допускать нельзя, потому что сейсморазведка считается самым мощным

геофизическим методом, и все инвестиции в геофизику идут в основном в сейсморазведку.

Как известно, основой сейсморазведки является утверждение, что упругий импульс, возникающий в результате ударного воздействия на земную толщу, распространяется в этой толще во всех направлениях, и при отражении его от залегающих там границ может быть получен эхо-сигнал. Но это возможно только в том случае, если никаких колебательных систем в земной толще нет. [Гликман, 2003].

На самом же деле, в результате ударного воздействия возникает не упругий импульс, а совокупность гармонических затухающих сигналов. Здесь видна аналогия со струнными инструментами. Ударив по клавише рояля, мы сам удар не услышим. Мы услышим затухающий звук соответствующей ноты. А ударив одновременно по нескольким клавишам, мы возбудим одновременно несколько гармонических затухающих сигналов. То есть, так же, как и при ударе по поверхности земной толщи.

Возникшие в результате удара собственные колебательные процессы породных слоев-резонаторов действительно распространяются в земной толще, но не во все стороны, а исключительно в горизонтальном направлении, вдоль породных слоев-резонаторов, не выходя за их пределы. То есть, если мы получаем эхо-сигнал при сейсморазведочных работах, то он приходит не снизу, в чем убеждены сейсморазведчики, а сбоку. Он возникает в результате отражения собственного колебательного процесса от границы этого слоя-резонатора.

Что самое удивительное, так это то, что сейсморазведчики знают об этом. Я услышал об этом во время моего доклада в ИнФизАн в 2005-м году [Гликман, 2006]. Когда я это рассказывал, то ожидал в высшей степени отрицательную реакцию. А вместо этого, они рассказали мне об экспериментах, доказывающих этот эффект окончательно и бесповоротно.

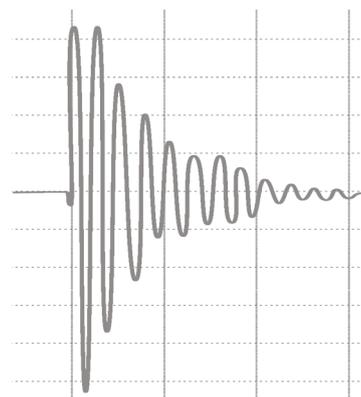


Рис. 3

На рис. 3 показан реальный сейсмосигнал, полученный в результате ударного воздействия на поверхность земной толщи. Это случай довольно редкий, когда возбуждается всего одна синусоида.

Мой рассказ будет неполным и не очень понятным, если я не расскажу о новом, неизвестном ранее, геологическом объекте, который можно выявлять с помощью метода спектрально-сейсморазведочного профилирования (ССП). Методика СПП состоит в том, что, делая измерения вдоль профиля с заданным шагом и спектрально преобразуя каждый сейсмосигнал, как это показано на рис. 2, получаем СПП-разрез. На рис. 4 показан один из таких разрезов.

Каждая вертикальная линия представляет собой спектральное изображение сейсмосигнала в конкретной точке профиля. Ось глубин (h) пересчитана из частотной оси в соответствии с выражением (1). В ряде случаев СПП-разрез содержит объекты, имеющие воронкообразный (V -образный) вид. Именно так проявляется на СПП-разрезах зона тектонического нарушения (ЗТН). На этом СПП-разрезе прорисованы две зоны тектонических нарушения. Одна зона в виде воронкообразного объекта на участке 24-32 м, а вторая – на участке 6-11 м профиля в виде двух отдельных образующих воронкообразных объектов. Воронкообразный объект – это нарушение без сдвига, а одна образующая воронки – это нарушение со сдвигом.

