

УДК 627.51; 550.334; 556

DOI: 10.23671/VNC.2014.3.55447

СЕЙСМО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА

© 2014 Ш.Г. Идармачев, д.ф.-м.н., М.М. Алиев, к.ф.-м.н.,
А.Г. Магомедов, И.Ш. Идармачев

ФГБУН Институт геологии Дагестанского научного центра РАН, Россия, 367030,
г. Махачкала, ул. Ярагского, д. 75. E-mail: idarmachev@yandex.ru

В работе рассмотрены современная сейсмичность и возможные геодинамические модели сжатия осадочной толщи Южно-Каспийской впадины, которые позволяют объяснить феномен резкого изменения уровня Каспия.

Ключевые слова: сильные землетрясения, осадочный чехол, деформация пород.

Введение

Каспийское море является самым крупным континентальным водным бассейном Земли, обладающим основными чертами геологии дна мирового океана. Поэтому изолированность Каспийского моря приводила к значительным изменениям его уровня: так, например, по археологическим и другим данным за последние 500-700 тыс. лет уровень менялся от -140 до $+50$ м по БС (Балтийская система выот), т. е. амплитуда колебания уровня достигала до 190 м [Дадашев и др., 2013]. Со временем амплитуды колебаний уменьшились – например, в голоцене последние 10 тыс. лет понижение уровня составило -50 мБС. За последние 2 тыс. лет уровень повысился на 7 м. С тех пор как начали проводить систематические измерения уровня воды с 1840 по 2010 гг. максимальная амплитуда изменения составляет 3 ± 0.5 м. Внутри данного периода наблюдается резкое уменьшение уровня, начиная с 1930 по 1977 гг., а затем также резко увеличивается с 1977 по 1995 гг.

Понимая, что основным фактором изменения уровня Каспийского моря является баланс приходной и расходной части, этой проблемой заинтересовались и геологи [Антипов и др., 1996; Артюшков, 2007]. По мнению [Артюшков, 2007] образование глубоководной впадины Южного Каспия началось с образования более плотных частей земной коры (эклогит), которая начала погружаться в мантию, с последующим образованием осадочной толщи с мощностью 20-25 км. Согласно [Леонов, Волож, 2004] существенное влияние на эволюцию осадочных бассейнов оказывает образование, состав и движение геофлюидов, в основном подземных седиментационных вод, являющихся главным агентом переноса и перераспределения вещества и тепла в осадочных бассейнах.

Подземные воды осадочных бассейнов, по типам связей между жидкой и твердой фазами, подразделяются на свободные и химически связанные. По данным, приведенным в работе [Зверев, Костикова, 2013] в осадочной толще Каспийского бассейна содержится $11,9 \times 10^{20}$ г химически и физически связанных и свободных подземных вод, из которых на последние приходится почти $7,4 \times 10^{20}$ г, что практически на порядок превышает массу воды Каспийского моря ($0,78 \times 10^{20}$ г). Основная

масса этих вод ($5,3 \times 10^{20}$ г) сосредоточена в Южной впадине Каспия, максимальная глубина которой составляет 1200 м.

Отдельные авторы [Леонов и др., 1998] считают, что значительные колебания уровня Каспия связаны с активизацией тектонических напряжений, например, под действием горизонтальных сжатий часть подземных вод, содержащихся в осадочной толще, может выделиться и поступать в Каспийское море. Согласно [Зверев, Костикова, 2013] для среднего подъема уровня Каспия на 0,25 м необходимо лишь $0,1 \times 10^{18}$ г, что более чем на три порядка меньше массы физически связанных и свободных вод, содержащихся в осадочном чехле Южной части Каспия. Однако данная теория позволяет объяснить только повышение уровня в результате поступления воды из осадочного чехла, но допустить возможность обратного процесса, связанного с резким понижением уровня Каспия, механизмом растяжения осадочной толщи не представляется возможным.

Как известно активизация тектонических напряжений в регионе тесно связана с сейсмическим режимом [Уломов и др., 1999; Алиев и др., 2014], поэтому представляется интересным рассмотреть некоторые аспекты, связанные с сейсмичностью территории Каспия и прилегающих к нему районов.

