

УДК 550.33.550.837.3

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Исходные данные

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

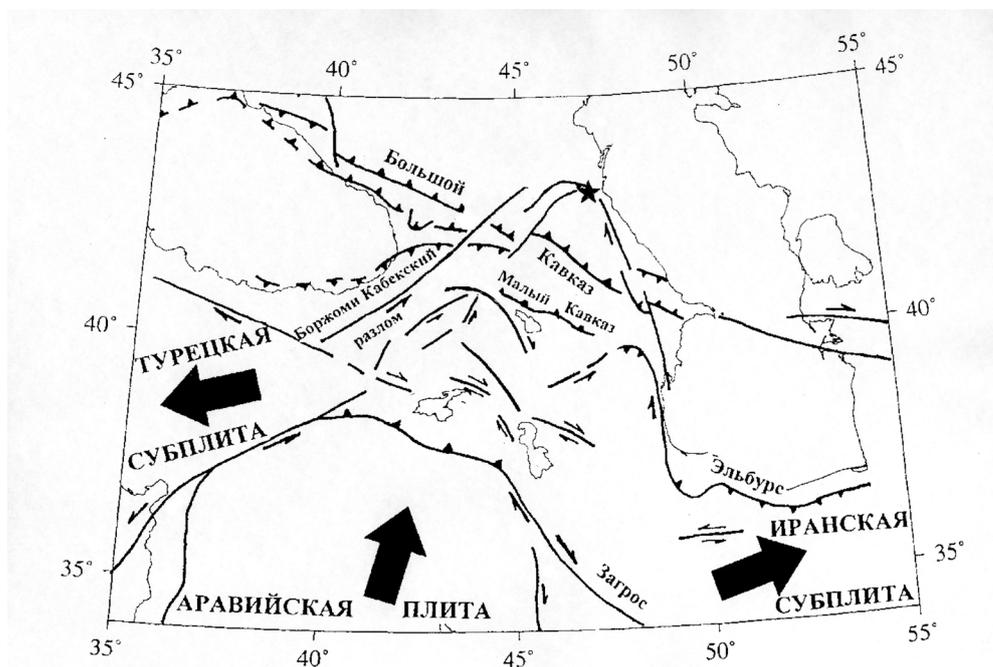


Рис. 1. Схема пункта наблюдений за кажущимся сопротивлением, разломов и движения субплит (пункт наблюдений отмечен звездочкой)

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

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

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

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

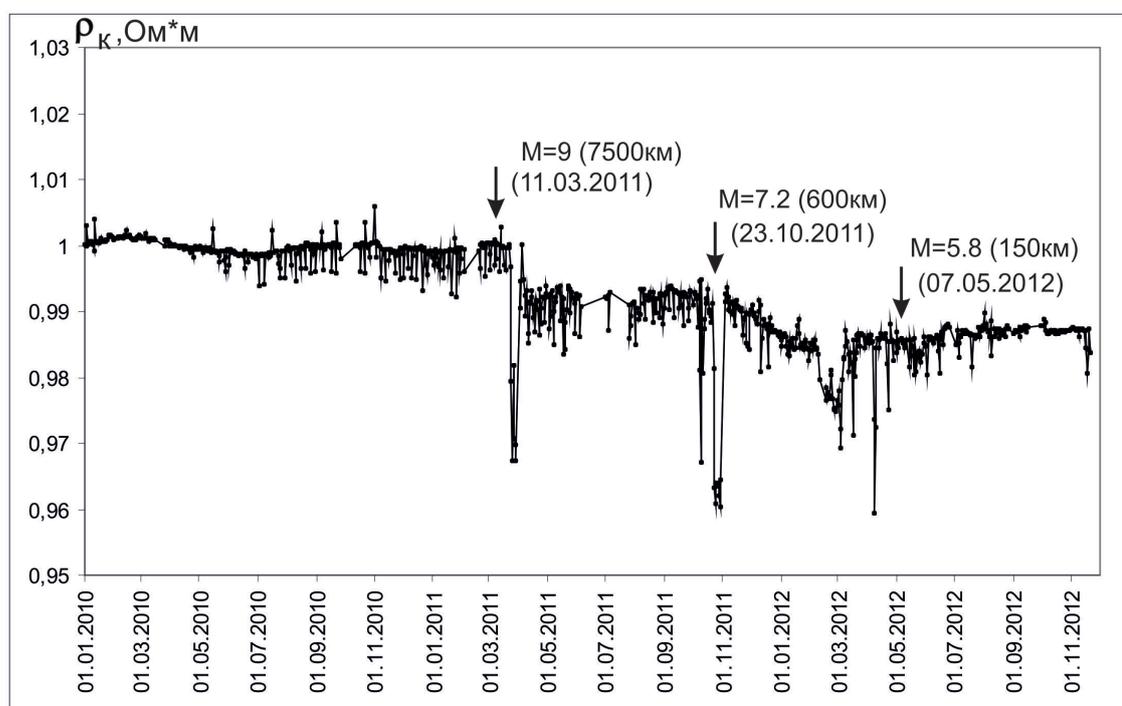


Рис. 2. График кажущегося сопротивления, полученный на станции «Избербаш» в период сильных землетрясений в Японии 11.03.2011, Турции 23.10.2011 и Азербайджане 07.05.2012 (в скобках указаны эпицентральные расстояния и числа землетрясений)

