

УДК 551.242.1:550.348

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2017

## О СВЯЗЯХ ОЧАГОВ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ И МЕЛКОФОКУСНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С ТЕКТОНИЧЕСКИМИ РАЗЛОМАМИ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ МЕТОДОМ ОБЩЕЙ ГЛУБИННОЙ ТОЧКИ

Н.П. Юсубов

Национальная академия наук Азербайджана. Институт нефти и газа (AZ1000, Азербайджан, г. Баку, ул. Ф. Амирова, 9)

## CONNECTIONS BETWEEN INTERMEDIATE & SHALLOW-FOCUS EARTHQUAKES AND TECTONIC FAULTS BASED ON DATA OF CDP SEISMIC SURVEY METHOD

Namaz P. Yusubov

Azerbaijan National Academy of Sciences. Oil and Gas Institute (9 F. Amirov st., Baku, Azerbaijan, AZ1000)

Получена / Received: 24.07.2017. Принята / Accepted: 05.10.2017. Опубликовано / Published: 01.12.2017

### Ключевые слова:

очаг землетрясения, гипоцентр, эпицентр, субдукция, земная кора, литосферные плиты, мелкофокусные землетрясения, промежуточно-фокусные землетрясения, глубокофокусные землетрясения, континентальная кора, тектонические разломы, зона коллизии, тектоническая энергия, геофизические исследования скважин (ГИС), метод глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ), метод общей глубинной точки (МОГТ).

### Key words:

earthquake focus, hypocentre, epicentre, subduction, earth crust, lithospheric plates, shallow-focus earthquakes, intermediate-focus earthquakes, deep-focus earthquakes, continental crust, tectonic faults, collision zone, tectonic energy, well logging, deep seismic sounding (DSS), method of common depth point (CDP).

Территория Азербайджана, расположенная в центральной части средиземноморского подвижного пояса, характеризуется высокой сейсмичностью, грязевым вулканизмом, широким развитием оползневых процессов, контрастным характером современных вертикальных и горизонтальных движений, имеющих место в осадочной части геологического разреза.

Статья посвящена результатам исследований особенностей связи землетрясений с тектоническими движениями, охватывающими мезозойский и кайнозойский интервалы геологического разреза. Работа выполнена при комплексной интерпретации данных методом общей глубинной точки (МОГТ) сейсморазведки; геофизических исследований в скважинах (ГИС); вертикального сейсмического профилирования (ВСП), выполненного на площади исследования и ее периферии; сейсмологических наблюдений за период с 2003 по 2016 г. Комплексная интерпретация этих данных позволила построить несколько сейсмогеологических профилей в направлении, перпендикулярном оси Кавказских горных сооружений. Несколько профилей аналогичного направления (юго-запад – северо-восток) составлены и по акватории Каспийского моря. Разбиение геологического разреза на стратиграфические и литолого-фациальные интервалы по материалам сейсморазведки МОГТ было выполнено с использованием данных ВСП и ГИС.

Анализ динамических и кинематических параметров сейсмического волнового поля, зарегистрированных в районе исследования, показал, что напряженность тектонического процесса, начавшегося в мезозое (возможно палеозое), продолжалась до конца мела, несколько уменьшилась (разгрузилась) в начале кайнозоя и затем продолжилась в четвертичном периоде. Сейсмическая активность региона свидетельствует о продолжении процесса и в настоящее время. По результатам совместной интерпретации данных сейсмологии и сейсморазведки МОГТ установлено, что мелкофокусные землетрясения в предгорных районах Азербайджана происходили и происходят под влиянием глобальных тектонических процессов, создающих продолжительную геодинамическую напряженность в верхней части (до глубины 12 км) осадочного комплекса отложений. Совместная интерпретация данных сейсморазведки МОГТ и сейсмологии указывает на наличие в зоне сочленения Южно-Каспийской впадины и Абшероно-Прибалханского порога зоны коллизии, интерпретируемой некоторыми исследователями как зона субдукции.

Анализ накопленного в период с 1985 по 2015 г. геологического и геофизического материала указывает на необходимость пересмотра тектонической карты нефтегазоносных районов республики и ее связи с картой сейсмичности территории.

The territory of Azerbaijan located in the central part of the Mediterranean mobile belt is characterized by high seismicity, mud volcanism, widespread slumps and contrast character of modern vertical and horizontal movements occurring in the sedimentary part of the geological section.

The paper contains results of studies of the features of the connection of earthquakes and tectonic movements that cover the Mesozoic and Cenozoic intervals of the geological section. The work is carried out with a complex interpretation of data by the method of the common depth point (CDP) of seismic survey; well logging; vertical seismic profiling (VSP) performed on the study area and its periphery; observations of seismic for the period from 2003 to 2016. A comprehensive interpretation of the data allow to construct several seismogeological profiles in a direction perpendicular to the axis of the Caucasian mountain structures. Several profiles of a similar direction (SW–NE) were compiled along the Caspian Sea as well. The geological section is split into stratigraphic and lithologic-facies intervals based on CDP seismic data using VSP and well logging data.

Analysis of dynamic and kinematic parameters of the seismic wave field recorded on the area of interest showed that a tectonic process began in the Mesozoic (possibly Paleozoic) period, continued to the end of the Cretaceous, somewhat decreased (unloaded) at the beginning of the Cenozoic and then continued in the Quaternary period. The seismic activity of the region confirms that the process continues nowadays.

Based on the results of a joint interpretation of seismology and CDP seismic survey data it was established that shallow-focus earthquakes in the foothill regions of Azerbaijan occurred and occur under the influence of global tectonic processes that create a prolonged geodynamic tension in the upper part (to the depth of 12 km) of the sedimentary complex of deposits. Joint interpretation of CDP seismic survey data and seismology indicates the presence of a collision zone in the area of the junction of the South Caspian depression and Absheron-Pribalkhanskiy threshold, interpreted by some researchers as a subduction zone.

The analysis of geological and geophysical data accumulated during the period from 1985 to 2015 tells about the need to revise the tectonic map of the oil and gas bearing regions of the republic and its connection with the seismic map of the territory.

Юсубов Намаз Пути оглы – доктор геолого-минералогических наук, руководитель отдела геофизики больших глубин (тел.: +994 12 429 95 85, e-mail: nyusubov@gmail.com).

