

ВЫДЕЛЕНИЕ ЗОН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ОСНОВЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ КОРЫ АРМЕНИИ

© 2008 г. С. М. Оганесян, А. О. Оганесян,
Э. Г. Геодакян, Г. С. Гаспарян, В. Г. Григорян

Институт геофизики и инженерной сейсмологии имени академика А. Назарова НАН РА
3115, Гюмри, ул. В. Саркисяна, 5, Республика Армения

E-mail: igesgyumri@yandex.ru

Поступила в редакцию 19.12.2007 г.

На основе методики создания вероятностно-детерминированных моделей зон ВОЗ – “Технология адекватных очагов землетрясений – Восток-97” проведена идентификация основных элементов структурно-динамической модели земной коры Армении с сейсмичностью. Выделенные сейсмогенные структуры этой модели идентифицированы как зоны ВОЗ различной категории значимости и по комплексу геологических и сейсмологических критериев определены их сейсмические потенциалы (M_{max}). Разработанная на этой основе схема ВОЗ территории Армении в масштабе 1:2000000 может служить основой для решения задач детального сейсмического районирования, оценки сейсмической опасности и сейсмического риска.

Наиболее важным и сложным этапом работ по детальному сейсмическому районированию и оценке сейсмической опасности является выделение зон возникновения очагов землетрясений (ВОЗ). Несмотря на наличие ряда формализованных методических разработок, основанных на взаимосвязи очаговых зон с глубинными сейсמודинамическими процессами, до сих пор при идентификации и сейсмологической параметризации зон ВОЗ фактор субъективизма составляет определенную долю. Для устранения этого фактора, нами при составлении схемы ВОЗ территории Армении в масштабе 1:2000000 применена новая методика создания вероятностно-детерминированных моделей зон ВОЗ “Технология адекватных очагов землетрясений – Восток 97” (Уломов, 1998). В основу ее заложена фрактально-решетчатая модель представления иерархически-упорядоченных геологических и сейсмогенных структур.

Согласно этой методике наблюдаемая и прогнозируемая сейсмичность рассматривается на четырех масштабных уровнях: сейсмоактивный регион и три его основных элемента – сейсмические линейaments, потенциальные очаги и области, характеризующие рассеянную сейсмичность. Вследствие взаимосвязанного развития геодинамических и сейсмических процессов в сейсмоактивных регионах зоны ВОЗ подчинены в общих чертах геометрии сейсмоактивных разломов и разрывных нарушений. Исходя из этого, выделение зон ВОЗ и их идентификация в виде сейсмогенных линейaments и потенциальных очагов землетрясений проводились на основе совместного анализа наблюдаемой сейсмичности с основными элементами трехмерной структурно-динамической модели земной коры Армении (Оганесян и др., 2005). Разработанная на основе трехмерной количественной интерпретации гравиационных аномалий с использованием данных сейсмологии и ГСЗ (Гаспарян, 1996; Оганесян, 1997) эта модель представляет собой комплекс схем разломно-блокового строения земной коры на трех уровнях глубин:

- по поверхности кристаллического фундамента (до 5 км);
- по подошве сейсмоактивного слоя коры (до 20 км);
- по границе Мохоровичича (до 45 км).

На схемах выделены системы разрывных нарушений с подразделением на категории по размерам и глубине проникновения в земную кору (Бабаджанян, 1999).

К первой категории отнесены разломы, разграничивающие крупные тектонические блоки и имеющие глубину проникновения до 50 км и более (мантийные).

Во вторую группу включены разломы, разграничивающие тектонические блоки более низких порядков и проникающие до подошвы сейсмоактивного слоя глубиной 15-20 км (внутрикоровые). Разломы этой категории подразделены на два подтипа – активные и неактивные (Оганесян, 1997).

