

УДК 551.24

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И МИГРАЦИИ ОЧАГОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА

© 2013 Р. А. Магомедов

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

Проведен анализ землетрясений происшедших на территории Восточного Кавказа с магнитудами $M \geq 5$ за период с 1960 по 2012 годы на предмет выявления миграции сильных землетрясений и пространственной локализации их очагов с целью оценки современной напряженности и направленности геотектонических процессов в регионе. Выявлены новые, потенциально высокосейсмичные зоны в пределах северо-восточного сегмента Восточного Кавказа. Определена средняя скорость миграции очагов сильных землетрясений по территории региона.

Ключевые слова: современная сейсмичность, геотектоника, очаг землетрясения, магнитуда, зона ВОЗ.

Анализ пространственно-временного распределения и миграции очагов сильных землетрясений позволяет оценить в первом приближении напряженность и направленность сейсмотектонических и геодинамических процессов в регионе.

Как известно «сейсмическую погоду» определяют сильные землетрясения. Для Восточного Кавказа нами проведен анализ каталога землетрясений с магнитудами $M \geq 5$ за период с 1960 по 2012 годы на предмет выявления миграции сильных землетрясений и пространственной локализации их очагов с целью оценки современной напряженности и направленности геотектонических процессов в регионе. За указанный период на территории Восточного Кавказа произошло 147 сильных землетрясений с $M \geq 5$ (таблица 1).

Таблица 1

Распределение землетрясений по магнитуда

| Магнитуда | Количество землетрясений |
|-------------|--------------------------|
| 4 (3.8-4.4) | 579 |
| 5 (4.5-5.4) | 133 |
| 6 (5.5-6.4) | 13 |
| 7 (6.5-7.4) | 1 |
| Σ | 726 |

Дизъюнктивная тектоника Восточного Кавказа изучена достаточно хорошо [Ажгирей, 1960; Ананьин, 1977; Брод, 1938; Буторин, Галин, 1972; Короновский, 1994; Короновский, 1984; Криволицкий, 1954; Магомедов; Маркус, 1986; Милановский, 1968; Соборнов, 1991; Талалаев, 1977; Шатский, 1929]. По геолого-геофизическим данным здесь выделяются несколько субмеридиональных разломов

глубокого заложения, которые, пересекаясь с разломами субширотного простирания, дробят фундамент Восточного Кавказа на серию блоков (рис. 1).

По данным сейсмических и гравиметрических исследований, в свою очередь, подтвержденных на многих площадях поисковым бурением [Буторин, Галин, 1972], вдоль внешнего обрамления Дагестанского выступа (Нарат-Тюбинской зоны) меловые отложения дислоцированы в узкие линейно-вытянутые антиклинальные по форме блоки, ступенчато погружающиеся к осевой части Терско-Каспийского прогиба. Разрывные нарушения фиксируются крутыми залеганиями слоев – до 80-90° (рис. 2, 3).

В современную эпоху территория Восточного Кавказа, в частности, область Дагестанского выступа, характеризуется повышенной сейсмической активностью. В течение последних 30-40 лет инструментальным путем здесь зарегистрировано много сильных землетрясений, в том числе: Дагестанское – 14.05.1970 г. (8-9 баллов), Салатауское – 23.12.1974 г. (7 баллов), Буйнакское – 9.01.1975 г. с силой в эпицентре равной 8 баллам, Кумторкалинские – (31.01. с силой в 7 баллов и 21.02., 14.04.1999 г.) и др.

