

Влияние геодинамического режима зоны коллизии Африкано-Аравийского и Евразийского континентов на сейсмическую активность Дагестана

П.И. Крамынин, Н.Т. Романов, В.И. Черкашин
ИГДНЦ РАН

Геодинамический режим зоны коллизии Афро-Аравийского и Евразийского континентов на Восточном Кавказе не был постоянным и менялся во времени. Причины возникновения коллизии были разными. В позднем триасе - ранней юре она зависела от сближения континентов, поддвига океанической коры под южный край Евразийского континента в байосе, а в конце эоцена, позднем миоцене, начале плиоцена и антропогене - от интенсивного подвига Закавказского срединного массива. После столкновения континентов, происшедшем около 40 млн. лет назад, геодинамический режим региона стал определяться главным образом расколом Африкано-Аравийского континента, образованием Красноморского рифта, отделением Аравийской плиты и продвижением ее к северу, северо-востоку. В раскрытии Красноморского рифта, начавшемся 38 млн. лет назад, выделяются 4 основных фазы. Каждой фазе соответствуют определенные геологические события на Кавказе. Данные о механизмах очагов землетрясений, используемые для оценки сейсмотектонических деформаций (СТД), охватывают глубинные слои земной коры. Высвобождение энергии через подвижки в очагах сильных землетрясений часто вспарывают все вышележащие слои и сопровождаются образованием сейсмогенных разрывов земной поверхности. При таких землетрясениях верхняя часть коры ведет себя как хрупкий однородный объект. Различие напряженно-деформированного состояния на разных глубинах земной коры как проявление ее современного тектонического расслоения, может быть определено и по результатам анализа слабых землетрясений с гипоцентрами на разных глубинах.

Расчеты современной деформации, основанные на параметрах активных разломов с учетом поправки на эффект современного складкообразования дали результаты, близкие к космогеодезическим. Расчеты СТД в общем виде совпали с ними, но содержали характерные отклонения, которые объясняются, как особенностями каждого из указанных видов информации, так и неоднородностями геологической среды. В области Аравийско-Евразийской коллизии выявлено, что в энергию коровых землетрясений большой вклад вносят не только относительные движения плит и блоков земной коры, но и деформационный эффект вещественных преобразований.

Повторные геодезические наблюдения характеризуют деформации в течение нескольких десятилетий, а наиболее прогрессивная в геодезии GPS- технология отражает эти процессы лишь в течение последнего десятилетия, что не позволяет учесть вековые вариации хода деформации. Поэтому для восполнения недостающей информации необходимо привлекать данные об исторической сейсмичности и характеристиках режима активных зон в период их голоценового развития. Современная деформация земной поверхности, которая регистрируется повторными геодезическими наблюдениями, выполненными техникой GPS, в региональном масштабе, хорошо согласуется с параметрами деформации, рассчитанными по данным об активных разломах. Эта технология с большой степенью точности регистрирует направления и скорости удлинения и укорочения вдоль горизонтальной поверхности.

Космогеодезические наблюдения техникой GPS в Кавказско-Аравийском сегменте Альпийско-Гималайского коллизионного пояса были выполнены в последнее десятилетие и увязаны в единую систему. В результате этих исследований было определено, что Аравийская плита испытывает дрейф в северном направлении со скоростью не менее 20 мм/год. Эта скорость оказалась меньше скорости дрейфа Африканской плиты. Дугообразный дрейф Анатолийской плиты происходит со скоростью 20 мм/год – в следующих направлениях - северо-западный на востоке, западный в центре и юго-западный в Эгейском регионе. На берегах и островах Эгейского моря скорости дрейфа составили 40 мм/год. Таким образом, по Крито-Эллинской дуге было установлено встречное перемещение, а скорость субдукции Африканской плиты оказалась меньше скорости встречного надвигания Эгейского региона Евразии. Накапливаемая в зоне разлома деформация, которая регистрируется GPS - измерениями, местами снимается крипом, а местами приходится на редкие и сильные сейсмогенные подвижки.