Namaz P. Yusubov – Doctor of Geology and Mineralogy, Head of the Department of Deep Geophysics (tel.: +994 12 429 95 85, e-mail: nyusubov@gmail.com).

## Введение

Исследованию связи произошедших в Азербайджане землетрясений с активными тектоническими зонами посвящены многочисленные работы на основе совместной интерпретации данных глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ), корреляционного метода преломленных волн (КМПВ) и сейсмологических наблюдений.

Периодически (1957, 1963, 1965, 1968, 1980, 1989 гг.) были составлены карты сейсмического районирования территории Азербайджана, при этом использовались данные ГСЗ и КМПВ, результаты обобщения разнообразной геологической и сейсмологической информации. Основным результатом этих работ является вывод о том, что очаги землетрясений имеют прямые связи с тектоническими разрывами. Материал по этой проблеме азербайджанских исследователей размещен на сайте Института геологии и геофизики при Национальной академии наук Азербайджана. Считается, что разломы являются ослабленными участками земной коры, вдоль которых временами происходит сброс накопленной упругой энергии.

Приведенный выше краткий обзор показывает, что идея связи очагов землетрясений с тектоническими разломами поддерживается многими, в том числе зарубежными, специалистами [1–3]. Согласно *гипотезе тектоники литосферных плит* (мобилизм), утверждение верно [4, 5]. Но на территории Азербайджана нет тектонических плит или блоков, по контактам которых располагались бы очаги землетрясений. К тому же здесь, согласно таблице, заимствованной из [5] с дополнением, и каталогу [6], происходят в основном мелко- и редко среднефокусные землетрясения, а последние наблюдаются в целом на каспийском секторе Азербайджана и на прилегающих к его берегам зонах.

### Распределение землетрясений по глубинам возникновения

Наименование	Диапазон глубин, км	В мире, %	В Азербайджане (2003–2016 гг.), %
Мелкофокусные	$h < 60$	80	95*
Промежуточные	$60 < h < 150$	15	5 (0,2)
Глубокофокусные	$h > 150$	5	0

Примечание: \* – с учетом числа слабых землетрясений за 2006–2010 гг.

Сопоставление результатов и выводов предыдущих исследований с картой (рис. 1) распределения эпицентров (характеризуется

мозаичностью) землетрясений, произошедших за период 2003–2016 гг., показывает, что однозначной связи между их очагами с известными (или предполагаемыми) тектоническими разломами не имеется. Как видно из рис. 1, эпицентры землетрясений занимают площади, расположенные вдоль линий тектонических разломов, характеризующихся в основном субвертикальной структурой. Глубины гипоцентров и плоскости разрывов также несопоставимы. Вывод получен нами с учетом всех параметров (амплитуда перемещения, наклон плоскости, глубина проникновения разрыва и др.) дизъюнктивных и пликативных дислокаций.

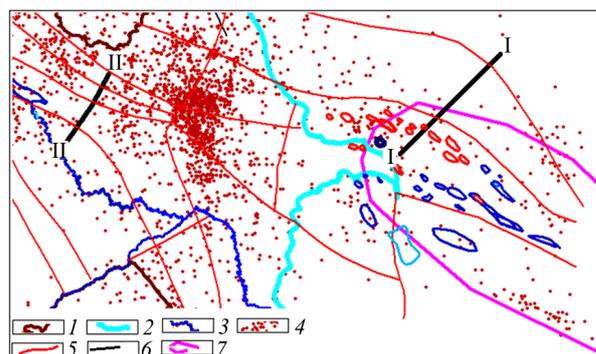


Рис. 1. Карта размещения тектонических линий и эпицентров землетрясений (по данным сейсмологической службы за 2003–2016 гг.). Масштаб: 1:3 700 000: 1 – государственная граница; 2 – береговая линия Каспийского моря; 3 – русло рек Кура и Аракс; 4 – эпицентры землетрясений; 5 – линии тектонических разломов, разрывов и флексур; 6 – линии сейсмических профилей; 7 – зона предполагаемой субдукции

### О промежуточно-фокусных и мелкофокусных землетрясениях

Результаты работ [7–16] позволяют, на первый взгляд, найти косвенную связь очагов промежуточно- и глубокофокусных землетрясений с глубинными тектоническими разломами, но только без подтверждения этого вывода фактическими данными.

Особо отметим вывод автора работы [7] о субдукционном происхождении очагов землетрясений на Южном Каспии. Автор работы делит район исследования на три условные блока – Кавказ-Талышский и Копетдаг-Туранский крайний и средний, относящиеся к Каспию и горным сооружениям Эльбруса. Он выдвигает гипотезу о том, что названные блоки под геодинамическим давлением деформируются и утолщаются, создавая горные сооружения. При этом неподдающийся складкообразованию участок

океанической коры Южного Каспия, испытывающая давление со стороны Эльбруса, погружается под континентальную кору Скифско-Туранской плиты в центральной части Каспия, на всем протяжении Челекен-Абшеронского порога. Вовлекаемая в движение вдоль зоны субдукции континентальная кора Северного Каспия испытывает изгиб и растяжение в своей верхней части. В результате этого образуются тектонические подвижки типа сбросов. Об этом свидетельствует и механизм сейсмических очагов в зоне субдукции. При этом автор работы [7] не рассматривает взаимоотношение между блоками. То есть для выполнения требуемых условий между блоками должны быть плоскости скольжения, обеспечивающие свободное перемещение блоков, пересекающих слои осадочного комплекса и глубже. Нам представляется, что предполагаемые автором события могли бы произойти при разделении этих блоков с тектоническими разрывами с протяженностью в несколько сотен километров, причем они должны охватывать всю литосферу. В районе исследования нет таковых вообще. Авторы работ [8–16], цитируя друг друга, также отмечают связь очагов землетрясений с этой зоной субдукции.