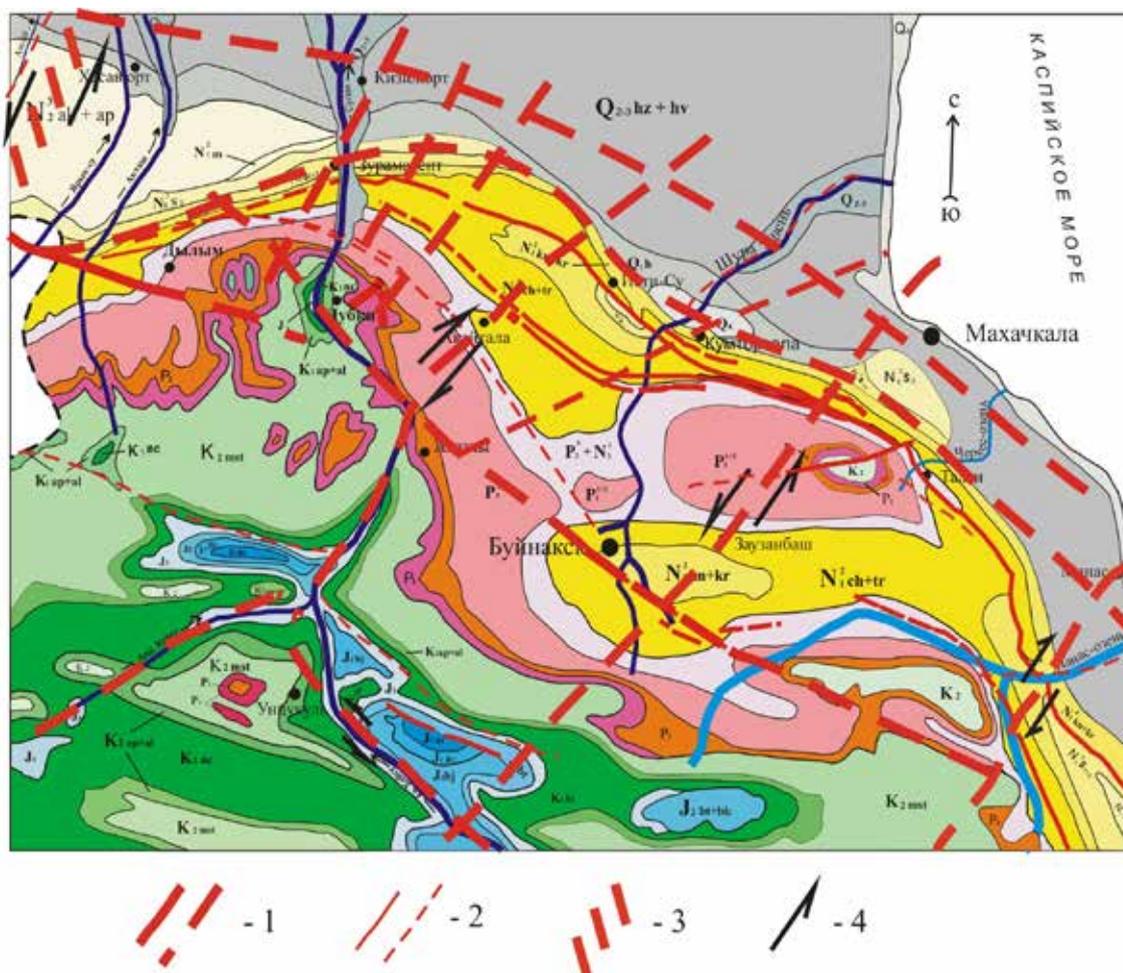


Рис. 1. Схема дизъюнктивной тектоники северо-восточного сегмента Восточного Кавказа. 1 – глубинные разломы (достоверные и предполагаемые); 2 – разрывные нарушения в осадочном чехле (достоверные и предполагаемые); 3 – фрагмент Аграхано-Тбилиско-Левантийской левосдвиговой зоны I порядка; 4 – направления смещения блоков.

С 1999-2000 гг. отмечается тенденция увеличения глубины гипоцентров землетрясений в регионе, т. е. увеличение мощности сейсмоактивного слоя. При анализе каталога землетрясений выяснилось, что за последние 10-12 лет наблюдался и резкий рост землетрясений с $M=4$ что, вероятно, является форшоковой активностью более сильного ближайшего будущего землетрясения. Все это согласуется с выводом о росте сейсмической активности за последние 30-40 лет (рис. 4).

Анализ построенных карт эпицентров землетрясений (рис. 5) свидетельствует о значительной дифференциации сейсмической активности по площади.

Территориально зоны повышенной сейсмической активности приурочены к эпицентральной зонам сильных землетрясений. Анализ данных показывает, что вероятности попадания землетрясений различных энергетических классов сохраняется практически для всех систем разломов и блоков земной коры, что позволяет сделать вывод о существовании общих региональных закономерностей пространственного положения зон разрядки тектонических напряжений и об однородности их физической природы.

Сопоставляя схемы распределения эпицентров землетрясений и дизъюнктивной тектоники, легко заметить связь наиболее активных в сейсмическом отношении зон с зонами продольных и поперечных глубинных разломов и, в особенности, с узлами их пересечения. Так, полоса высокой сейсмической активности тянется примерно вдоль Дагестанского поперечного поднятия и осложняющих его разломов.