Материалы и обсуждение результатов

На (рис. 1) представлена карта эпицентров землетрясений с магнитудами $M \geq 3,5$, произошедших в Каспийском регионе за последние 5 лет, полученная по данным Американской системы глобального сейсмического мониторинга [<http://www.iris.edu/seismon/>].

На нее нанесены некоторые элементы из работы [Уломов и др., 1999], согласно которым стрелками показаны направления движения Восточной части Кавказской геологической структуры и Иранской плиты на Северо-восток. В этих условиях территория, занимающая Каспийским морем, оказывается зажатой между Скифско-Туранской эпигерциальной платформой и Иранской плитой. Наиболее интересной является зона, простирающаяся вдоль Большого Кавказа, Центрального Каспия и Копетдага. Как видно на (рис.1) в этой зоне основная масса эпицентров сосредоточена на Северо-Восточном склоне Кавказа. Большинство очагов землетрясений имеет глубину до 30 км, отдельные из них достигают глубины 70-150 км. Относительно большее количество более глубоких землетрясений сосредоточено в центральной части Каспия.

Согласно геодинамической модели [Уломов и др., 1999] литосфера Южного Каспия погружается под Скифско-Туранскую плиту, что вызывает накопление упругих напряжений, а землетрясения способствуют их релаксации. Следует также отметить некую особенность распределения эпицентров землетрясений для Южного Каспия. В основном очаги расположены по береговой части, образуя здесь кольцевую структуру. Центральная часть Южного Каспия характеризуется асейсмичностью.

Механизм расположения очагов землетрясений вдоль береговой зоны Южного Каспия может быть связан с тем, что здесь сосредоточена основная масса воды Каспийского моря. Давление, оказываемое весом воды на дно, вызывает его прогибание, при этом максимальные касательные напряжения в земной коре концентрируются на краях водной нагрузки.