Не менее интересные результаты исследования обсуждаются в работе [12]: «... Многие ученые пришли к выводу о подвиге океанической литосферы Южно-Каспийской впадины под обрамляющие котловину горные сооружения Эльбруса. В эоцене в горной системе Эльбруса произошли мощные вулканические извержения, по-видимому, связанные с процессами субдукции плиты Южно-Каспийского моря. Проявление позднемиоценового – четвертичного вулканизма также отмечается исследователями. Структурные исследования в северной части Эльбруса свидетельствуют о том, что разломы на его границе с Южно-Каспийской впадиной являются компрессионными, связанными с поддвигом Южного Каспия под Эльбрус. Данные фокальных механизмов очагов землетрясений указывают главным образом на северо-восточную ориентацию осей сжатия. Огромная осадочная толща в Южно-Каспийской впадине, по-видимому, усилила погружение и подвиг бассейна. Геофизические данные, приведенные здесь, также свидетельствуют о процессах субдукции...».

Следует отметить, что все выводы в этих работах получены в основном по данным

гравиметрических исследований, выполненных в региональном масштабе.

Авторы работы [12] считают, что, кроме многочисленных коровых землетрясений, здесь фиксируются и верхнемантийные землетрясения. Максимальная глубина землетрясений в Абшеронском пороге достигает 90–100 км.

Однако, по данным сейсмологической службы Азербайджана, эпицентры произошедших около 50 мелко- и промежуточно-фокусных землетрясений попадают в предполагаемую в работах [7–16] зону субдукции (см. рис. 1). Они рассредоточены на площади размером около 22 000 км<sup>2</sup> без закономерности и делятся на две группы. Глубины первой группы гипоцентров колеблются в интервале 20–60 км, у второй группы они имеют значения 30–70 км.

Отметим, что глубины очагов этих землетрясений определены по показаниям сейсмостанций дальней зоны (в Каспийском море их нет) и по вертикальному годографу с определенными погрешностями, при учете которых эти глубины сократятся примерно в 1,5–2,0 раза. Правильность этого вывода доказывается в следующих частях настоящей работы.

Далее в работе [12] отмечается, что Каспийское море пересекает с севера на юг серию широтных структурных зон юго-восточной окраины древней (докембрийской) Восточно-Европейской платформы, молодой (эпигерцинской) Скифско-Туранской платформы и современного Альпийско-Гималайского орогенного пояса. В Южно-Каспийской впадине, являющейся южной половиной этого моря, мощность осадочного чехла достигает 25 км. Авторы без цитирования литературных данных (в литературе имеются многочисленные научно-исследовательские и производственные работы, посвященные к этой проблеме) утверждают, что часть этой толщи мощностью 10 км составляют плиоцен-четвертичные отложения. Ниже распространены глинистые миоценовые и олигоценные отложения, с которыми связаны корни грязевых вулканов. По утверждению авторов работы [12], в разрезе Южно-Каспийской впадины имеется волновод (это видно по рис. 2, приведенному в статье), поднимающийся к земной поверхности в области Абшеронского порога и погружающийся под цепь Эльбруса. К области подъема кровли волновода (к поверхности) приурочены пониженные значения сейсмических скоростей в верхних горизонтах коры и интенсивное развитие

грязевого вулканизма. Вероятно, что флюиды отжимаются вдоль зоны волновода наверх, это и приводит к развитию здесь интенсивного грязевого вулканизма. По мнению авторов, в пользу предположения об участии глубинных горизонтов в питании грязевых вулканов свидетельствует то, что грязевые вулканы выносят на поверхность обломки меловых пород, залегающих существенно ниже накопившихся за эпоху лавинного осадконакопления молодых отложений, традиционно считающихся источником вещества для грязевого вулканизма. Отметим несколько моментов: 1. По данным азербайджанских исследователей (в том числе и автора статьи), обломки мезозойских отложений, в единичных случаях обнаруженные в продуктах грязевых вулканов, являются аллохтонами, т.е. они попадали в их корневые области из возвышенной части бассейна в результате оползневых или селевых процессов. 2. По линии профиля, приведенной в работе, до Абшеронского порога есть несколько линий, где имеются грязевые вулканы, которые количеством и интенсивностью проявления намного превосходят таковые в области Абшеронского порога. 3. Корни грязевых вулканов, имеющих на суходпутной и морской территориях Азербайджана, связаны с миоценовыми, более конкретно майкопскими, отложениями [17, 18].

В центральной части зоны субдукции, о которой говорится в работах [7–11, 13–16], нет ни одного эпицентра, т.е. землетрясения. По этой причине очаговые зоны землетрясений, произошедших на указанной территории, практически невозможно связывать с процессом субдукции. Кроме того, сопоставление указывает на разницу между линиями простирания предполагаемой субдукции, по данным упомянутых выше работ, что является доказательством субъективности мнений о наличии здесь зоны субдукции – гипотетическим предположением. К тому же, материалы сейсморазведки МОГТ показывают [19, 20], что по линии группы разломов, протягивающихся вдоль Северо-Абшеронской синклинали, юго-западный интервал коры надвигается (рис. 2) на северо-восточный – наоборот на  $180^\circ$ .

Анализ динамических и кинематических параметров сейсмического волнового поля, выполненный нами, показывает, что напряженность тектонического процесса, начавшегося в мезозое (возможно палеозое), продолжалась до конца мела, несколько уменьшилась (разгрузилась) в начале кайнозоя и продолжалась в четвертичном периоде

(рис. 3). Сейсмическая активность региона свидетельствует о продолжении процесса и в настоящее время. Иными словами, данные сейсморазведки МОГТ указывают на наличие здесь зоны коллизии, интерпретируемой, как нам представляется, не знакомыми с результатами сейсморазведки (2003–2016 гг.) исследователями как зона субдукции.

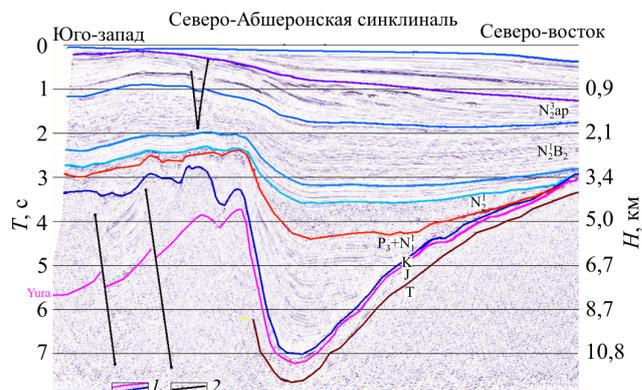


Рис. 2. Сейсмический временной разрез I–I (см. рис. 1). Кинематические и динамические особенности отраженного волнового поля свидетельствуют о том, что территория, где расположена линия сейсмического профиля, находится в зоне тектонической напряженности: 1 – поверхности размыва стратиграфических единиц по данным вертикального сейсмического профилирования, глубокого бурения и сейсморазведки МОГТ; 2 – тектонические разломы; T – двойное время, с; H – глубина, км