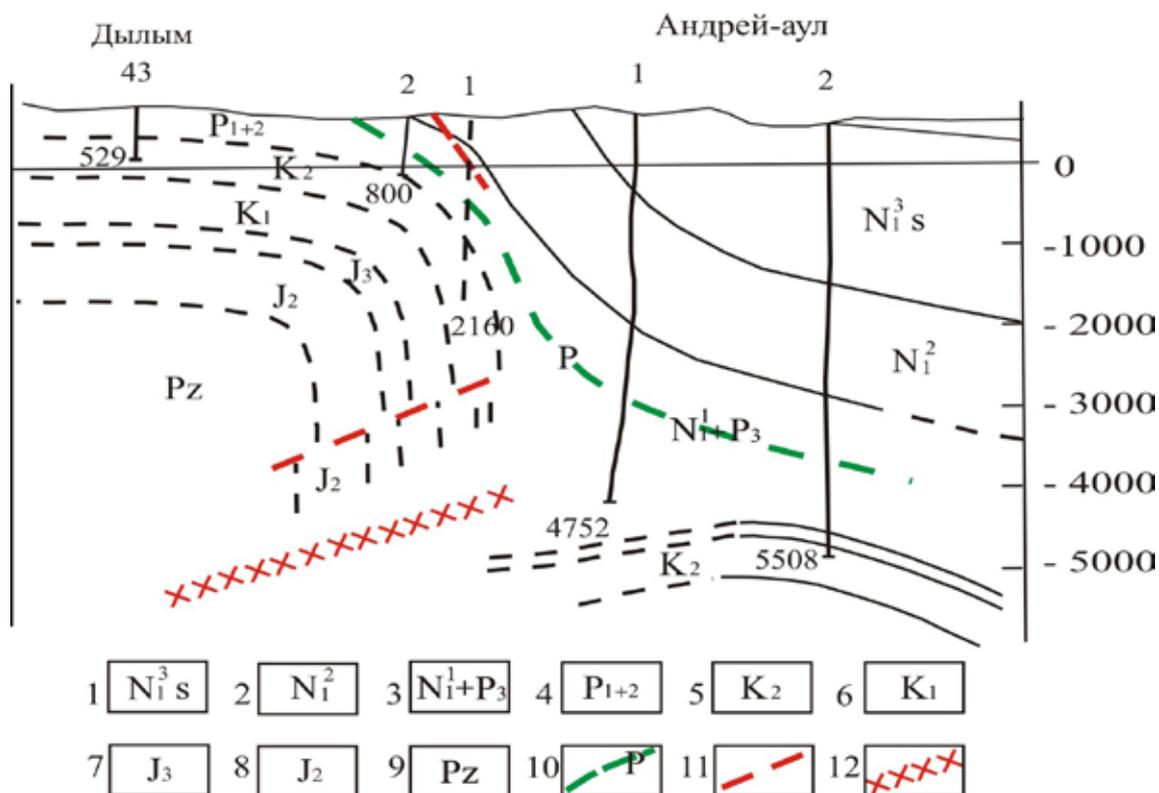


Рис. 2. Геологический профиль «Дылым-Андрей-аул» [Буторин, Галин, 1972].

1 – сарматский ярус; 2 – средний миоцен; 3 – майкопская серия; 4 – фораминиферовая серия; 5 – верхний мел; 6 – нижний мел; 7 – верхняя юра; 8 – средняя юра; 9 – палеозой; 10 – реперный пласт в кровле миатлинского горизонта; 11 – разломы; 12 – зона главного надвига.