Давление Иранской плиты в направлении юго-восток приводит к деформации

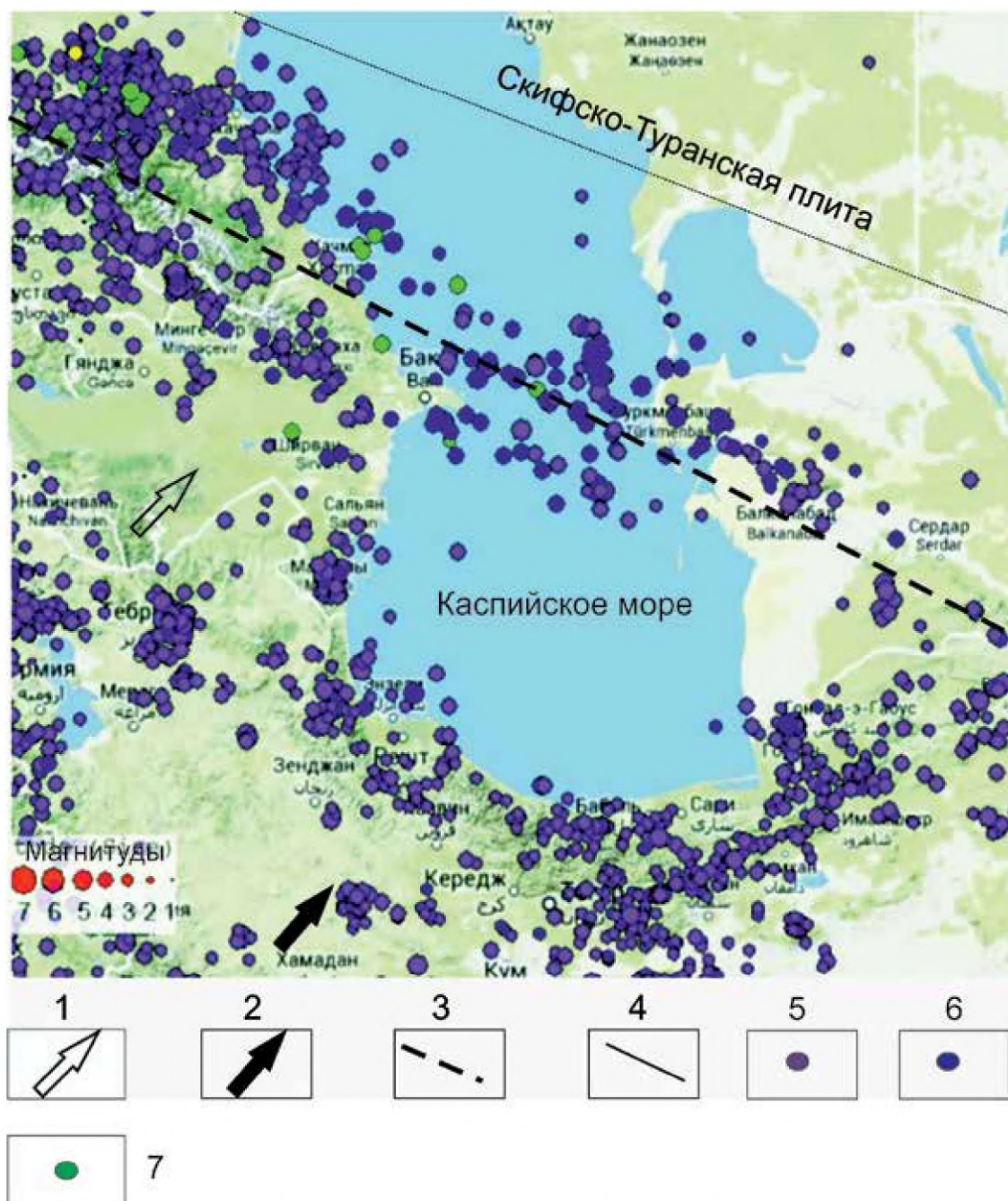


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Каспийского региона за период 2008-2010 гг.: 1 – направление движения Восточного Кавказа; 2 – то же территории Ирана; 3 – зона Большого Кавказа, Центрального Каспия и Копетдага; 4 – граница Скифско-Туранской платформы; 5 – эпицентры землетрясений глубинами до 30 км; 6 – то же от 30 до 70 км; 7 – то же от 70 до 150 км

пород в ослабленных трещинных зонах на краях водной нагрузки, что и определяет здесь повышенный фон сейсмической активности относительно центральной части.

Асейсмичность центральной части Южного Каспия характеризует ее монолитность, при этом давление, оказываемое Иранской плитой, заставляет ее деформироваться. При горизонтальном сжатии осадочного чехла происходит его расширение по вертикали, вызывая поднятие дна Каспийского моря. При достижении упругих

напряжений в земной коре пределов прочности по контуру Южно-Каспийской впадины происходит релаксация напряжений, которая сопровождается увеличением сейсмической активности, в том числе и в субдукционной зоне Среднего Каспия.

На (рис. 2) показано изменение уровня Каспийского моря за период 1840-2010 гг. взятое из работы [Дадашев и др., 2013]. На нем стрелками отмечены времена сильнейших землетрясений с магнитудами $M \geq 6.5$, происшедшие в Каспийском регионе и на Кавказе, взятые из работ [Гвишиани и др., 2013]. На данном рисунке видно, что в период резкого повышения уровня воды на 2.5 м совпадает с увеличением числа сильных землетрясений.