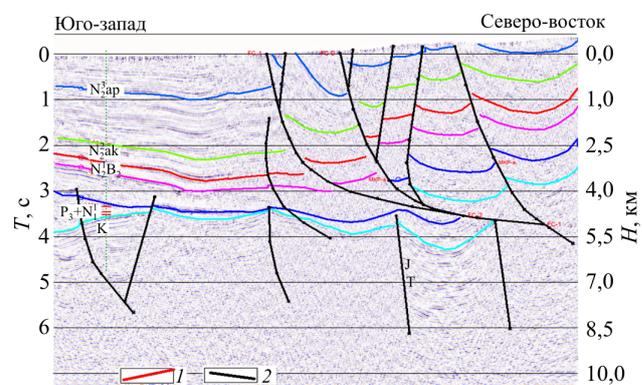


Рис. 3. Сейсмогеологический профиль II–II (см. рис. 1 и 2): 1 – поверхности размыва стратиграфических единиц по данным вертикального сейсмического профилирования, глубокого бурения и сейсморазведки МОГТ; 2 – тектонические разломы

К идентичному выводу пришли авторы работы [21] по результатам геологической интерпретации более точных данных сейсмологии, накопленных в основном за последний период. Один из основных выводов работы [21] такой: в зоне сочленения Южно-Каспийской впадины (ЮКВ) и Абшероно-

Прибалханского порога по сейсмологическим данным не наблюдается геолого-геофизических и сейсмологических признаков субдукции коры ЮКВ под край эпигерцинской платформы.

Следует отметить, что геолого-геофизические данные указывают на продолжение геодинамических процессов, заставляющих геологический разрез деформироваться (см. рис. 2 и 3). Изучение этого процесса должно продолжаться на базе современной геофизической информации, прежде всего сейсморазведки (МОГТ, КМПВ).

При поисках доказательства прямой связи мелкофокусных землетрясений с тектоническими разломами исследователь также сталкивается с проблемой, заключающейся в определении конкретного местоположения очага высвобождения тектонической энергии в реальной трехмерной геологической среде. Отметим, что собственный вес мелкофокусных землетрясений составляет около 95 % от общего количества землетрясений, произошедших в Азербайджане за период с 2003 по 2016 г.

Как правило, на геологическом разрезе зон размещения эпицентров (очагов) землетрясений нет ни одного тектонического разлома или между координатами эпицентров (или гипоцентров) землетрясений и линий разломов наблюдается разница 10 километров и более. Интересен и тот факт, что во многих случаях гипоцентры землетрясений, имеющие очень близкие значения по координатным осям  $X$  и  $Y$  (0,2–2,0 км), значительно отличаются по оси  $Z$  (3–6 км). Следует подчеркнуть, что вывод получен на основе исследования автора статьи и дополнен результатами анализа опубликованных [6, 20] работ (тектонических карт и карт распределения эпицентров землетрясений), относится в большей мере к мелкофокусным землетрясениям.

Недавно проведенные исследования [20] показали, что в некоторых случаях из-за неправильного выбора модели интерпретации геофизических полей, особенно гравиметрического, формировались неточные представления о тектоническом строении отдельных территорий Азербайджана. По мнению авторов работ [1, 22–25], наличие отдельных максимумов на фоне регионального минимума силы тяжести и другие геологические факторы свидетельствуют о наличии ряда глубинных разломов, образующих широкую дизъюнктивную зону на территории Азербайджана. Однако в работе [20] с использованием данных 2D- и 3D-сейсморазведки методом общей глубинной точки (МОГТ) показано, что на месте Западно-Каспийского глубинного разлома

(амплитудой до 1,5 км), указанного на ранее построенных тектонических картах с использованием данных ГСЗ-КМПВ и гравиметрических съемок, имеется флексура с амплитудой около 5,6 км. Расстояние между опущенным и поднятым крыльями этой флексуры по горизонтали достигает 25 км. Наклон ее смыкающего элемента составляет  $\approx 14$ –25 град. Иными словами, это флексура является северо-восточным бортом Саатлы-Геокчайской зоны поднятий, которая в районе русла р. Гирдиманчай меняет направление простирания на северо-запад и продолжается вдоль Алазано-Алятского разлома. Флексура находится на расстоянии  $\approx 5$  км северо-восточнее от линии разлома, показанной на тектонических картах. На продолжении Западно-Каспийского глубинного разлома в Прикаспийско-Губинской низменности нет ранее предполагаемой флексуры.

#### **Процессы, происходящие в геологической среде площади исследования**

На рис. 3 представлен один из сейсмо-геологических профилей, он составлен с использованием геолого-геофизической информации. Как видно из этого рисунка, по разрезу зона нарушения пластов охватывает широкую область на поверхности Земли (правая часть рис. 3) и внутри геологического разреза осадочного комплекса отложений.

Тектонические разломы, расположенные ниже поверхности мезозоя (сейсмический горизонт К), имеют маленькую амплитуду, плоскости их сдвига имеют вертикальную или субвертикальную ориентацию, они не продолжают (не переходят) на вышележащий этаж геологического разреза, что является прямым доказательством их неактивности в течение кайнозойской эры. Нам представляется, что в рассматриваемой области они образовались в конце мела и этот процесс завершился в раннем палеогене. Иными словами, в позднеальпийской стадии формирования Кавказа на рассматриваемой территории они не развивались. В то же время здесь мы наблюдаем продолжение процесса формирования поясов складчатого строения по кайнозойскому интервалу разреза по данным сейсморазведки МОГТ, при сокращении пространства в широкой полосе. Плоскости разломов выходят на поверхность Земли, что свидетельствует о молодом (современном) возрасте произошедших здесь тектонических процессов. По рис. 4 отчетливо видно, что в связи с движениями по продольным разломам и

надвигом рельеф района исследований осложнен молодыми локальными поднятиями, образующими ряд параллельно расположенных хребтов.