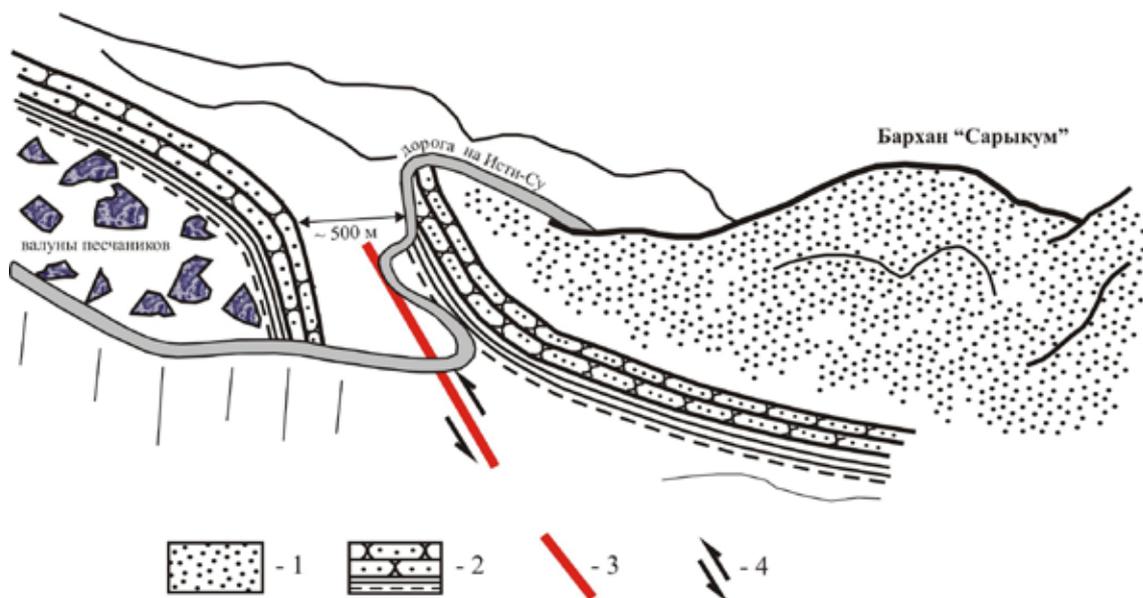


Рис. 3. Разрывное нарушение (взброс) вдоль внешнего обрамления Нарат-Тюбинской зоны. 1 – эоловые отложения четвертичного возраста; 2 – отложения чокрак-караган-сарматского возрастов; 3 – ось разрывного нарушения; 4 – направление движения блоков. Вид на бархан «Сарыкум» со стороны п. Ленинкент – с ЮВ на СЗ (зарисовка автора)

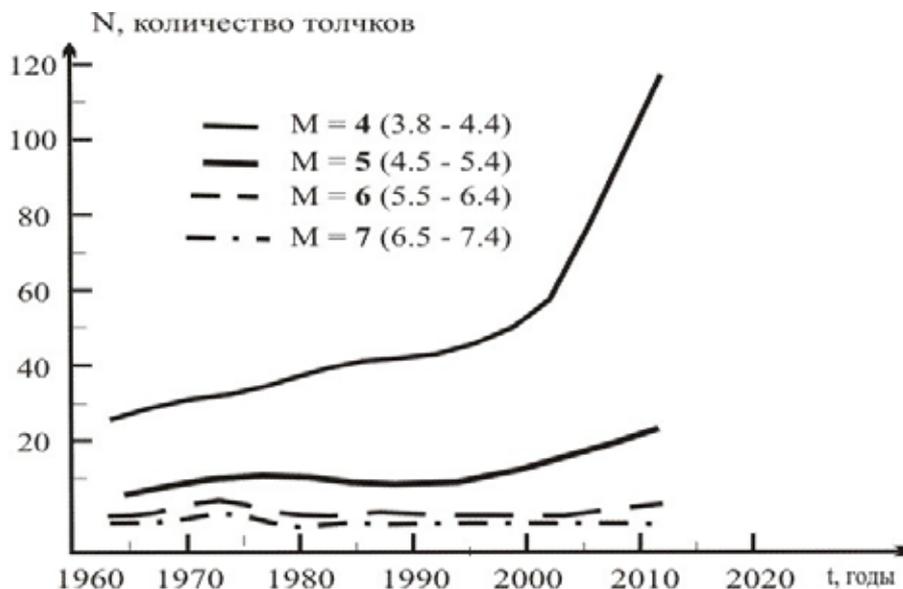


Рис. 4. Изменение количества землетрясений во времени

Высокосейсмичный район к западу от Махачкалы приурочен к вершине поперечного поднятия Дагестанского выступа и одновременно к вероятному продолжению Пшекиш-Тырныаузской шовной зоны. Это зона современной сейсмической активности. Она приурочена к зоне сочленения Сулакского выступа с Капчугайским грабеном по Чиркей-Экибулакскому глубинному разлому. Здесь имеет место чередование циклов сейсмической активности и спада, продолжительностью ~ 10 лет (рис. 5): 1960-69 гг. – спад активности, 1970-79 гг. – повышение, 1980-90 гг. – спад,

1991-2001 гг. – повышение, 2002-2010 гг. – спад, 2011-20.. гг. – ожидается повышение сейсмической активности. Анализ пространственного распределения и миграции эпицентров землетрясений показывает, что помимо отмеченной современной высокосейсмичной зоны в северо-восточном сегменте Восточного Кавказа имеются еще 4 сейсмоактивные зоны: Дербентская, Кубачи-Дейбук-Харбук-Уркарахская, Аргун-Гудермес-Хасавюртовская и Лагодехи-Белоканы-Закаталинская зоны. Сейсмические циклы в этих зонах имеют другую периодичность и продолжительность. Например, по палеосейсмическим данным, в историческом прошлом (1620-е годы), в Кубачи-Дейбук-Харбук-Уркарахской зоне произошли сейсмические события с $M=5$ и выше. В последующий период, вплоть до настоящего времени эта зона представляет собой зона сейсмического затишья. До каких пор? Потенциально новой очаговой зоной землетрясений является место сочленения Талгинского выдвинутого блока с Капчугайским грабеном и Губденским блоком.