В 1990 г. учеными Армении, Грузии, России и США были выполнены повторные GPS-измерения на пунктах большого и малого Кавказа. Результаты измерений были приведены к пункту Онсала, который располагается в Швеции. Эти измерения были объединены с измерениями в более южных и западных частях пояса в единую систему. Движения пунктов по профилям на Кавказе были пересчитаны относительно положения Зеленчукской обсерватории, которая расположена на Северном склоне Центрального Кавказа. Небольшие величины деформации были обнаружены в пунктах расположенных на Большом Кавказе, причем выявлен существенный разброс направлений перемещений относительно пункта Зеленчук. Пересчитанные на пункт Онсала, они показали перемещения в северных румбах. Относительно большие величины смещения, до 8 мм/год, также относительно Зеленчука, отмечены на пунктах Геленджик и на пункте Дубки в Дагестане. Эти смещения разнонаправлены, а именно: пункт Геленджик смещается на северо-запад вдоль Кавказа, а пункт Дубки на юго-восток. Все это свидетельствует о продольном удлинении Кавказа при его поперечном тектоническом укорочении (сжатии).

С последней фазой раскрытия рифта, происшедшей 5 млн. лет тому назад, выразившейся в спрединге, образовании океанической коры, связано усиленное (до 25 мм/год) продвижение Аравийской

плиты к северу, северо-востоку. Под напором Аравийской плиты Каспийская (Кавказская) микроплиты смещались к север-северо-востоку. Но Турецкая и Черноморская микроплиты вынуждали Кавказскую микроплиту отклоняться преимущественно к северо-востоку. Последняя скользит вдоль Турецкой и Черноморской плит по Аграхан-Тбилиско-Левантийской левосдвиговой зоне. Центральная часть Восточного Кавказа, располагающаяся в створе с северным жестким треугольным выступом Аравийской плиты, ускоренно (по сравнению с западной и восточной частями) продвигается к северу, северо-востоку и наползает на складчатый борт Терско-Каспийского Передового прогиба, образуя самый крупный поперечный выступ на Большом Кавказе - Дагестанский клин. Во фронтальной зоне Дагестанского клина складки имеют субширотное простирание. Складки, расположенные западнее левосдвиговой зоны, развернуты в юго-западном направлении.

Современная геодинамическая ситуация на Большом Кавказе выглядит следующим образом: проекции главных осей сжатия в очагах некоторых сильных землетрясений в западной части Кавказской микроплиты ориентированы в северном и северо-восточном направлении. Смещения, по данным геодезических измерений, имеют то же направление. Наибольшие смещения до 25 мм/год характерны для Аравийской плиты. В северной части Кавказской микроплиты смещения снижаются до нескольких мм/год.

Значительную роль в формировании сильных землетрясений в области Дагестанского клина играет Аграхан-Тбилиско-Левантийская левосдвиговая зона, которая прослежена от Красного моря вплоть до Турецкой плиты. Стволовая часть зоны состоит из разломов Леванте. На границе с Турецкой плитой зона меняет направление на северо-восточное, становится более широкой и состоит из серии прерывистых левых сдвигов. На всем протяжении до границы со Скифской платформой левосдвиговая зона отчетливо трассируется цепочкой коровых землетрясений. Происхождение и активизация зоны тесно связаны с последней фазой раскрытия Черноморского рифта, когда возник спрединг и началось образование океанической коры. Вследствие этого Аравийская платформа ежегодно продвигается к северу, северо-востоку со скоростью до 29мм/год. На границе складчатого сооружения и Скифской платформы эта зона наиболее активна. За счет напора северного выступа Аравийской платформы складчатое сооружение наползает на Скифскую платформу, образуя «Дагестанский клин». Именно здесь происходит основная коллизия двух структур: породы сминаются в складки, образуя трещины и разрывы, сопровождающиеся сотрясением земной поверхности. Самыми активными являются выдвинутые блоки-Сулакский и Талгинский.