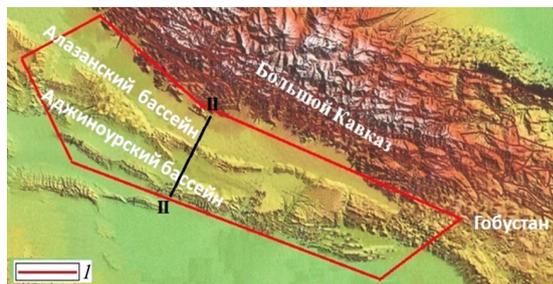


Рис. 4. Рельефная карта района исследования:  
I – контур площади изучения

Разломы, наблюдаемые по кайнозойскому этажу (см. рис. 3), не пересекают мезозойский интервал разреза. То есть они расположены только на уровне кайнозойских отложений и по их плоскости смещения северо-восточная часть осадочного чехла надвигается (скользит) на юго-западную. К северо-восточной части профиля углы наклона плоскостей смещения разломов увеличиваются, и начинается область, характеризующаяся надвиговыми процессами. Длина линий разломов в рамках площади исследований достигает 150 км.

Схожая ситуация имеет место и в центральной части сейсмического разреза (см. рис. 3) по кайнозойскому этажу, и при этом мезозойские отложения погружаются достаточно глубоко. К концу разреза поверхность размыва мезозойских отложений приобретает вогнутую форму. Здесь формируются взбросы, по плоскостям которых мезозойская часть начинает надвигаться на кайнозойский интервал разреза. По данным геологии и сейсморазведки (по параллельным к линии II–II сейсмическим профилям), таким тектоническим строением характеризуется территория, в юго-восточной части которой находится площадь исследования, длиной более 300 и шириной около 30 км.

Следует обратить внимание и на факт наличия здесь разломов с плоскостями скольжения вертикального, субвертикального и горизонтального направлений. Примечательно, что иногда разлом характеризуется всеми тремя элементами одновременно. Вышеприведенные описания особенностей геологического строения изучаемого региона позволяют сделать вывод, что здесь очаги землетрясений формируются внутри интервала осадочного чехла, толщина которого достигает приблизительно 15 км. Иными словами,

они формируются в результате надвигания одной массы на другую по плоскостям (см. рис. 2 и 3), имеющим наклонное или субвертикальное направление, охватывают огромные территории. Иногда перемещение масс происходит вдоль контактов [26] более молодых и компетентных пород (например, между поверхностью размыва мезозоя и подошвы кайнозоя). По этой причине прямые связи между координатами очагов землетрясений с линиями разломов не наблюдаются. Этот вывод подтверждается и данными сейсмологических наблюдений, по которым эпицентры произошедших здесь более 68 % землетрясений находятся на глубинах до 22 км, и при этом эта зона имеет ширину более 30 км по поверхности Земли. Несовпадение некоторых глубин гипоцентров при близких значениях координат их эпицентров объясняется, как видно из рис. 3, «многоэтажностью» блоков, разделенных разломами.

Следует отметить, что использованная при определении параметров землетрясений скоростная модель среды отличается от вычисленной нами по данным ВСП, по которым построены глубинные сейсмогеологические разрезы. Сопоставление этих кривых представлено на рис. 5. Расчеты показывают, что при учете этой разницы более 90 % очагов землетрясений будут перемещаться на меньшую, чем 15 км, глубину, что соответствует толщине осадочного чехла. Аналогичные выводы получены по результатам работы [26], где исследованы особенности сейсмичности других нефтегазовых областей Азербайджана. Эти выводы и результаты работы [27] подтверждают целесообразность использования скоростной модели, приведенной на рис. 5.

Каким образом формируются в рассматриваемом районе очаги землетрясений? Ответ на этот вопрос предложен в работе [28], где в соответствии с результатами исследования Л.М. Расцветаева [29] по изучению структурных парагенезов разрывных структур в сочетании с данными геофизических исследований основные разломы Большого Кавказа интерпретируются как субвертикальные, уходящие на глубину 60–80 км. Один из важных выводов этой работы таков: для Большого Кавказа складчатость возникает при сокращении пространства, но само сокращение может возникать в результате существенного погружения и приобретения породами нижних горизонтов континентальной коры свойств мантийных пород. В работе [28] приведен концептуальный профиль через

Большой Кавказ, показывающий пододвигание Закавказской плиты под Большой Кавказ. На этом профиле [28] основная пологая поверхность надвигания показана на глубине 5–10 км.

Результаты наших исследований на базе современных сейсмических материалов (см. рис. 4) подтверждают концептуальную геологическую модель региона, приведенную на этом профиле. Однако в районе исследований нет разломов, уходящих на глубину 60–80 км, как предполагается в работе [28]. По данным рис. 3 видим, что строение верхней части геологического разреза допускает выполнение необходимых условий, при которых перемещение ее блоков становится вполне возможным [30–32].

Следует отметить, что причины некоторых горизонтальных смещений поверхности Земли, обнаруженных GPS-измерениями [33], объясняют сейсмический разрез, приведенный на рис. 3.

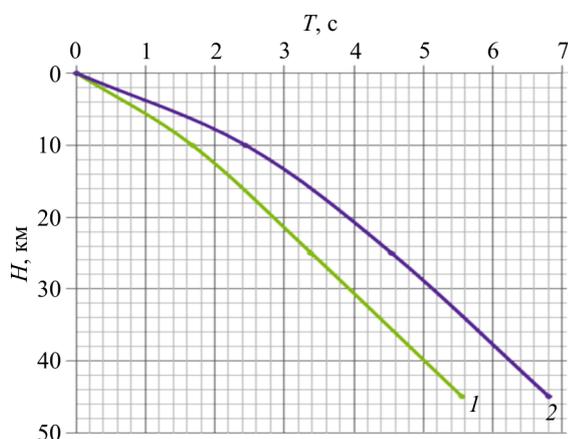


Рис. 5. Вертикальные годографы: 1 – использованный при определении глубины очага (гипоцентров) землетрясений; 2 – вычисленный по данным ВСП

Анализ динамических и кинематических параметров волнового поля по материалам сейсморазведки показывает, что сгущение эпицентров землетрясений и максимальная их интенсивность соответствуют в основном участкам сопряжения новейших структур, т.е. зонам контрастных движений и контрастного

рельефа. Эпицентры землетрясений приурочены к границе областей поднятий и относительных опусканий. Они расположены вдоль оси горного сооружения Большого Кавказа. В то же время эпицентры землетрясений представленной на рис. 1 карты распределены в мозаичном порядке. Нам представляется, что это связано: а) с неточностями расчетов в определении координат ( $X$  и  $Y$ ) эпицентров (по опубликованным материалам расчетные погрешности колеблются в пределах  $\pm 10$  км); в) охватом тектонических событий обширного пространства. Наглядным доказательством последнего вывода служит один из многочисленных сейсмогеологических профилей, приведенный на рис. 3.