Возникновение очагов землетрясений в регионе является следствием накопления тектонических напряжений, возникающих как вдоль основных разломов (Пшекиш-Тырныаузский, Срединный, Черногорский и др.), так и сдвигов внутри самих блоков вдоль поперечных разломов (Чиркей-Экибулакский, Искандерон-Махачкалинский, Губденский, Аграхано-Тбилисско-Левантийский 1-го порядка и др.) источником энергии которых является внутренняя энергия Земли и ее ротационно-пульсационный режим как планеты.

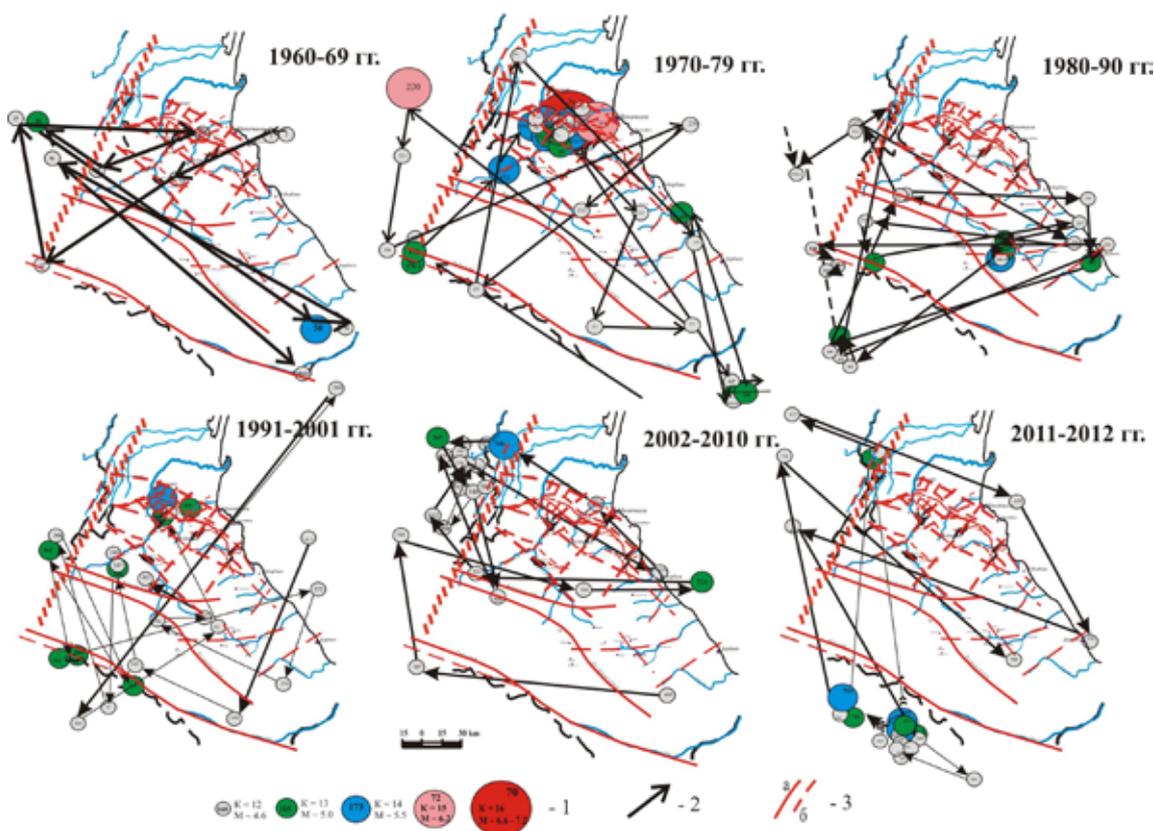


Рис. 5. Карты эпицентров землетрясений с путями их миграции.

1 – эпицентры землетрясений с порядковыми номерами и энергетической характеристикой; 2 – направление миграции эпицентров землетрясений; 3 – глубинные разломы и разрывные нарушения в осадочном чехле (а – достоверные, б – предполагаемые).