Известняковый Дагестан сложен карбонатными породами верхнего мела, образующими крупные (до 60км в длину и 25км в ширину) коробчатые антиклиналы с крутыми крыльями и почти горизонтальными сводами, разделенные плоскодонными синклиналими мульдами. Раломы общекавказского направления чаще всего четко выражены и прослеживаются на большие расстояния, отделяя тектонические зоны и подзоны одну от другой. Среди этой группы наиболее крупными являются Ахтычайский, Айдако-Казбековский и Тиндино-Кендинский разломы.

Анализ пространственной локализации очагов землетрясений внутри отрицательных структур выявляет следующие структурные закономерности формирования очаговых областей: Терско-Каспийский краевой прогиб, характеризующийся почти всеобъемлющей приуроченностью очагов землетрясений к его геосинклинальному борту, т.е. очаги располагаются в полосе от меловой моноклинали до осевой части прогиба. В пределах геосинклинального борта очаги землетрясений, в свою очередь, локализуются внутри отрицательных структур более высокого порядка. Такой дискретный характер распределения сейсмических полей вполне согласуется с известным принципом формирования тектонических напряжений и деформаций. Среднекаспийская впадина также как и Терско-Каспийский краевой прогиб характеризуется приуроченностью мощных землетрясений к наиболее градиентным участкам новейших опусканий. В пределах мегантиклинория эпицентры современных сильных землетрясений приурочены к осложняющим их грабеновым структурам, таким как Бежтинская, Экибулакская и др. Закономерность преимущественной локализации очагов землетрясений на границах отрицательных структур выдерживается в пределах всего Дагестанского клина.

Схемы дизъюнктивных нарушений и палеоструктурные реконструкции отдельных локальных поднятий и опусканий Дагестана указывают на то, что Восточная и Западная антиклинальные зоны Южного Дагестана являются надразломными структурами, отражающими подвижки по региональным субкавказским глубинным разломам, которые осложняют южный (геосинклинальный) борт передового прогиба. В пределах акватории Каспия параллельно им, намечается существование третьей антиклинальной зоны, трассирующей еще один глубинный региональный разлом. Глубинные разломы являются основными элементами, формирующими субкавказский облик структурного тектонического плана осадочного чехла рассматриваемой территории.

Из поперечных (антикавказских) линеаментов выделяется Самурская поперечная флексура, которая одновременно рассматривается как Касумкентский глубинный разлом. Он трассируется от зоны Главного Кавказского надвига на западе, проходя по линии селений Курах – Белиджи на востоке, до офиолитового шва в центральной части Каспия. К югу от Касумкентского разлома отмечено ступенчатое погружение палеозойского фундамента и смена его ориентировки. С зоной Касумкентского разлома связаны очаги сильных землетрясений произошедших 9 апреля 1935 г. с магнитудой $M=6.0$ и 20 апреля

1966 г. с магнитудой $M=5.5$, а также других менее сильных землетрясений. Эта часть Восточной антиклинали Южного Дагестана характеризуется асимметричным строением: при пологом и достаточно широком своде юго-западное крыло имеет углы залегания, измеряемые 20° , а северо-восточное крыло испытывает очень быстрое погружение и, уже недалеко от свода, имеет углы падения пород, достигающих 50° . По данным глубокого разведочного и структурного бурения на площади Дузлак, наиболее приподнятой части Восточной антиклинали, установлено, что такое строение северо-восточного крыла обусловлено наличием крупного надвигания свода на северо-восточное крыло антиклинали. Амплитуда надвига, по данным скважины "Дузлак-100", превышает 2.0 км, а в зоне ядра по плоскости надвигания приведены в контакт верхнемеловые и среднеюрские отложения.