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

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

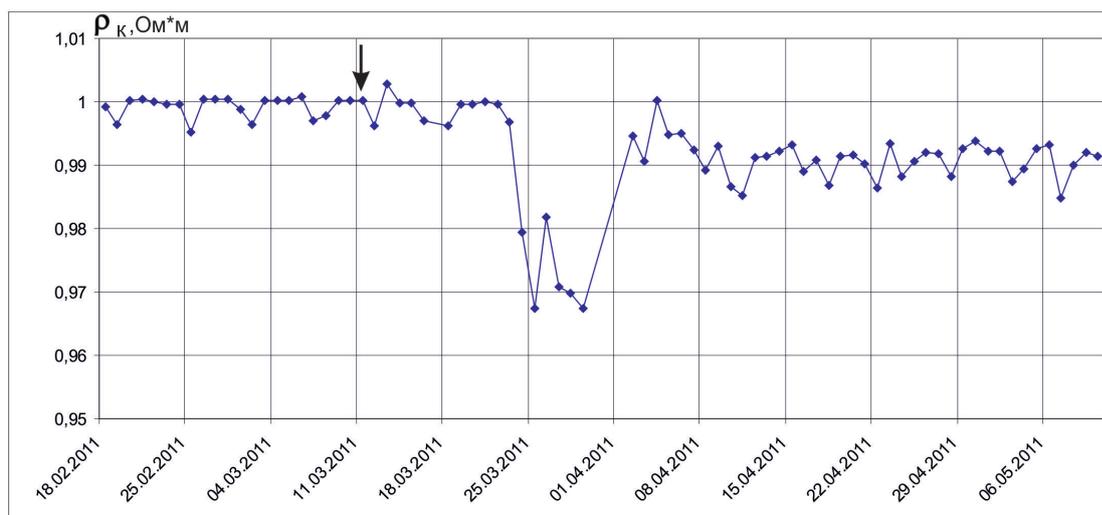


Рис. 3. Фрагмент графика кажущегося сопротивления до и после мегаземлетрясения в Японии 11.03.2011 (время землетрясения отмечено стрелкой)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

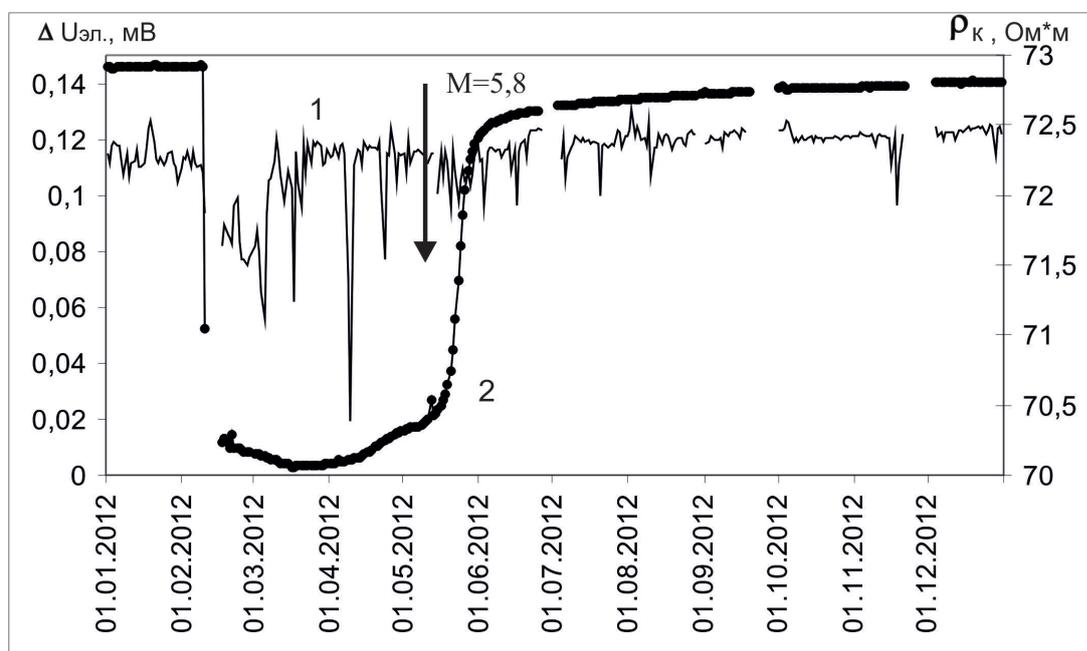


Рис. 4. Графики кажущегося сопротивления (1) и электрического поля (2) в скважине на станции «Избербаш» перед землетрясением в Азербайджане с $M=5,8$ (стрелкой отмечено время главного толчка)

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

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

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

Выводы

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

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

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

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

Литература

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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