Для лучшего понимания механизма тектогенеза, сделаем небольшой экскурс в теорию исследований этой проблемы. Это поможет увидеть проблему тектогенеза региона лучше и в связи с глобальными геодинамическими процессами.

Данные, полученные в работах [Андронов и др., 1989; Жадин, 1984] убедительно показывают, что пространственно-временная структура миграции землетрясений в тектонических поясах имеет планетарную природу и указывает на существование прямой связи между сейсмическим процессом, с одной стороны, и мантийной конвекцией – с другой. Такой результат, с точки зрения тектоники плит, очевидно, равносителен выводу о том, что волны миграции сейсмичности имеют тектоническую природу вследствие подъема наверх огромных масс сильно нагретого мантийного вещества. Большая часть этого вещества не доходит до поверхности земной коры, а внедряется в литосферу, что и является, вероятно, главной причиной роста тектонических напряжений. В условиях достаточно быстро вращающейся Земли движение магматического вещества от места его подъема к поверхности, вследствие действия силы Кориолиса, должно иметь вихревой характер. Поскольку Восточный Кавказ располагается к северу от экватора, предполагается, что в его пределах могла возникнуть вихревая структура с вращением против часовой стрелки. Поступательное движение сильно нагретого мантийного вещества вдоль поверхности вращающейся планеты имеет ротационную составляющую. Изменение режима вращения планеты, неизбежно приводит к накоплению в ее относительно упругой части – литосфере – значительных напряжений. При этом специфика напряжений, возникающих при неравномерном вращении планеты, определяется тем, что земная кора неоднородна и большое количество слагающих ее относительно однородных блоков по разделяющим их границам (глубинным разломам) слабо сцеплены между собою. Как известно, литосферные плиты, как панцирь покрывающие планету, друг относительно друга поворачиваются, что и находит свое отражение в процессах, протекающих в районах сейсмических поясов Земли. Любое изменение режима вращения планеты, вероятно, должно приводить к тому, что относительно однородные блоки будут стремиться повернуться друг относительно друга.

Естественно, что изложенная картина причинно-следственных связей тектогенеза является неокончательной и не до конца ясной, весьма гипотетической и поэтому очень уязвимой. Но некоторые положения представляются достаточно очевидными:

1. Основным энергетическим источником тектонических процессов является тепловая энергия, выделяющаяся в недрах Земли при гравитационном уплотнении и дифференциации ее вещества.

2. В связи с низкой теплопроводностью верхних оболочек твердой Земли, составляющих литосферу, в ее основании образуется находящаяся в частично расплавленном состоянии астеносфера, значительные части которой могут, вероятно, периодически испытывать полное расплавление. Появление зон плавления создает условия инверсии плотностей, порождающие конвективную неустойчивость с тенденцией подъема легких (легкоплавких) дифференциатов в более высокие слои, вплоть до поверхности Земли.

3. Возникшая в раннем докембрии закономерно ориентированная планетарная сетка глубинных разломов контролирует распределение теплового потока и тем самым зоны повышенной тектономагматической активности в литосфере. Закономерная ориентировка планетарной сетки разломов относительно оси вращения Земли свидетельствует о ее ротационной обусловленности.

4. В литосфере одновременно существуют зоны сжатия и растяжения, причиной возникновения которых, вероятно, является установленная многими исследователями определенная периодичность тектонических движений. Непосредственной причиной последних является, очевидно, периодическое накопление и выделение внутриземной тепловой энергии. Представляется вероятным, что синхронизирующая роль принадлежит изменениям внешнего гравитационного поля в процессе движения солнечной системы по галактической орбите (взаимодействие гравитационных полей Земли и Космоса).

Таким образом, миграция очагов землетрясений, в свете изложенных теоретических положений, – результат и реакция геологической среды (земной коры) на современные геодинамические процессы.