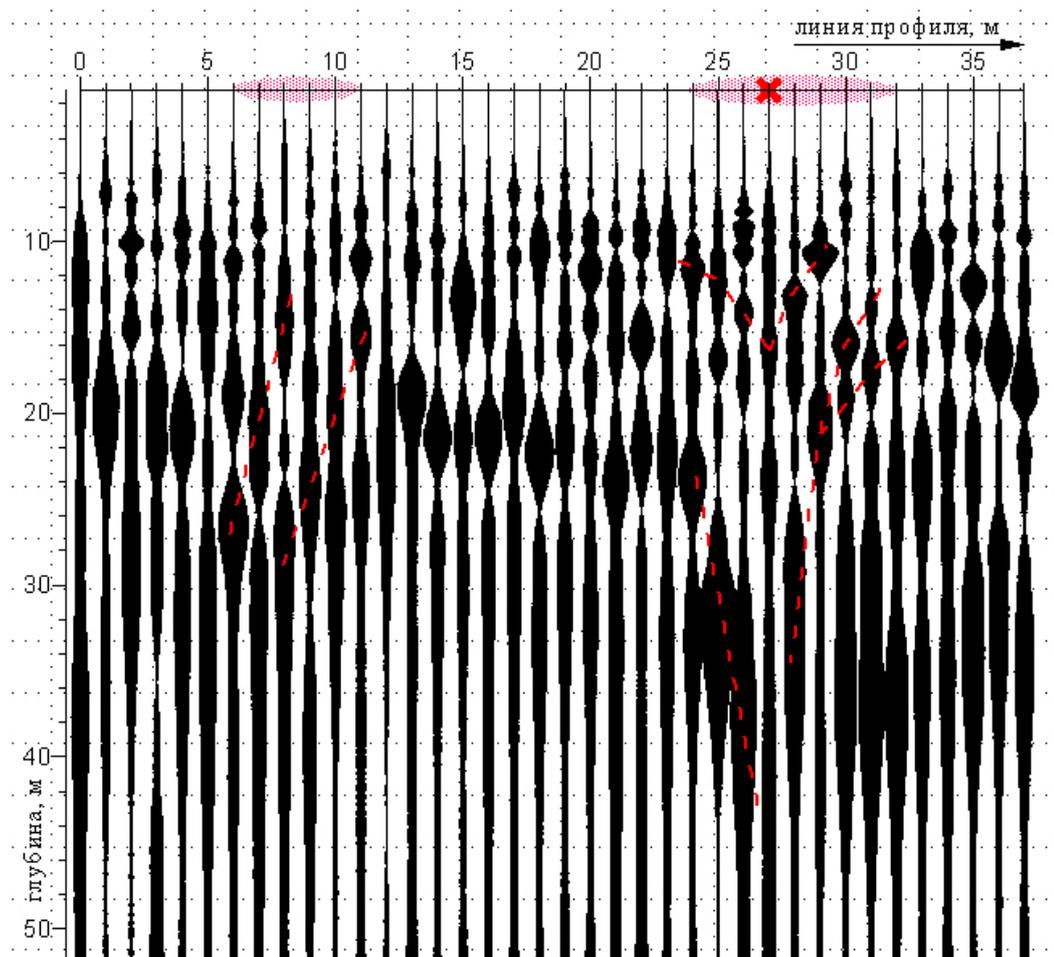


Рис. 4

О том, что это именно тектоника, было понятно по лавинообразному увеличению радона в этих зонах. Поначалу геологи воспротивились этому заявлению. И действительно, литературы по тектонике существует больше, чем достаточно, и во всех учебниках утверждается, что все геофизические методы позволяют выявлять тектонику. И поэтому, считали они, метод ССП является лишним и ненужным.

Очень странная точка зрения. Ведь известно, что различными методами невозможно получить одну и ту же информацию. И даже если действительно все геофизические методы выявляют ЗТН, то новый метод позволит изучать этот объект с какой-то другой стороны, и, следовательно, лишним он не будет. Кроме того, с помощью ССП было обнаружено несколько неизвестных ранее свойств зон тектонических нарушений, и тогда стало понятно, что если бы еще какой-то метод выявлял эти зоны, то свойства эти [Гликман, 2004] были бы обнаружены раньше.