В результате анализа сейсмического поля территории Армении с основными элементами структурно-динамической модели было установлено, что очаги сильных землетрясений приурочены к относительно приподнятым зонам подошвы сейсмоактивного слоя, выраженным в геологическом отношении разрывными нарушениями различного ранга, а также к зонам контрастного сочленения структурных элементов или комплексов, различающихся историей тектонического развития, геодинамическим режимом, степенью активности новейших тектонических процессов. При картировании наблюдаемой сейсмичности очаги крупных землетрясений ($M_s > 6.0$) наносились в виде эллипсов, с соответствующими определенным магнитудам размерами большой (L) и малой (W) осей. Размеры эллипсов и их ориентация определялись по ряду признаков (распределению афтершоков, макросейсмических данных плейстосейстовых областей, механизмов очагов землетрясений). Такое представление очагов землетрясений существенно повышает точность идентификации зон ВОЗ с соответствующими структурами. Зоны ВОЗ в виде протя-

женных сейсмогенных зон (сейсмолинеаментов) выделялись методом перколяционного анализа пространственного распределения вдоль четко выраженных сейсмоактивных структур очагов землетрясений соответствующих магнитудных групп. По территории Армении были выделены в виде протяженных сейсмогенных структур следующие зоны ВОЗ:

1. Памбак-Севанская сейсмогенная зона;
2. Ереванская сейсмогенная зона;
3. Зангезурская сейсмогенная зона;
4. Гарни-Спитакская сейсмогенная зона;
5. Иджеван-Джавахетская сейсмогенная зона;
6. Ани-Баяндур-Апаранская сейсмогенная зона;
7. Арагац-Джавахетская сейсмогенная зона.

Пространственное распределение этих сейсмолинеаментов составляет каркас сеймотектонической модели территории Армении. Наличие в узлах пересечений линеаментов очагов наблюдаемых землетрясений позволяет идентифицировать эти дизъюнктивные узлы, как зоны потенциальных очагов землетрясений. Как на выделенных сейсмолинеаментах, так и в зонах потенциальных очагов землетрясений наблюдаются отклонения очагов произошедших землетрясений от осей линеаментов в ту или другую сторону. Для оценки точности идентификации было проведено сравнение оценки величин этих отклонений со значениями стандартных среднестатистических отклонений, полученных в работе В.И. Уломова (1998) для всей территории Северной Евразии. Оценка точности идентификации производилась для каждой сейсмолинеаментной зоны в отдельности. В зависимости от M_{max} наблюдаемых на линеаментах землетрясений выбирались величины стандартных отклонений и сравнивались с наблюдаемыми горизонтальными отклонениями.

Результаты анализа показывают, что наблюдаемые отклонения эпицентров от осей линеаментов находятся в пределах допустимых отклонений. Эпицентры наблюдаемых землетрясений, расположенных вне зоны динамического влияния этих сейсмолинеаментов, оконтуривают зоны рассеянной сейсмичности. Важнейшим параметром выделенных сейсмогенных зон является их сейсмический потенциал (M_{max}).

Сейсмогенная параметризация структурных элементов зон ВОЗ проводилась по магнитуде M_{max} с шагом 0,5 единицы магнитуды: $M \leq 7,5 \pm 0,2$; $M \leq 7,0 \pm 0,2$; $M \leq 6,5 \pm 0,2$; $M \leq 6,0 \pm 0,2$; $M \leq 5,5 \pm 0,2$. Знак $\leq$ указывает, что каждый из сейсмолинеаментов с M_{max} включает в себе менее крупные по M сейсмолинеаменты.