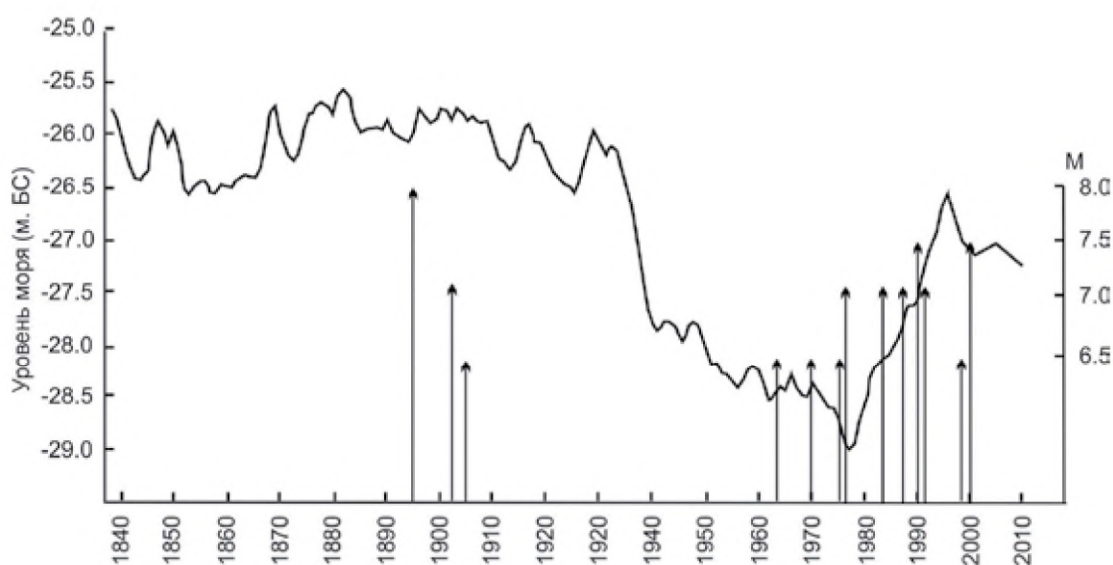


Рис. 2. График уровня моря и сильных землетрясений с магнитудами $M=6.5-8.0$ в Каспийском регионе за период 1838-2010 гг.

По мнению [Уломов и др., 1999] изменение уровня Каспийского моря имеет связь с современными тектоническими движениями и региональной сейсмичностью. Согласно предложенной им геодинамической модели, сейсмической активизации предшествует изгиб дна Южно-Каспийской впадины и появление «избытка» воды в море. И, наоборот, после крупных землетрясений и погружения соответствующих участков земной коры в зоне субдукции Центрального Каспия следует общий спад его водной поверхности. Действительно из (рис. 2) следует, что после катастрофического землетрясения $M=7.9$, которое произошло на восточном побережье Каспия, вначале наблюдается резкое снижение уровня на 1.8 м, а затем медленно продолжает падать еще на 1.2 м.

Отдельные исследователи Кавказского региона предлагают следующую модель тектонических движений плит (рис. 3). Аравийская плита, двигаясь на Север, оказывает давление на Турецкую и Иранскую плиты, которые в свою очередь давят на Кавказ. По данным векторным GPS картам [Шевченко и др., 1999] Северный Иран и Закавказье перемещаются на Северо-восток со средней скоростью в год 15-20 мм. Из этого можно сделать вывод о том, что бассейн Каспийского моря также испытывает последствия такого движения плит, при этом, оказавшись зажатым между Скифско-Туранской платформой, Кавказом и Иранской плитой будет деформироваться как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях.