Скажем больше. После нескольких лет изучения этого предмета стало ясно, что ССП является на сегодняшний день единственным аппаратным методом выявления и изучения зон тектонических нарушений. А это значит, что всё, что было написано в литературе о тектонике – не более чем умозрительные модели. Да, в шахтных условиях, на разрезах и обнажениях тектоника видна, но всяческие описания движения тектонических плит и т. п. – есть всего лишь вымысел. И всяческие тектонические модели происхождения землетрясений столь же недостоверны.

Размеры ЗТН могут быть самыми различными. Из тех, что встречались нам, это составляет от единиц метров, и до километра. Возможно, могут быть и большие размеры, но прежде чем это утверждать, надо их еще обнаружить. И концентрация ЗТН также может быть очень различной. Может оказаться несколько таких зон на площади буквально в 100 м^2 , а может быть так, что и на гектаре удастся найти всего одну зону.

Первое обнаруженное свойство зон тектонических нарушений заключается в том, что любое инженерное сооружение (ИС), оказавшееся в ЗТН, неизбежно разрушается. Причем это относится как к ИС, возведенным на поверхности Земли, так и в глубине (разного рода подземные выработки). Признак надвигающего разрушения – возникновение субвертикальных трещин в стенах дома. Как оказалось, причина разрушения – наличие планетарной пульсации, которая имеет место в ЗТН.

Планетарная пульсация давно известна геодезистам. Дело в том, что по современному уровню космической геодезической техники, возможно определение собственного местонахождения с точностью до 1 мм. Но есть такие места, где установить репер с точностью, более высокой, чем несколько см, невозможно. Причина этого заключается в том, что амплитуда планетарной пульсации может достигать 10 см. Однако увидеть ее без специальной аппаратуры невозможно, так как период этой пульсации – минуты. Таким образом, фундамент дома, оказавшийся частично в ЗТН, испытывает знакопеременные изгибные деформации, что приводит к образованию вертикальных трещин в стенах и, в конечном итоге, к разрушению дома.

Планетарная пульсация проявляется только в ЗТН, и разрушает не только ИС, но и горные породы, находящиеся в ЗТН. Поэтому породы в ЗТН находятся в весьма нарушенном состоянии. Геологи знают, что есть некие зоны, при попадании в которые скважиной буровой инструмент не только не испытывает противодействия со стороны пород, но даже и проваливается, в том числе, и на очень значительных глубинах. Разрушенный в ЗТН грунт имеет пониженную несущую способность, а отсюда и «пизанские башни», и постоянно проваливающиеся крылечки и незалечиваемые выемки в дорожном покрытии.

Далее, как оказалось, колебательные системы, залегающие в пределах ЗТН, имеют такие свойства (в частности, добротность Q [Гликман, 2010]), что резонансные разрушительные явления происходят именно в этих зонах. Если вне ЗТН добротность колебательных систем, залегающих в земной толще, составляет единицы, то в ЗТН она может достигать нескольких сотен.

При больших значениях Q резонансные разрушения происходят очень бурно, взрывоподобно. Либо сооружение проваливается в грунт (что чаще всего), либо вибрирующее устройство срывается со ступоров, либо его подбрасывает (в горных выработках такой сценарий развивается чаще всего), либо горная выработка резко обрушивается и горные породы заваливают всё и всех, находящихся там. Называют такие события горными ударами. Думаю, что их следует называть техногенными землетрясениями, и вот почему.

Практически на всех семинарах, посвященных проблемам землетрясений, можно услышать, что всем землетрясениям предшествует некая очень низкочастотная вибрация, рост амплитуды которой обрывается сейсмособытием. Получается, что и природные землетрясения тоже имеют резонансную природу?! Ну, вообще-то, это естественно. Если объект – колебательная система, то и всё, что с ним происходит, должно быть обусловлено этим. Но что, же тогда является источником вибрации в

случае природного землетрясения? В случае техногенного землетрясения источником вибрации являются различные механизмы. Как удалось выяснить, в случае природного землетрясения источником вибрации является планетарная пульсация.