Верхний уровень M_{max} обусловлен реальной сеймотектонической и сейсмогеодинамической обстановкой исследуемой территории и оценивался всеми доступными способами. Для оценки M_{max} каждой из выделенных основных элементов зон ВОЗ проводились комплексные определения M_{max} по геолого-тектоническим характеристикам сейсмогенных структур, а также по сейсмологическим данным. В качестве геолого-тектонических характеристик были взяты значения общей протяженности сейсмогенных зон (L) и их

сегментов (LS), размеры взаимодействующих геоблоков ($ГБ$), межэпицентральные расстояния между эпицентрами наблюдаемых на сейсмолинеаментах сильнейших землетрясений (L_{max}). Использовались широко применяемые в сейсмологической практике корреляционные соотношения (Slemons, 1992; Wells, Coppersmith, 1990; Штейнберг, 1990; Уломов, 1998; Dorbath et al, 1990), связывающие M_{max} с вышеуказанными геолого-тектоническими характеристиками. Из сейсмологических способов оценки M_{max} использовались данные по палеосейсмодислокациям, макросейсмические данные плейстоценовых зон, предельные значения M_{max} наблюдаемых сильнейших землетрясений, а также значения K_{max} , полученные по долговременным параметрам сейсмического режима территории Армении. Необходимо отметить то обстоятельство, что прямое использование этих соотношений может привести к завышенным значениям M_{max} , связанным с региональными особенностями строения среды, геометрии сейсмогенных зон, видом разрывообразования и характерным механизмом кинематических подвижек на них. Исходя из этого, нами при оценке M_{max} для каждой сейсмогенной зоны использовались соотношения длины разрывообразования (L_{max}) и M_{max} с учетом этих факторов. Для зон потенциальных очагов землетрясений, значение M_{max} принималось равным значениям M_{max} наивысших по рангу сейсмолинеаментов, перекрещивающихся в этих дизъюнктивных узлах.

Оценка сейсмического потенциала областей рассеянной сейсмичности проводилась по значениям K_{max} , картированным методом корреляции со средней сейсмической активностью A_{10} (Геодакян, Саргсян, 1987). В качестве окончательных оценок сейсмических потенциалов принимались средневзвешенные по всем способам оценок значения M_{max} . Придерживаясь вышеизложенного принципа подразделения разломов на категории, а также учитывая значения максимально возможных магнитуд землетрясений, выделенные зоны ВОЗ также подразделены на две категории:

— К первой категории относятся зоны ВОЗ, представленные протяженными активными глубинными разломами, проникающими до границ Мохо (50 км и более). По ним происходит смещение крупных блоков земной коры, характеризующихся различной историей тектонического развития. Сейсмический потенциал этих зон ВОЗ оценивается максимальной магнитудой — $M_{max} = 6,5-7,5$.

— Ко второй категории относятся зоны ВОЗ, связанные с тектоническими разрывами верхнего структурного этажа (до глубин 15-20 км). Они в основном ограничены подошвой сейсмоактивного слоя и подчеркивают его структурную расчлененность. Значение максимальных магнитуд возможных землетрясений в пределах этих зон может достичь $M_{max} = 5,75-6,5$.

На рис. 1 представлена схематическая карта выделенных зон ВОЗ территории Армении.

Ниже приводятся характеристики выделенных зон ВОЗ по геологическим, геоморфологическим и сейсмологическим данным.