### Выводы

1. В районе исследования более чем 90 % землетрясений происходили на глубине менее 15 км, что соответствует толщине осадочного комплекса отложений.

2. На рассматриваемой территории землетрясения формируются в результате надвигания одной массы на другую по плоскостям, имеющим наклонное или субвертикальное направления, охватывающим территорию размером  $300 \times 30$  км.

3. Сгущение гипоцентров землетрясений и максимальная их интенсивность в районе исследования соответствуют в основном участкам сопряжения новейших структур, образованных в результате пододвигания Закавказской плиты под Большой Кавказ.

4. Данные сейсморазведки МОГТ указывают на наличие вдоль Северо-Абшеронской синклинали зоны коллизии, интерпретируемой некоторыми исследователями как зона субдукции.

5. Анализ накопленного в период с 1985 по 2015 г. геологического и сейсморазведочного материала указывает на необходимость пересмотра тектонической карты нефтегазоносных районов и ее связи с картой сейсмичности территории республики.

### Библиографический список

1. Гаджиев Р.М. Глубинное геологическое строение Азербайджана. – Баку: Азгосиздат, 1965. – 200 с.

2. Аки К., Ричарде П. Количественная сейсмология. Теория и методы. Т. 1: пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 510 с.

3. Bullen K.E. On strain energy in Earth's upper mantle // Transactions, American Geophysical Union. – 1953. – Vol. 34, № 1. – P. 107–116. DOI: 10.1029/TR034i001p00107

4. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Наталин Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. – М.: Недра, 1990. – Т. 2. – 327 с.

5. Причины возникновения землетрясений и последствия. Природа землетрясений [Электронный ресурс]. – URL: fb.ru/article/178750/prichinyi-...11.04.15 (дата обращения: 15.05.2017).

6. Каталог сейсмопрогностических наблюдений на территории Азербайджана за 2006–2010 гг. – Баку: ELM, 2011. – 210 с.

7. Объемная сейсмогеодинамическая модель Каспийского региона [Электронный ресурс]. – URL: http://seismos-u.ifz.ru/personal/caspiy.htm (дата обращения: 15.05.2017).

8. Мамедов П.З. Особенности строения земной коры ЮКМВ // Геология Азербайджана. Нефть и газ. – 2008. – Т. VII. – С. 9–103.

9. Deep seismic exploration of the South Caspian Basin: Litospheric-scale imaging of the world's deepest basin / J.H. Knapp, C.C. Diaconescu, J.A. Connor, J.H. McBride, M.D. Simmons // AAPG's Intern. regional conf.: Abstr. Istanbul, Turkey, July 9–12, 2000. – Istanbul, 2000. – P. 35–37. DOI:10.1306/1205831St553248

10. Морфоструктура, новейшая тектоника и сейсмика на Кавказе [Электронный ресурс]. – URL: kmvline.ru/lib/kavkaz/4.php (дата обращения: 15.05.2017).

11. Gravity modeling and its implications to the tectonics of the South Caspian Basin / J.W. Granath, R.F. Soofi, O.W. Baganaz, E. Bagirov; ed. by P.O. Yilmaz, G.H. Isaksen // Oil and gas of the Greater Caspian area: AAPG Studies in Geology. – 2007. – 55. – P. 43–46. DOI:10.1306/1205832St55854

12. Модель глубинного строения Южно-Каспийской впадины [Электронный ресурс]. – URL: wdc.ru/sep/sedimentary\_basins/Caspsea/models/SCasp\_mod.ru.html (дата обращения: 15.05.2017).

13. Ашхабадское землетрясение 1948 года [Электронный ресурс]. – URL: olegyakupov.com/blog/?p=1232 (дата обращения: 15.05.2017).

14. Gravity modeling and its implications to the tectonics of the South Caspian Basin / J.W. Granath, K.A. Soofil, O.W. Baganz, E. Bagirov // AAPG's Intern. Regional Conf. – Turkey, 2000. – P. 46–50.

15. Jackson J.A., Priestley E., Allen M. Active tectonics of the South Caspian Basin // Centr. Asia Proj. Rep. – 2001. – Vol. 17. – P. 45. DOI: 10.1046/j.1365-246X.2002.01005.x

16. Priestley K., Patt on H., Schultz S. Modeling anomalous surface-wave propagation across the South Caspian Basin // Bull. Seismol. Soc. Amer. – 2001. – Vol. 91 (6). – P. 1924–1929. DOI: 10.1785/0120010118

17. Грязевые вулканы Азербайджанской ССР / А.А. Якубов, А.А. Ализаде, М.М. Зейналов [и др.]. – Баку: ЭЛМ, 1971. – 256 с.

18. Юсубов Н.П., Кулиев И.С. Сейсмическая модель грязевулканической системы // АНХ. – 2011. – № 3. – С. 12–20.

19. Глубинное строение осадочного чехла Северо-Абшеронской зоны поднятий и перспективы ее нефтегазоносности по данным сейсморазведки / Н.П. Юсубов, Г.А. Гулиев, А.Ю. Боровикова, Р.Л. Ахмедов // АНХ. – 2013. – № 10. – С. 9–15.

20. Юсубов Н.П. К вопросу о существовании Западно-Каспийского разлома // АНХ. – 2017. – № 4. – С. 12–17.

21. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря / И.Ф. Глумов, Я.П. Маловицкий, А.А. Новиков, Б.В. Сенин. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2004. – 342 с.

22. Мамедли Т.Я., Рогожин Е.А. О тектоническом характере зон сочленения земной коры Южно-Каспийской впадины и Скифско-Туранской плиты по данным сейсмологии // Вопросы инженерной геологии. – 2016. – Т. 43, № 2. – С. 5–16.