Планетарная пульсация – принципиально нестационарный процесс. Она всё время изменяется как по амплитуде, так и по частоте, и когда ее частота приближается к собственной частоте, залегающей в данном месте (в данной ЗТН) колебательной системы, начинается рост амплитуды, который обрывается сейсмолочком. Будет повторный толчок или нет, зависит от характера изменения частоты планетарной пульсации. Если она после первого толчка какое-то время остается неизменной, то амплитуда пульсации опять начнет расти, и опять достигнет того же значения, что и первый раз, и повторный толчок будет той же силы. Если частота уйдет достаточно далеко и/или амплитуда пульсации уменьшится, то повторный толчок если и будет, то значительно слабее, чем первый.

Отсюда следует, что давно возникшая гипотеза о том, что животные чувствуют приближение землетрясения по возникновению низкочастотной вибрации, оказывается верной. И если сейсмоопасные зоны обеспечить датчиками сверхнизкочастотной вибрации, то, надо полагать, проблема оперативного прогноза землетрясений будет решена.

Сейсмологам известна зависимость, показанная на рис.5.

A – амплитуда низкочастотной вибрации, и рост ее начинается примерно за трое суток до толчка.

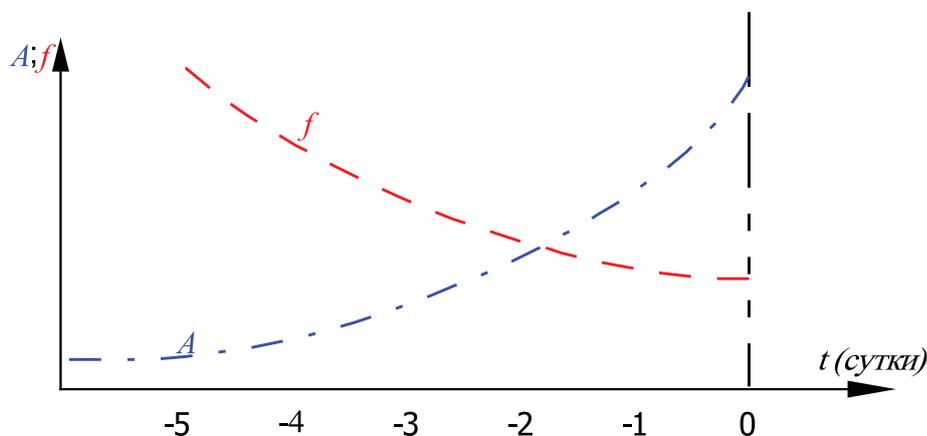


Рис. 5

Много лет сейсмологи ищут причину того, что перед толчком частота вибрации f изменяется. Но все сразу станет ясно, если подойти с другой стороны. Это с приближением частоты планетарной пульсации к собственной частоте залегающей в земной толще колебательной системы увеличивается амплитуда вибрации.

Подтверждением изложенного здесь подхода может оказаться следующий момент. Если планетарная пульсация проявляется только в ЗТН, то значит, разрушительное действие землетрясения распространяется только на эти зоны. И действительно, при любом, сколько угодно сильном землетрясении среди полной разрухи встречаются отдельные здания, в стенах которых полностью отсутствуют какие-либо трещины.

В 2007 году был обследован храм Ваграмаберд в Гюмри. Обойдя ССП-профилем по контуру, мы увидели, что ЗТН находится лишь на очень малом участке профиля.

И при осмотре стен, увидели, что только в пределах этого участка в стенах храма имеются трещины. Эти трещины возникли при землетрясении 1988-го года. И вообще, Гюмри представляет собой интереснейший полигон для изучения этого явления. До сих пор можно видеть, что половина дома разрушена, а половина – даже без трещин в стенах, и там живут люди.

Вывод здесь очень простой. В сейсмоопасных районах следует выбирать участки для строительства, на которых отсутствуют ЗТН.

Если сравнивать между собой потери от техногенных и природных землетрясений, то наибольшие потрясения исходят именно от землетрясений техногенных. Эпицентры природных землетрясений зачастую приходятся на пустынные места, на океаны, тогда как техногенные землетрясения всегда бьют по болевым точкам – электростанциям, насосным станциям...