Используя палеоструктурные реконструкции и схемы дизъюнктивных нарушений можно определить места формирования очагов возможных землетрясений - зон ВОЗ. Этот принцип был положен в основу составления сеймотектонической схемы Дагестана.

Территория Восточного Кавказа неоднократно осложнялась интенсивными складчатыми движениями, сопровождавшимися разрывными нарушениями, слабой вулканической деятельностью и глинистым диапиризмом, которые на отдельных участках проявлялись с различной силой. Современные слабые деформации наблюдаемые на Восточном Кавказе обусловлены боковыми подвижками фундамента вдоль глубокозалегających разломов субширотного простирания. Результаты измерений современных горизонтальных смещений ряда геодезических пунктов и имеющиеся материалы по геологическому строению, механизм очагов землетрясений Кавказа и смежных территорий показали, что современный геодинамический режим определяется северным дрейфом Аравийской плиты (на территории к югу от Северо-Анатолийского-Малокавказского офиолитового пояса) и процессом внутриплитного тектогенеза к северу от него. Ведущим механизмом внутриплитного тектогенеза, по-видимому, является вторичное увеличение площади слоев слоистых пород. Возможно, оно связано с увеличением их объема вследствие предполагаемого привноса в них дополнительного материала восходящими потоками глубинных флюидов.

В плане изучения современных геодинамических процессов Дагестана наибольший интерес представляет территория Дагестанского клина, где на фоне восьмibalльной зоны выделены девятибалльные участки. Девятибалльные участки тяготеют к грабенообразным раздвиговым структурам, таким как, Типселитауская, Кизилбулакская и Экибулакская. В историческое время и в голоцене с этими сейсмогенерирующими структурами были связаны катастрофические землетрясения. А в 1970 году с Экибулакским грабеном был связан очаг Дагестанского землетрясения.

Количественным методом были определены области «ответственные за землетрясения». Здесь зона с энергетическим классом $K_{max}=16$ (8-9баллов) протягивается от г. Махачкалы по всему побережью Дагестана. В Южном Дагестане восьмibalльная зона более локализована, а эпицентры сильных землетрясений расположены как на суше, так и в море. Максимальные сотрясения с силой в 7 баллов ощущались по всей территории Дагестана, причем для семibalльных землетрясений характерна многократная повторяемость.

Новый этап всплеска сейсмичности свидетельствует об усилении геодинамической активности в современную эпоху и требует более пристального внимания к выявлению зон возможных землетрясений и построению прогнозных карт оценки сейсмических воздействий на основе сеймотектонических данных особенно в густонаселенных районах, местах сосредоточения энергетических узлов, нефтегазовых месторождений и нефте- и газопроводов, а также в местах сосредоточения объектов гражданского и промышленного строительства. Выполнение такого комплекса работ связано с организацией исследований в режиме мониторинга на специально созданных геодинамических полигонах. Особое внимание следует обратить на возобновление работ по изучению геодинамических процессов, сейсмичности и изменения физико-механических условий районов, включающих города, инфраструктуру Дагестана и важнейшие действующие гидроузлы Сулакского каскада ГЭС.

Причинно-следственные связи между геодинамическими процессами, сейсмическим режимом, геофизическими и геотермическими аномалиями Дагестана

П.И. Крамынин
ИГ ДНЦ РАН

Анализ геодинамического развития территории в позднеплиоцен антропоновый период, являющийся заключительной стадией в общем цикле альпийского развития Кавказа показывает, что наиболее важным в формировании современного структурного плана является позднеапшеронская фаза, а также современный этап тектонических преобразований. Предпозднеапшеронская складчатость проявляется в дальнейшем усложнении развивающихся структур и развитии разрывных нарушений. Антропоновый подэтап развития этой территории протекал в условиях непрерывного гипсометрического воздымания Кавказа, площадного расширения суши и сокращения Каспия до современных размеров. Текто-