23. Керимов К.М., Новрузов А.К., Данешвар С.Н. Глубинные разломы и некоторые особенности размещения нефтегазовых месторождений в Южно-Каспийской мегавпадине // Bakı universitetinin xəbərləri. – 2012. – № 3. – С. 69–78.

24. Метаксас Х.П., Рзаев А.Г., Исаева М.И. Параметры сейсмической опасности Шамахи-Исмаиллинской очаговой зоны землетрясений // Каталог сейсмопрогностических наблюдений на территории Азербайджана. – Баку, 2011. – С. 314–321.

25. Каспий: происхождение, геодинамика и стратиграфия / В.Б. Агаев, Г.М. Гусейнов, Ш.Р. Баламедов, Э.Ф. Амиров // Bakı Universitetinin Xəbərləri. – 2006. – № 1. – С. 86–101.

26. Юсубов Н.П. Особенности сейсмичности нефтегазовых областей Азербайджана. – М.: Геофизика, 2012. – № 2. – С. 48–53.

27. Предварительные результаты пересмотра сейсмологических данных Кавказа / В.Ю. Бурмин, И.Б. Шмелева, Л.Д. Флейфель [и др.] [Электронный ресурс]. – URL: ifz.ru/fileadmin/user\_upload/subdivisions/506/... (дата обращения: 15.05.2017).

28. Яковлев Ф.Л. Владимир Владимирович Белоусов и проблема происхождения складчатости // Геофизические исследования. – 2008. – Т. 9, № 1. – С. 53–73.

29. Расцветаев Л.М., Маринин А.В. Соотношение поверхностной и глубинной структуры северо-западного Кавказа [Электронный ресурс]. – URL: resources.krc.karelia.ru/krc/doc... (дата обращения: 15.05.2017).

30. Daly M.C. Correlations between Nazca/Farallon Plate kinematics and forearc basin evolution in Ecuador // Tectonics. – 1989. – 8, № 4. – P. 769–790. DOI: 10.1029/TC008i004p00769

31. Seist E.L., Childs J.R., Scholl D.W. The origin of summit basins of the Aleutian Ridge: Implications for block rotation of an arc massif // Tectonics. – 1988. – 7, № 2. – P. 327–341. DOI: 10.1029/TC007i002p00327

32. Nur A., Ron H., Scotti O. Fault mechanics and the kinematics of block rotation // Geology. – 1986. – 14. – P. 746–749. DOI: 10.1130/0091-7613(1986)14<746:FMATKO>2.0.CO;2

33. Active geodynamics of the Caucasus region: implications for earthquake hazard assessment in Azerbaijan / F.A. Kadirov, M. Floyd, R. Reilinger, Ak.A. Alizadeh, I.S. Guliyev, S.G. Mammadov, R.T. Safarov // Proc. of Azerbaijan National Academy of Sciences. The Sci. of Earth. – 2015. – № 3. – P. 3–17.

## References

1. Gadzhiev R.M. Glubinnoe geologicheskoe stroenie Azerbaidzhana [Deep geological structure of Azerbaijan]. Baku, Azgosizdat, 1965, 200 p.

2. Aki K., Richarde P. Kolichestvennaia seismologiia. Toriia i metody [Quantitative seismology. Theory and methods]. Moscow, Mir, 1983, vol. 1, 510 p.

3. Bullen K.E. On strain energy in Earth's upper mantle. *Transactions, American Geophysical Union*, 1953, vol.34, no.1, pp.107-116. DOI: 10.1029/TR034i001p00107

4. Zonenshain L.P., Kuz'min M.I., Natalin L.M. Tektonika litosferykh plit territorii SSSR [Tectonics of lithospheric plates of the territory of the USSR]. Moscow, Nedra, 1990, vol.2, 327 p.

5. Prichiny vzniknoveniia zemletriaseni i posledstviia. Priroda zemletriaseni [Causes of earthquakes and consequences. The nature of earthquakes], available at: fb.ru/article/178750/prichinyi-...11.04.15] (accessed 15 May 2017).

6. Katalog seismoprognosticheskikh nabliudenii na territorii Azerbaidzhana za 2006-2010 gg. [Catalog of seismic prediction observations on the territory of Azerbaijan for 2006-2010]. Baku, ELM, 2011, 210 p.

7. Ob'emnaia seismogeodinamicheskaiia model' Kaspiiskogo regiona [Volumetric seismic geodynamic model of the Caspian region], available at: http://seismos-u.ifz.ru/personal/caspiy.htm (accessed 15 May 2017).