За последние пятьдесят лет в десять раз увеличилось как энергообеспечение Земли, так и потери от техногенных катастроф. Всё правильно, самые тяжелые последствия возникают от аварий на электростанциях. То есть, техногенные катастрофы – это конкретный тормоз развития нашей цивилизации. В большинстве же своем, техногенные катастрофы есть следствие техногенных землетрясений.

Техногенные землетрясения, по сути, являются лабораторной моделью природных землетрясений. Я однажды случайно наблюдал процесс развития упругого резонансного процесса. Это было при демонстрации работы 30-тонного излучателя «вибросейс», в поселке Быстровка, на полигоне Института Геофизики Новосибирского Академгородка. При плавном увеличении частоты его вибрации, при приближении частоты к 10Гц, излучатель, установленный на железобетонной станине, начал подпрыгивать. Высота его «подпрыгивания» стала увеличиваться, и его быстро обесточили.

Как мне пояснили, этот излучатель имеет такое свойство, что после его включения и приближении к какой-то частоте, он начинает прыгать, и если его не обесточить, то он спрыгнет со станины, что и было, когда это случилось первый раз. После этого его назвали кузнечиком. К сожалению, моё объяснение, что это не является свойством излучателя, а происходит потому, что в точке его установки в земной толще находится колебательная система, частота которой оказалась равной той частоте, на которой прыгает излучатель, воспринято не было.

К сожалению, когда речь заходит о колебательных системах, залегающих в земной толще, сейсморазведчики информацию не воспринимают. А вместе с тем, было бы очень здорово с помощью такого вот излучателя исследовать параметры возрастания амплитуды колебаний при различных факторах. Это дало бы возможность создать методику точного прогнозирования момента и силы сейсмолчка.

Пересмотр свойств нашей планеты за время развития нашей цивилизации происходил несколько раз. Сначала Земля из плоской превращалась (в нашем сознании) в круглую, затем она стала вращаться вокруг Солнца вместо того, чтобы быть центром мироздания. Каждый раз эти изменения нашего сознания происходили в течение веков, и сопровождались многими драматическими историями, хотя никаких реальных изменений для землян это не несло.

Переход к Земле как совокупности колебательных систем, с позиций физики, аналогичен переходу от эры постоянного тока к эре электродинамики. Открытие колебательного контура оказалось спусковым механизмом для столь стремительного взлета уровня нашей цивилизации. Какие последствия вызовет переход нашего

сознания от статических взаимодействий с грунтом к динамическим, сказать нельзя, но то, что прекратятся техногенные землетрясения, и будет создана надежная система прогноза природных землетрясений – это точно.

Литература

1. Гликман А.Г. О некоторых разновидностях упругих колебательных систем. <http://www.newgeophys.spb.ru/ru/article/uprugie-kolebatelnye-sistemy/>, НТФ «ГЕОФИЗПРОГНОЗ», Санкт-Петербург, 2013.
2. Гликман А.Г. Сейсморазведка – это очень просто. <http://www.newgeophys.spb.ru/ru/article/seismic.shtml>, «Жизнь и Безопасность», Санкт-Петербург, 2003 г.
3. Гликман А.Г. О структуре поля упругих колебаний при сейсмоизмерениях. // Геофизика XXI столетия: 2005 год. Сборник трудов Седьмых геофизических чтений имени В.В. Федынского (3-5 марта 2005 г., Москва). – Москва.: Научный мир. – 2006. – 496 с., с.348-354.
4. Гликман А.Г. Свойства зон тектонических нарушений (ЗТН). <http://www.newgeophys.spb.ru/ru/article/tectonic/index.shtml>, «Жизнь и Безопасность», Санкт-Петербург, 2004 г.
5. Гликман А.Г. Колебательные системы вокруг нас. http://www.newgeophys.spb.ru/ru/article/oscillatory_systems/, НТФ «ГЕОФИЗПРОГНОЗ», Санкт-Петербург, 2010.

PHYSICS OF TECHNOGENIC AND NATURAL EARTHQUAKES

© 2013 A. G. Glickman

GEOFIZPROGNOZ, 62-139, Sverdlovskaya NAB. Russia, 195027, St. Petersburg,
e-mail: agg@newgeophys.spb.ru, geophysprognos@rambler.ru.