Для каждого региона средняя скорость миграции очагов – своя, отличающаяся от других регионов в зависимости от конкретных геотектонических и геодинамических условий. В работе [Барабанов, 1994] проведен обзор исследований миграции землетрясений в крупнейших сейсмических регионах мира: скорость линейной миграции землетрясений произошедших в 1962 г. последовательно в Северной Атлантике, Италии, Греции, Иране, Средней Азии и Бирме составляла до 290 км/сут; в Трансзападной зоне скорость миграции менялась от 11 до 272 км/год; в Северо-Анатолийской зоне – 80 км/год; в зоне Центральной Америки скорость миграции за период 1972-74 гг. составляла 350 км/год; для зоны разлома Сан-Андреас определена миграция землетрясений с М более 6.0 с ЮВ на СЗ со скоростью 130 км/год. В работах [Андронов и др., 1989; Жадин, 1984] приведены результаты глобального анализа миграции сильных землетрясений на поверхности Земли. Выделено десять локальных зон, расположенных в СВ и ЮЗ частях Тихого океана, в северной части Атлантики, в Центральной и Восточной Азии, которые представляли собой *центры концентрически мигрирующих очагов*. Скорость миграции составляет 180-210 км/год. Очаги сильнейших землетрясений вдоль северо-западной окраины Тихого океана мигрируют со скоростью около 250 ± 30 км/год [Короновский, 1984].

Для региона Восточного Кавказа, каждой траектории движения эпицентров землетрясений определялось значение скорости V , численно равное отношению длины прямолинейного отрезка, соединяющего эпицентры соседних во времени землетрясений каталога, к интервалу времени между ними. Нам удалось установить, что очаги сильных землетрясений Восточного Кавказа мигрируют вдоль субширотного направления со средней скоростью 580 км/год, а вдоль субмеридионального – со скоростью 600 км/год (таблица 2).

Таблица 2

Средние значения скоростей миграции эпицентров землетрясений

| Годы | $V_{\text{ср.}}$, км/год | |
|---------------|---------------------------|---|
| | Субкавказское направление | Поперечное направление к субкавказскому |
| 1960-1969 | 622 | 169 |
| 1970-1979 | 416 | 368 |
| 1980-1990 | 914 | 854 |
| 1991-2001 | 165 | 891 |
| 2002-2010 | 436 | 412 |
| 2011-2012 | 934 | 929 |
| Ср. – интегр. | 580 | 600 |

Проведенные исследования позволили сделать вывод о существовании общих региональных закономерностей миграции очагов землетрясений и зон разрядки тектонических напряжений, а также об однородности их физической природы. Исследования позволили проанализировать геотектонический режим и выявить направленность сеймотектонических процессов в регионе.

Выводы

1. Установлено, что рассматриваемая территория характеризуется неоднородностью в распределении современной геотектонической активности. Особенность распределений состоит в том, что они сосредоточены в узких линейно-вытянутых межблоковых зонах. Возникновение этих зон обусловлено высокой геодинамической активностью разломов в фундаменте. По зонам глубинных разломов происходит реализация волновых движений.

2. Современная очаговая зона землетрясений приурочена к зоне сочленения Сулакского выступа с Капчугайским грабеном по Чиркей-Экибулакскому глубинному разлому. Потенциально новыми очаговыми зонами землетрясений являются места сочленения Талгинского выдвинутого блока с Капчугайским грабеном и Губденским блоком. При изменении геодинамической обстановки в сопредельных территориях или при прохождении очередной тектонической волны эти блоки могут «сработать» первыми.

3. За последние 10-12 лет наблюдается резкий рост землетрясений с $M > 4$ и рост глубины гипоцентров что, вероятно, является форшоковой активностью более сильного ближайшего будущего землетрясения. Это согласуется с выводом о росте сейсмической активности за последние 30-40 лет.

4. Анализ пространственно-временных распределений и миграции очагов землетрясений Восточного Кавказа позволяет сделать вывод о существовании общих региональных закономерностей пространственно-временного положения очагов землетрясений и зон разрядки тектонических напряжений и об однородности их физической природы.

5. Средняя скорость миграции очагов землетрясений по территории Восточного Кавказа составляет около 580-600 км/год и не зависит от направления их миграции.

6. Чередование циклов активности и спада современной высокосейсмичной зоны в северо-восточном сегменте Восточного Кавказа составляет около 10 лет. В 2011-20 гг. здесь, вероятно, ожидается повышение сейсмической активности.

7. Выявлены, помимо современной высокосейсмичной зоны, еще 4 сейсмоактивные зоны: Дербентская, Кубачи-Дейбук-Харбук-Уркарахская, Аргун-Гудермес-Хасавюртовская и Лагодехи-Белоканы-Закаталинская зоны.

Литература

1. Ажгирей Г. Д. О некоторых важных закономерностях тектонического строения и движения Земной коры. Изв. АН СССР, Серия геол., № 8. 1960.
2. Ананьин И. В. Сейсмичность Северного Кавказа. М.: Наука. 1977. 148 с.
3. Андронов И. В., Жадин В. В., Поташников И. А. Пространственно-временная структура миграции землетрясений и сейсмические пояса // Доклады АН СССР. – 1989. – Т. 306, № 6. – С. 1339-1342.
4. Барабанов В. Л., Гриневский А. О., Беликов В. М. О миграции коровых землетрясений // Динамические процессы в геофизической среде. – М.: Наука, 1994. – С. 149-167.