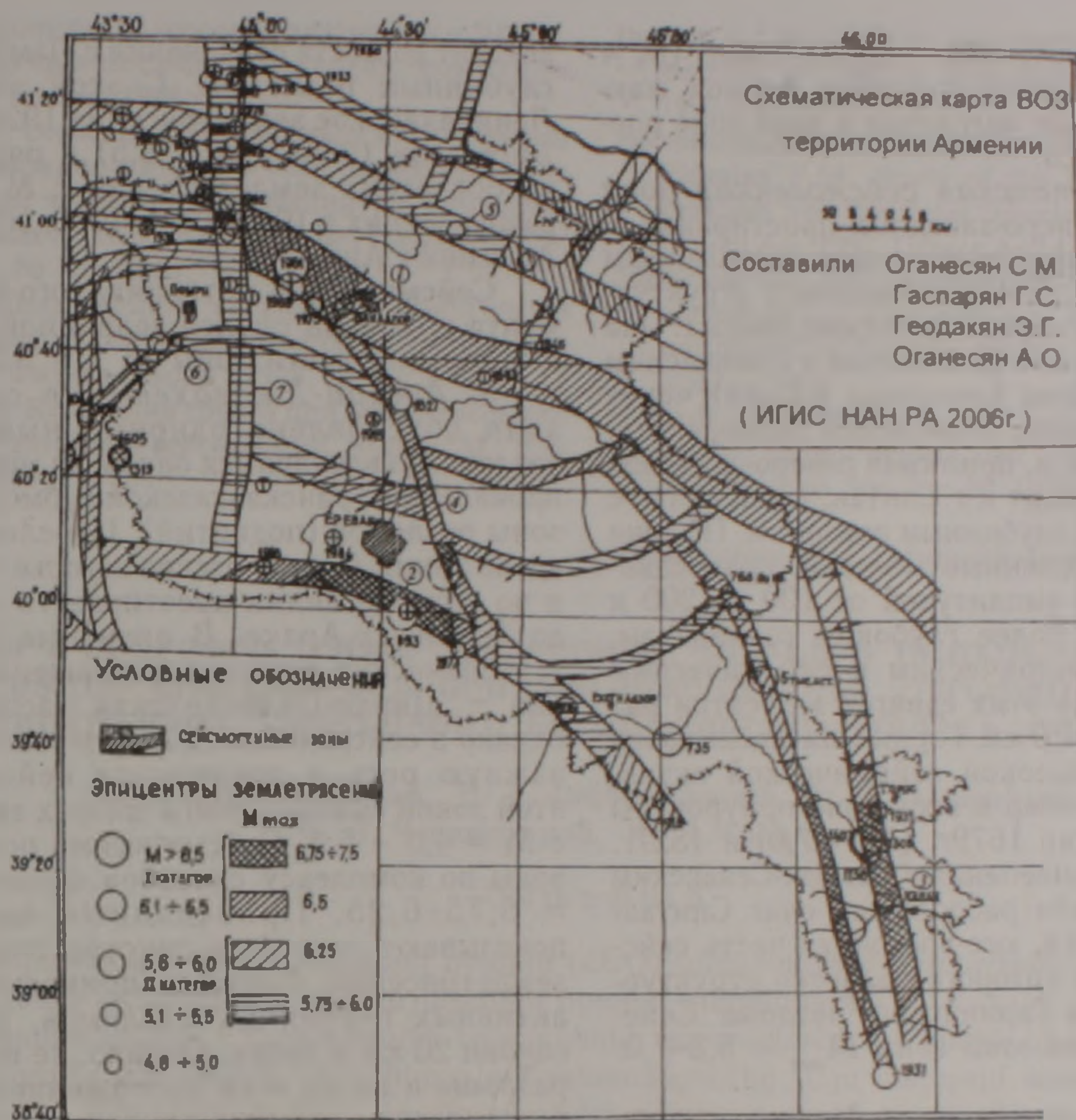


Рис. 1. Схематическая карта ВОЗ территории Армении

Сейсмогенные зоны первой категории

1. *Памбак-Севанская сейсмогенная зона* обусловлена одноименным глубинным разломом, выраженным на северо-западе двумя парными разломами, а в центральной и юго-восточной частях – единой зоной. На верхней части разреза (до глубины 5 км) она осложнена многочисленными разнохарактерными молодыми смещениями с взбросом северо-восточного крыла, а на больших глубинах и по рельефу подошвы сейсмоактивного слоя (на глубинах 15-20 км) происходит их слияние в одну зону. В пределах Армении она протягивается от пос. Амасия до восточного побережья оз. Севан. С этой зоной связано самое крупное сейсмическое событие XX столетия, произошедшее на территории Армении – Спитакское землетрясение 1988г. с $M = 7,1$. В пределах этой зоны ВОЗ возможное сильное землетрясение может проявиться с максимальной магнитудой $M_{max} = 6,5-7,5$.