Once the frequency of vibration on the surface of the Earth is approaching a natural frequency in the ground vibrational system starts growing vibration amplitudes that can reach enormous levels and cause the destruction of a vibrating object.

Keywords: vibration, natural frequency.



Оганесян С.М., Заалишвили В.Б., Карапетян Дж.К., Мельков Д.А.

ИТОГИ

І МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ПО СОВРЕМЕННЫМ ЗАДАЧАМ ГЕОФИЗИКИ, ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ И СЕЙСМОСТОЙКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА, ПОСВЯЩЕННАЯ 70-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ НАН РА

С 12 по 16 мая 2013 года в Республике Армения прошла I Международная конференция молодых ученых по современным задачам геофизики, инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства, посвященная 70-летию основания НАН РА, организованная под почетной эгидой Президента Республики Армения по программе поддержки молодых ученых, президиума Национальной академии наук Республики Армения (НАН РА), Фонда «развития науки» НАН РА, Государственного комитета по науке Армении, Института Геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА.



Открытие конференции



Участники конференции перед зданием НАН РА

Главными организаторами конференции выступили Совет молодых ученых Института геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА (председатель к.г.н. Джон Карапетян) и Совет молодых ученых НАН РА (председатель к.ф.-м.н. Геворг Варданян).

В работе конференции приняли участие более ста ученых и специалистов в области геологии, геофизики, географии, сейсмологии, инженерной сейсмологии, сейсмостойкого строительства, сейсмической защиты, геоинформационной и спутниковой технологии из США, России, Казахстана, Белоруссии, Молдовы, Узбекистана, Дагестана, Индии, Ирана и др.

Открытие Конференции состоялось 13 мая 2013 г. в зале заседаний Президиума Национальной Академии наук РА. Участников конференции тепло приветствовал Президент НАН РА академик Р. М. Мартиросян, пожелавший Конференции плодотворной работы. С приветственными словами и поздравлениями выступили почетные сопредседатели Конференции – Академик-секретарь НАН РА чл.-корр. НАН РА Г. Г. Матевосян, академик-секретарь отделения химии и наук о Земле, чл.-корр. НАН РА Л. А. Тавадян, директор ИГИС НАН РА, чл.-корр. НАН РА С. М. Оганесян, директор ЦГИ ВНЦ РАН и РСО-А д.ф.-м.н., проф. В. Б. Заалишвили, председатель оргкомитета к.г.н. Джон Карапетян, заместители председателя оргкомитета – председатель совета молодых ученых НАН РА к.ф. – м.н. Геворг Варданян, чл. корр. Международной Академии Информатизации, Российской федерации, заведующий кафедрой «Геодезии» КАТУ (Казахстан) к.т.н. Жанар Аукажиева, к.т.н. Дмитрий Мельков и Борис Дзедобоев (Совет молодых ученых ЦГИ ВНЦ РАН и РСО-А). Все выступавшие отметили высокий уровень поддержки молодых ученых в Республике Армения.

О деятельности НАН РА в связи с 70-летием основания выступил с докладом член корр. НАН РА С. М. Оганесян. С поздравлением и приветствием от имени



Подписание договора

Центра геофизических исследований Владикавказского научного центра Российской Академии наук и Правительства Республики Северная Осетия-Алания выступил д.ф.-м.н., проф. В.Б. Заалишвили. В своем выступлении он, в частности, отметил огромную роль руководства НАН РА, во главе с выдающимся ученым, академиком Радиком Мартиросовичем Мартиросяном, который в тяжелейших политических и

социальных условиях сумел не только не растерять традиционные высокие устремления, сформированные усилиями выдающихся советских и армянских ученых И. А. Орбели, В. А. Амбарцумяна и многих других, но и создать условия для реализации научного потенциала маститых и молодых ученых. Армянская наука по праву гордится своими достижениями в области физики, астрономии, математики, геологии, геофизики, в том числе, сейсмологии, инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства.