8. Mamedov P.Z. Osobennosti stroeniia zemnoi kory YuKMV [Features of the structure of the Earth's crust YuKMV]. *Geologiya Azerbaidzhana. Neft' i gaz*, 2008, vol.VII, pp.9-103.
9. Knapp J.H., Diaconescu C.C., Connor J.A., McBride J.H., Simmons M.D. Deep seismic exploration of the South Caspian Basin: Litospheric-scale imaging of the world's deepest basin. *AAPG's Intern. regional conf. Abstr.* Istanbul, 2000, pp.35-37. DOI:10.1306/1205831St553248
10. Morfostruktura, noveishia tektonika i seismika na Kavkaze [Morphostructure, the latest tectonics and seismic in the Caucasus], available at: kmvline.ru/lib/kavkaz/4.php (accessed 15 May 2017).
11. Granath J.W., Soofi R.F., Baganaz O.W., Bagirov E., Gravity modeling and its implications to the tectonics of the South Caspian basin. *Oil and gas of the Greater Caspian area: AAPG Studies in Geology*. Ed. by P.O. Yilmaz, G.H. Isaksen. 2007, 55, p.43-46. DOI: 10.1306/1205832St55854
12. Model' glubinnogo stroeniia Iuzhno-Kaspiiskoi vpadiny [Model of the deep structure of the South Caspian basin], available at: wdcb.ru/sep/sedimentary\_basins/Caspsea/models/SCasp\_mod.ru.html (accessed 15 May 2017).
13. Ashkhabadskoe zemletriasenie 1948 goda [Ashgabat earthquake of 1948], available at: olegyakupov.com/blogblog/?p=1232 (accessed 15 May 2017).
14. Granath J.W., Soofi I.K.A., Baganz O.W., Bagirov E. Gravity modeling and its implications to the tectonics of the South Caspian Basin. *AAPG's Intern. regional conf. Turkey*, 2000, pp.46-50.
15. Jackson J.A., Priestley E., Allen M. Active tectonics of the South Caspian Basin. *Centr. Asia Proj. Rep.*, 2001, vol.17, pp.45. DOI: 10.1046/j.1365-246X.2002.01005.x
16. Priestley K., Patt on H., Schultz C. Modeling anomalous surface-wave propagation across the South Caspian Basin. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 2001, vol.91 (6), pp.1924-1929. DOI: 10.1785/0120010118
17. Iakubov A.A., Alizade A.A., Zeinalov M.M. et al. Griazevye vulkany Azerbaidzhanskoi SSR [Mud volcanoes of the Azerbaijan SSR]. Baku, ELM, 1971, 256 p.
18. Iusubov N.P., Kuliev I.S. Seismicheskaia model' griazevulkanicheskoi sistemy [Seismic model of mud volcanic system]. *ANKh*, 2011, no.3, pp.12-20.
19. Iusubov N.P., Guliev G.A., Borovikova A.Iu., Akhmedov R.L. Glubinnoe stroenie osadochnogo chekhla Severo-Absheronskoi zony podniatii i perspektivy ee neftegazonosnosti po dannym seismorazvedki [Deep structure of the sedimentary cover of the North Absheron uplift zone and the prospects of its oil and gas potential according to seismic data]. *ANKh*, 2013, no.10, pp.9-15.
20. Iusubov N.P. K voprosu o sushchestvovanii Zapadno-Kaspiiskogo razloma [To the question of existence of the West Caspian fault]. *ANKh*, 2017, no.4, pp.12-17.
21. Mamedli T.Ia., Rogozhin E.A. O tektonicheskom kharaktere zon sochleneniia zemnoi kory Iuzhno-Kaspiiskoi vpadiny i Skifsko-Turanskoi plity po dannym seismologii [Tectonic character of the zones of articulation of the Earth's crust of the South Caspian Depression and Scythian-Turan plate according to seismology data]. *Voprosy inzhenernoi geologii*, 2016, vol.43, no.2, pp.5-16.
22. Kerimov K.M., Novruzov A.K., Daneshvar S.N. Glubinnye razlomy i nekotorye osobennosti razmeshcheniia neftegazovykh mestorozhdenii v Iuzhno-Kaspiiskoi megavpadine [Deep faults and some peculiarities of location of oil and gas deposits in the South Caspian megabasin]. *Baku universitetinin xabarlari*, 2012, no.3, pp.69-78.
23. Metaksas Kh.P., Rzaev A.G., Isaeva M.I. Parametry seismicheskoi opasnosti Shamakhy-Ismailinskoi ochagovoi zony zemletriasenii [Parameters of seismic hazard of Shamakhy-Ismayillinsky focal zone of earthquakes]. *Katalog seismoprognozticheskikh nabludenii na territorii Azerbaidzhana*, 2011, pp.314-321.
24. Agaev V.B., Guseinov G.M., Balamedov Sh.R., Amirov E.F. Kaspii: proiskhozhdenie, geodinamika i stratigrafiia [Caspian: Origin, geodynamics and stratigraphy]. *Baku Universitetinin Xabarlari*, 2006, no.1, pp.86-101.
25. Glumov I.F., Malovitskii Ia.P., Novikov A.A., Senin B.V. Regional'naia geologiya i neftegazonosnost' Kaspiiskogo moria [Regional geology and petroleum potential of the Caspian Sea]. Moscow, Nedra-Biznestsentr, 2004, 342 p.
26. Iusubov N.P. Osobennosti seismichnosti neftegazovykh oblastei Azerbaidzhana [Features of seismicity of oil and gas regions of Azerbaijan]. *Geofizika*, 2012, no.2, pp.48-53.
27. Burmin V.Iu., Shmeleva I.B., Fleifel' L.D. et al. Predvaritel'nye rezultaty peresmotra seismologicheskikh dannyyh Kavkaza [Preliminary results of the revision of seismological data of the Caucasus], available at: ifz.ru/fileadmin/user\_upload/subdivisions/506/... (accessed 15 May 2017).
28. Iakovlev F.L. Vladimir Vladimirovich Belousov i problema proiskhozhdeniia skladchatosti [Vladimir Vladimirovich Belousov and the problem of origin of folding]. *Geofizicheskie issledovaniia*, 2008, vol.9, no.1, pp.53-73.
29. Rastsvetaev L.M., Marinin A.V. Sootnoshenie poverkhnostnoi i glubinnoi struktury severo-zapadnogo Kavkaza [Correlation of the surface and deep structure of the northwestern Caucasus], available at: resources.krc.karelia.ru/krc/doc... (accessed 15 May 2017).
30. Daly M.C. Correlations between Nazca/Farallon Plate kinematics and forearc basin evolution in Ecuador. *Tectonics*, 1989, 8, no.4, pp.769-790. DOI: 10.1029/TC008i004p00769
31. Seist E.L., Childs J.R., Scholl D.W. The origin of summit basins of the Aleutian Ridge: implications for block rotation of an arc massif. *Tectonics*, 1988, 7, no.2, pp.327-341. DOI: 10.1029/TC007i002p00327
32. Nur A., Ron H., Scotti O. Fault mechanics and the kinematics of block rotation. *Geology*, 1986, 14, pp.746-749. DOI: 10.1130/0091-7613(1986)14<746:FMATKO>2.0.CO;2
33. Kadirov F.A., Floyd M., Reilinger R., Alizadeh Ak.A., Guliyev I.S., Mammadov S.G., Safarov R.T. Activegeodynamics of the Caucasus region: implications for earthquake hazard assessment in Azerbaijan. *Proc. of Azerbaijan National Academy of Sciences. The Sci. of Earth*, 2015, no.3, pp.3-17.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Юсубов Н.П. О связях очагов промежуточных и мелкофокусных землетрясений с тектоническими разломами по данным сейсморазведки методом общей глубинной точки // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2017. – Т.16, №4. – С.304–312. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.4.1

Please cite this article in English as:

Yusubov N.P. Connections between intermediate & shallow-focus earthquakes and tectonic faults based on data of CDP seismic survey method. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2017, vol.16, no.4, pp.304–312. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.4.1