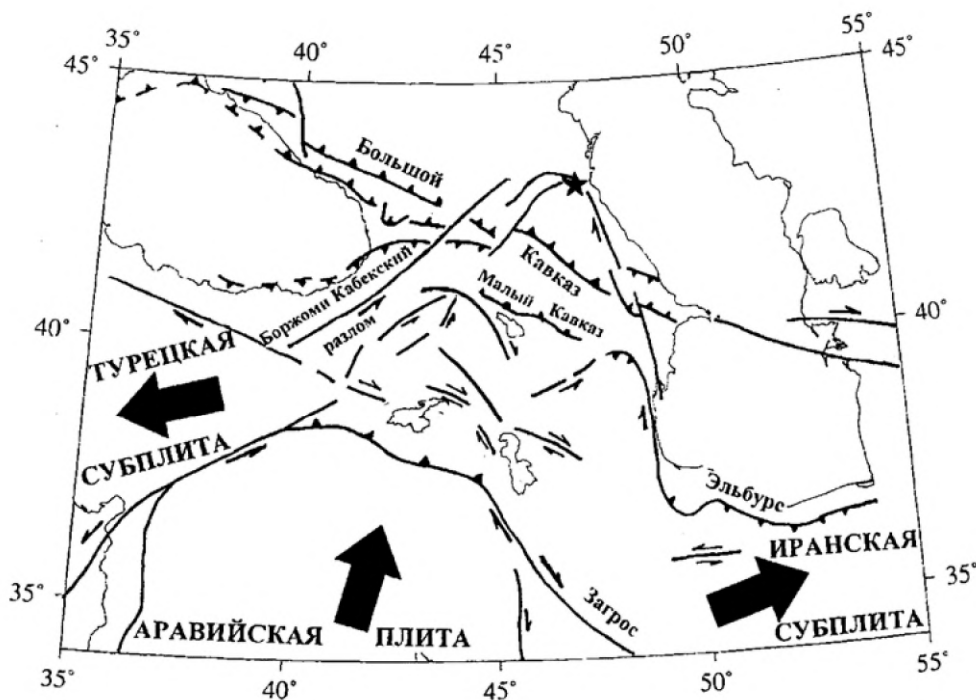


Рис. 3. Геодинамическая схема движения Аравийской, Иранской и Турецкой плит

Оценки, сделанные В.И. Уломовым [Уломов и др., 1999] для модели сжатия земной коры, где не учитываются упругие свойства пород, т. е. рассматривается чисто геометрическая модель, показали, что сжатие осадочной толщи Южно-Каспийской впадины в горизонтальном направлении на 0.01 м приводит к поднятию дна, примерно, на 10 м.

Нами была рассмотрена другая модель сжатия осадочной толщи Южного Каспия с учетом упругих параметров горных пород, за период 1978-1995 гг., когда наблюдалось резкое увеличение уровня воды в Каспийском море. Упрощенная модель расчета представляет собой прямоугольник с длиной $l=400$ км и шириной $h=20$ км. Ширина его соответствует толщине осадочного чехла бассейна Южного Каспия, а длина – протяженности по направлению Запад-Восток. Для численных расчетов использовалась формула для определения коэффициента Пуассона

$$\mu = \frac{\Delta h}{h} \bigg/ \frac{\Delta l}{l}, \quad (1)$$

где $\Delta h/h$ – относительная деформация поперек образца; $\Delta l/l$ – относительная деформация вдоль образца. По формуле (1) находим абсолютное значение деформационного расширения образца. Для нашего случая это будет равно утолщению осадочного чехла, т. е. поднятию дна Южного Каспия.

$$\Delta h = \frac{\mu \cdot \Delta l \cdot h}{l}. \quad (2)$$

Для осадочных пород величина μ находится в пределах 0.2-0.4. Считая скорость сжатия осадочного чехла Южного Каспия равной 20 мм/год, определяем суммарную величину сжатия за период 1978-1995 гг. ($20 \times 18 = 360$ мм, или 0.36 м). Подставляя в формулу (2) численные значения: $\mu=0.2-0.4$, $\Delta l=0.36$ м, $l=400000$ м, $h=20000$ м получаем $\Delta h=0.0036-0.0072$ м. Сделанные оценки показывают, что модель горизон-

тального упругого сжатия осадочного чехла Южного Каспия по закону Пуассона не может объяснить феномен резкого подъема уровня Каспийского моря в результате тектонических деформаций земной коры в данном регионе.

Рассмотрим еще одну возможную модель сжатия осадочного чехла, основанную на данных лабораторных исследований по деформированию и разрушению образцов горных пород. В основе данной модели лежит известный эффект увеличения объема пород в процессе сдвиговой деформации – дилатансионного расширения в результате образования трещин. Разрушение породы происходит при достижении относительной деформации образца $\Delta V = 10^{-3}$. Оценим предельную величину возможного изменения объема осадочного чехла Южно-Каспийской впадины в результате его «дилатансионного» расширения. Допуская, что размеры осадочного чехла равны $400000 \times 400000 \times 20000$ м, получаем величину объема $V = 32 \times 10^{14}$ м³. Тогда $\Delta V = V \times 10^{-3}$, т.е. $\Delta V = 32 \times 10^{11}$ м³.

Поднятие дна осадочного чехла Южно-Каспийской впадины приведет к увеличению уровня моря, которое будет равно

$$h = \Delta V / S, \quad (3)$$

где h – высота увеличения уровня Каспийского моря; ΔV – изменение объема воды в Южно-Каспийской впадине; S – площадь Каспийского моря. Подставляя численные значения $\Delta V = 32 \times 10^{11}$ м³, $S = 45 \times 10^{10}$ м² получаем $h = 7$ м. Отсюда следует, что модель дилатансионного расширения осадочного бассейна Южно-Каспийской впадины позволяет объяснить резкие колебания уровня Каспийского моря.

Обратный процесс снижения уровня Каспийского моря можно объяснить упругой деформацией горизонтального расширения дна в результате снятия сжимающих тектонических напряжений после сильных землетрясений в регионе.