Молодость и богатая история – вот что отличает науку Армении! В этой связи весьма знаменательно проведение международной Молодежной конференции по очень важной для Кавказа теме: «Современные задачи геофизики, инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства».

О задачах и программе работы I международной конференции молодых ученых выступил председатель оргкомитета к.г.н. Джон Карапетян. Особенно было отмечено, что одной из основных задач конференции было вовлечение молодых сотрудников в проведение научных работ и самостоятельное выступление с докладами.

Во время торжественного открытия конференции был подписан меморандум о партнерстве и сотрудничестве между Советом молодых ученых АО «Казахский Агротехнический университет им. С. Сейфуллина» и Советом молодых ученых национальной академии наук республики Армения.

Одновременно были оглашены итоги участия проекта молодых ученых ИГИС НАН РА, ИРФ НАН РА и Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина, (г. Астана) по программе «Межгосударственное сотрудничество в научной и научно-технической сфере (совместные исследования с Национальной Академии наук Армении) на тему: «Геоинформационные системы дистанционного сейс-



Подписание меморандума



У мемориала жертв геноцида армян

сейсмических воздействий, исследованию очагов землетрясений, определению энергии, механизма и процессов разрывообразования, напряженно-деформированного состояния очаговой зоны, разработке теоретических и методических основ геофизических методов поисков и разведки полезных ископаемых, загрязнению территории тяжелыми металлами и вопросам экологии, методам составления обобщенных палеомагнитных шкал, динамической квазистационарной модели магнитного поля.

Было показано, что инструментальные записи движений грунтов при последних сильных землетрясениях еще раз подтвердили необходимость актуализации карт сейсмического районирования и микрорайонирования территорий стран СНГ. Было отмечено, что указанная проблема тесно переплетена с вопросами разработки новых расчетных схем колебаний зданий и сооружений и новой теорией сейсмостойкости с учетом значительных величин сейсмических ускорений, которая дает удовлетворительные результаты расчетов, возникающих в сечениях расчетных перерезывающих сил.

Обсуждены некоторые принципиальные вопросы отдельных положений СНиП, разработок эффективных методов оценки количественных параметров сейсмического воздействия и т. д.

Остро поставлен вопрос о необходимости разработки современных надежных систем инструментального мониторинга сейсмической безопасности ответственных инженерных сооружений.

Особое внимание было обращено на необходимость создания современных средств передачи информации от наблюдательных систем в пункты обработки данных, в том числе и спутниковых, за опасными геодинамическими объектами (оползни, карсты, обвалы и т. д.).

Большинство секционных докладов вызвали большой интерес у слушателей, было задано большое количество вопросов к докладчикам, на которые были получены убедительные и полные ответы. Кон-

зации и связи на железнодорожном транспорте» – Дочернее общество ОАО «РЖД») и т. д.

В представленных докладах поднимались актуальные задачи, имеющие научное и практическое значение по различным аспектам инженерной сейсмологии, сейсмостойкого строительства, геофизики, разведочной геофизики.

Особое внимание было уделено проблеме оценки сейсмической опасности и риска, мерам оценки



Экскурсия в Гарни

ференция показала достаточную степень подготовленности молодых участников конференции. В каждой секции были определены победители и призеры научного конкурса.

Научные дискуссии, прошедшие на заседаниях, позволили обсудить наиболее актуальные проблемы и перспективные направления развития геофизики, инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства. Молодые исследователи получили ценные рекомендации по результатам своих исследований. Председатели секций отметили высокий уровень представленных докладов.

По итогам конференции опубликован сборник ее научных трудов, включающий 70 статей.

Участники конференции:

- Отметили необходимость более тесного межведомственного и международного сотрудничества, обмена информацией по вопросам геофизики, инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства, продолжение существующих и организацию новых межгосударственных программ и проектов.

- Призывают научные, научно-практические и другие организации всех стран усилить внимание к проблемам изучения и минимизации последствий природных катастроф.