2. *Ереванская сейсмогенная зона* также обусловлена одноименным глубинным разломом, имеющим дугообразную форму простираения и осложненным множеством разрывных нарушений различной глубины проникновения и простираения. Она в субширотном направлении прослеживается южнее г. Еревана – от р. Ахурян на западе до г. Масис. Далее, принимая юго-восточное направление, прослеживается вдоль линии пос. Двин-

Барцруни, входит в Нахичеван по направлению г. Джульфы и, пересекая долину р. Аракс, уходит в Иран. В этой зоне ВОЗ расположены очаги ряда крупных землетрясений с магнитудой $M = 6,0-7,0$, таких, как Двинское землетрясение IX века, Вайоцзорское – 906г. и др. Сейсмический потенциал этой зоны оценен $M_{max} = 6,5-7,5$.

3. *Зангезурская сейсмогенная зона* обусловлена зоной поднятия подошвы сейсмоактивного слоя, разграниченного с востока и запада Хуступ-Гиратахским и Дебаклинским глубинными разломами. Зона имеет субмеридиональное простираение от р. Аракс на юге до юго-восточного побережья оз. Севан. Она проявляется современной тектонической активностью, о чем свидетельствуют зафиксированные вдоль зоны молодые правосдвиговые смещения в районах сс. Таштун, Личк, а также результаты геодинимических исследований.

С этой зоной связаны сильные землетрясения с магнитудами $M = 6,0 - 6,5$, очаги которых расположены в районах сс. Татев, Сваранц, Вагуди. Здесь также расположены эпицентры трех палеоземлетрясений, следы которых в виде сеймотектонических дислокаций установлены А.С. Караханяном (1994, 1998) в районе с. Карцахпюр (768г. до Р.Х., $M = 6,5$) и на горе Хонарасар (4-5 тыс. лет, конец I тысячелетия до Р.Х. с магнитудами $M \leq 7,5$). На юге к зоне приурочены очаги двух Зангезурских землетря-

сений XX века: 1931 г. ($M = 6,3$) и 1968 г. ($M = 5,1$). По совокупности способов оценок максимально возможная магнитуда в этой зоне оценена $M_{\max} = 6,5-7,5$.

4. *Гарни-Спитакская сейсмогенная зона* имеет север – северо-западное простирание и обусловлена Гарнийским разломом, выделенным А. С. Карахняном (1994) по комплексу структурно-геологических и аэрокосмических данных. Она протягивается от зоны сочленения с Ереванским глубинным разломом (верховья р. Веди) через п. Гарни-г. Чаренцаван, пересекает долины рек. Раздан и Мармарик и, принимая северо-западное направление, подходит к г. Спитак, сочленяясь с Памбак-Севанским глубинным разломом. По зоне отмечены многочисленные молодые правосдвиговые смещения с амплитудой от 100 до 200 и более метров. По более глубоким горизонтам, изученным гравиметрическим и сейсмическим методами, величина этих сдвигов в десятки раз выше и достигает 5-10 км. Гарни-Спитакская зона характеризуется высокой сейсмической активностью: с юга на север к этой зоне приурочены очаги землетрясений 1679 г. ($M = 7,0$) и 1827 г. ($M = 6,5$). В зоне сочленения с Памбак-Севанским глубинным разломом расположен очаг Спитакского землетрясения, юго-восточная часть сейсмогенного разрыва которого является структурным продолжением Гарнийского разлома. Сейсмический потенциал этой зоны $M_{\max} = 6,5-7,0$.

Сейсмогенные зоны второй категории

1. *Иджеван-Джавахетская сейсмогенная зона* имеет общекавказское (северо-западное) простирание и проходит по линии южнее г. Берд – г. Иджеван – г. Алаверди – п. Мецаван, а затем, пересекая границу Грузии, доходит до Джавахетского нагорья, где посредством Арагац – Джавахетского субмеридионального разлома смещается влево, принимает широтное направление и простирается на территорию Турции. В этой зоне неотектонические и современные движения происходят в умеренных пределах, невысока также сейсмическая активность на территории Армении, о чем свидетельствуют приуроченные к ней очаги нескольких землетрясений с $M = 4,5-5,0$. Однако, учитывая сейсмические проявления в этой зоне в соседних странах, а также оценки сейсмического потенциала по геологическим характеристикам этой зоны, принимаем, что возможные землетрясения в этой зоне могут проявиться с максимальной магнитудой $M_{\max} = 5,75-6,25$.