Не исключается также влияние изменения флюидодинамического режима осадочного чехла Южного Каспия, так как процесс дилатансии сопровождается изменением трещинного объема пород. Раскрытие трещин в массиве пород приводит к увеличению его проницаемости и как следствие к увеличению вертикальных флюидных потоков свободных вод из осадочного чехла в море.

Выводы

1. Показано, что основная масса эпицентров землетрясений в Каспийском регионе за последние 5 лет сосредоточена на Северо-Восточном склоне Кавказа. Относительно большее количество глубоких землетрясений ($h = 70$ - 150 км) располагается в срединной зоне, которая разделяет Каспий на Южный и Северный части. В Южной части Каспия очаги землетрясений расположены по береговой части, образуя здесь кольцевую структуру. Центральная часть резко отличается своей асейсмичностью.

2. В Каспийском регионе происходят сильнейшие землетрясения с магнитудой $M = 8$. В период аномального скачкообразного увеличения уровня моря произошла серия сильных землетрясений с магнитудами $M = 6.5$ - 7.5 .

3. Рассмотрена модель дилатансионного расширения осадочного чехла Южно-Каспийской впадины, которая позволяет объяснить интенсивные колебания уровня Каспия на несколько метров.

Литература

1. Алиев И. А., Идармачев Ш. Г., Абдуллаев Ш.-С. О. и др. Уровенный режим Каспийского моря, его связь с вариациями сейсмичности территории Дагестана и изменениями некоторых геофизических параметров // Почвы аридных территорий и проблемы охраны их биологического разнообразия. Тр. Института геологии Дагестанского НЦ РАН. Махачкала. 2014. С.306-310.
2. Антипов М. П., Волож Ю. А., Лаврушин Ю. А., Леонов Ю. Г. Геологические события и изменение уровня Каспийского моря // Геоэкология. 1996. №3. С. 38-50.
3. Артюшков Е. В. Образование Южно-Каспийской впадины в результате фазовых переходов в нижней части континентальной коры // Доклады РАН. 2007. Т. 416. №5. С. 647-652.
4. Гвишиани А. Д., Дзэбоев Б. А., Агаян С. М. О новом подходе к распознаванию мест возможного возникновения сильного землетрясения на Кавказе // Физика Земли. 2013. №6. С. 3-19.
5. Дадашев А. М., Поставик П. В., Яготинцев В. Н. Уровень Каспийского моря в настоящем и будущем // Мониторинг. 2013. №4 (17). С.17-26.
6. Зверев В. П., Костикова И. А. Еще раз о возможности влияния подземных вод на изменение уровня Каспия // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2013. №4. С. 316-322.
7. Леонов Ю. Г., Волож Ю. А. Осадочные бассейны: методика изучения, строение и эволюция. М.: Научный мир. 2004. 526 с.
8. Леонов Ю. Г., Антипов М. П., Волож Ю. А. и др. Геологические проблемы колебания уровня Каспийского моря // Глобальные изменения природной Среды. Новосибирск, Изд. СО РАН. 1998. С. 39-57.
9. Уломов В. И., Полакова Т. П., Медведева Н. С. Динамика сейсмичности бассейна Каспийского моря // Физика Земли. 1999. №12. С. 76-82.
10. Шевченко В. И., Гусева Т. В., Лукк А. А. и др. Современная геодинамика Кавказа (по результатам GPS измерений и сейсмотектоническим данным) // Физика Земли. 1999. №9. С. 3-18.
11. «<http://www.iris.edu/seismon/>» (27.02.2014).

DOI: 10.23671/VNC.2014.3.55447

SEISMIC GEODYNAMIC PROCESSES CASPIAN REGION

2014 Sh.G. Idarmachev, Sc. Doctor (Phys.-mat.), I.A. Aliev, Sc. Candidate (Phys.-mat.), A.G. Magomedov, I.Sh. Idarmachev

Institute of Geology, Dagestan scientific center of RAS, Russia

The article considers the seismic geodynamic model of compression sedimentary strata of the South Caspian depression, which allows to explain the phenomenon of abrupt changes in sea level as a result of dilatancy expansion of the sedimentary cover.

Keywords: strong earthquakes, sedimentary cover, deformation of rocks.