5. Брод И. О. Тектоника и нефтеносность Вост. Предкавказья // Сов. геол. 1938. № 7.
6. Буторин Г. Д., Галин В. Л. Тектоника передовой складчатой зоны Дагестанского выступа в связи с поисками залежей нефти и газа. – Сов. геол., 1972, № 9.
7. Викулин А. В. Миграция очагов сильнейших Камчатских и Северо-Курильских землетрясений и их повторяемость // Вулканология и сейсмология. 1992. № 1. С. 46-61.
8. Викулин А. В. Физика волнового сейсмического процесса // Природа. 1992. № 7. С. 11-19.
9. Жадин В. В. Пространственно-временные связи сильных землетрясений // Физика Земли. – 1984. – № 1. – С. 34-38.
10. Касьянова Н. А., Абрамова М. А., Гайрабеков И. Г. // Геотектоника. 1994. № 4. С. 30.
11. Копничев Ю. Ф., Соколова И. Н. Вариации скорости вращения Земли и геодинамические процессы в Центральной Азии // Докл. РАН. 1997. Т. 353. № 3. С. 386-389.
12. Короновский Н. В. Аграхан-Тбилиско-Левантийская левосдвиговая зона – важнейшая структура Кавказского региона // Докл. РАН. 1994. Т. 337, № 1.
13. Короновский Н. В. Линеаменты Бол. Кавказа и Предкавказья по изображениям на космических снимках и их геологическое истолкование // Вестн. Моск. ун-та. Сер. геол. 1984. № 6.
14. Криволицкий Н. В. Тектонические характеристики области Известнякового Дагестана // Тр. ВНИГРИ, 1954, № 4.
15. Лурсманашвили О. В. Временно-пространственное распределение сильных землетрясений Кавказа и возможность взаимосвязи землетрясений через пластические волны // Сообщ. АН Груз. ССР. 1977. 87. № 3. С. 601-604.
16. Магомедов Р. А. Геодинамический режим области Дагестанского клина в альпийском цикле развития Восточного Кавказа // Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. Тр. ИГ ДНЦ РАН. Вып. 56. – С. 66-80.
17. Маркус М. А. Долгоживущие структуры Восточного Кавказа. – Сов. Геология, 1986, № 10.
18. Милановский Е. Е. Новейшая тектоника Кавказа. М., 1968. 484 с.
19. Михайлов Д. Н., Николаевский В. Н. Тектонические волны ротационного типа с излучением сейсмических сигналов // Физика Земли. 2000. № 11. С. 3-10.
20. Соборнов К. О. Формирование складчато-надвиговой структуры Дагестанского клина // Геотектоника. 1991. № 3.
21. Талалаев В. Д. Важнейшие особенности альпийской складчатости Сев. Вост. Кавказа // Тр. Сев. Кав. НИПИнефть. Грозный, 1977. Вып. 12, ч. 1.
22. Уломов В. И. Волны сейсмогеодинамической активизации и долгосрочный прогноз землетрясений // Физ. Земли. 1993. № 4. С. 43-53.
23. Шатский Н. С. Геологическое строение восточной части Черных гор и нефтяные месторождения Миатлы и Дылым (Северный Дагестан). – Тр. Гос. исслед. нефт. ин-та, 1929, вып. 4.

PECULIARITIES OF SPATIAL-TEMPORAL DISTRIBUTION AND MIGRATION SOURCES OF STRONG EARTHQUAKES THE EASTERN CAUCASUS

© 2013 R. A. MAGOMEDOV

Institute of Geology, Dagestan Scientific Center, Russian Academy of Sciences»,
Russia, Makhachkala, e-mail: ra-mag@yandex.ru

The analysis of earthquakes occurred on the territory of the Eastern Caucasus with magnitudes $M \geq 5$ for the period from 1960 to 2012 to identify the migration of strong earthquakes and spatial localization of foci to assess the current tensions and orientation of tectonic processes in the region. The identification of new, potentially high seismicity areas within the North-Eastern segment of the Eastern Caucasus. Average rate of migration of the sources of strong earthquakes on the territory of the region.

Keywords: modern seismicity, geotectonics, the epicenter of earthquake, magnitude, zone of possible sources of earthquakes (zone of PSE).