- Предлагают Национальной академии наук Армении, Комитету по науке МОН, министерствам и другим ведомствам создать специальные государственные научные программы в области геофизики, инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства для обеспечения безопасности населения Армении от природных катастроф, а также поддержать проведение научных и научно-практических конференций и семинаров, посвященных фундаментальным и прикладным задачам сейсмологии, инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства.

- Рекомендуют для повышения уровня научно-исследовательских работ магистров научным руководителям в ходе постановки задачи определять проблему исследования; широко использовать различные методы научного исследования и т. д.;

- Считают, что необходимо провести очередную вторую международную научную конференцию по современным задачам геофизики, инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства в 2014 году.

- Выражают благодарность программе поддержки молодых ученых под высшей эгидой Президента Республики Армения, Национальной академии наук Армении, отделению химии и наук о Земле, Совету молодых ученых НАН РА, Фонду «развития науки» НАН РА, Государственному комитету по науке Армении, институту геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА за содействие в организации и проведении международной научной конференции.

Участники конференции отмечают большую значимость проведенной работы, способствующей установлению новых творческих связей и объединению научно-технического потенциала стран СНГ и зарубежья для решения актуальных задач геофизики, инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства. Большое внимание должно быть уделено развитию инновационной инфраструктуры, совершенствованию наблюдательной системы и подготовки молодых научных кадров.

Участники конференции отметили высокий уровень организации конференции и выразили глубокую благодарность ее Оргкомитету.

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 (кегль 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 отсылка содержит сведения о нескольких ссылках, группы сведений разделяют знаком точка с запятой. В отсылке 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 языке);
- полное название организации – место работы каждого автора в именительном падеже, страна, город (на русском и английском языке). 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
(№2. 2013г.)**

Подписано в печать 24.06.2013 г. Формат 60×84 1/8.

Усл. печ. лист 7,8. 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.

Главный редактор

д.ф.- м.н., проф. В.Б. Заалишвили (ЦГИ ВНЦ РАН и РСО-А)

Заместитель главного редактора

д.ф.- м.н., проф. И.А. Керимов (КНИИ РАН)

Редакционный совет

академик РАН В.А. Бабешко (ЮНЦ РАН)

академик РАН А.Д. Гвишиани (ГЦ РАН)

академик РАН М.Ч. Залиханов (ГУ ВГИ)

академик РАН Ю.Г. Леонов (ГИН РАН)

академик РАН С.А. Федотов (ИФЗ РАН)

член-корр. РАН А.В. Николаев (ИФЗ РАН)

Редакционная коллегия

д.г.- м.н., проф. М.Г. Бергер (ЦГИ ВНЦ РАН и РСО-А)

д.г.- м.н. Р.М. Багатаев (Дагестаннедра)

к.г.-м.н. М.Г. Даниялов (ДФ ГС РАН)

д.т.н. П.Е. Марченко (КБНЦ РАН)

д.т.н., проф. И.Д. Музаев (ЦГИ ВНЦ РАН и РСО-А)

д.г.- м.н., проф. С.Г. Парада (ЮНЦ РАН)

д.г.- м.н., проф. Н.И. Пруцкий (ОАО «Кавказгеолсъемка»)

д.г.- м.н., проф. Е.А. Рогожин (ИФЗ РАН)

д.ф.- м.н., проф. Ю.К. Чернов (СевКав ГТУ)

д.г.- м.н. В.И. Черкашин (ИГ ДНЦ РАН)

Ответственный секретарь

к.т.н. Д.А. Мельков (ЦГИ ВНЦ РАН и РСО-А)

Выпускающий редактор

Л.Н. Невский (ЦГИ ВНЦ РАН и РСО-А)

Журнал издается с 2011 года.

Периодичность издания -

4 номера в год

Учредители:

Владикавказский научный центр РАН и РСО-А

Дагестанский научный центр РАН

Кабардино-Балкарский научный центр РАН

Южный научный центр РАН

Комплексный научно исследовательский институт РАН

Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А

ISSN 2221-3198

Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» – 29119

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

© Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А, 2013

© Заалишвили В.Б. (ред.), 2013