2. *Ани-Баяндур-Апаранская сейсмогенная зона* имеет дугообразную форму и разграничивает с севера и северо-запада крупнейший Ереван-Мараликский приподнятый блок. Она выделяется вдоль линии г. Дигор – п. Ани – с. Баяндур – с. Мусаелян – г. Апаран до верховьев р. Мармарик, где происходит ее сочленение с Гарни-Спитакской зоной посредством которой претерпевает правый сдвиг с амплитудой 10-15 км, в районе г. Чаренцавана меняет направление, обратной дугой уходит на восток и через г. Гавар – оз. Севан

доходит до места сочленения с Памбак-Севанским глубинным разломом. С этой зоной связаны Ленинанканское землетрясение 1926 г. ($M = 5,7$), Дигорское 1935 г. ($M = 6,5$) и ряд сильнейших исторических землетрясений с $M = 5,5 - 6,5$, разрушивших в 1022, 1034, 1036, 1065 гг. столицу Армении г. Ани.

Сейсмический потенциал юго-западного сегмента этой зоны оценен величиной $M_{\max} = 6-6,5$, а остальной части зоны $M_{\max} = 5,75-6,25$.

3. *Арагац-Джавахетская сейсмогенная зона* обусловлена одноименным глубинным разломом, являющимся одним из многочисленных проявлений Транскавказской субмеридиональной зоны разломов (поднятий). Прослеживается она вдоль линии Джавахетское нагорье – гора Арагац и по этой же линии простирается на юг, доходя до долины р. Аракс. В активные современные тектонические движения включена лишь северная – Ширак-Джавахетская часть этой зоны, однако в сеймотектоническом плане она играет важную роль в проявлении сейсмичности. С этой зоной связаны очаги многих землетрясений с $M = 4,6 - 5,5$. Сейсмический потенциал этой зоны по комплексу способов оценок равен $M_{\max} = 5,75-6,25$. Приведенные выше данные показывают, что большинство очагов сильных землетрясений Армении приурочены к зонам активных глубинных разломов, достигающих глубин 20 км и более. Однако, не все глубинные разломы и не на всей протяженности способны генерировать сильные землетрясения.

Очаги последних локализуются в зонах контрастного сочленения активных геоблоков, различающихся как историей тектонического развития, степенью новейшей активности, так и особенностями внутреннего строения и геодинамическим режимом. Разработанная на основе сейсмологической идентификации и параметризации основных элементов структурно-динамической модели земной коры схематическая карта зон возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) территории Армении в масштабе 1:2000000 может служить основой для решения задач детального сейсмического районирования и оценки сейсмического риска.

ЛИТЕРАТУРА

- Гаспарян Г. С., Оганесян А. О. Проблема оценки сейсмической опасности Армении и некоторые инженерно-сейсмо-геологические основы ее решения. Тез. докл. Юбилейной научной конференции, посвященной 35-летию основания ИГИС НАН РА. Гюмри: Изд. НАН РА, 1996, с. 83-85.
- Геодакян Э. Г., Саргсян Г. В. Исследование долгосрочных параметров сейсмичности территории Армянской ССР. Сейсмологический бюллетень Кавказа 1981 г. Тбилиси: Изд. "Мецниереба", 1987, с. 114-122.
- Карахнян А. С. Активная тектоника и сейсмичность. В кн.: Геология Севана. Ереван: Изд. НАН РА, 1994, с. 122-128.
- Карахнян А. С. Сеймотектоника и сейсмическая опасность, детальное сейсмическое районирование территории Нагорно-Карабахской республики.

Микрорайонирование городов Степанакерт и Шуши. Отчет, Научно-исследовательская компания "Геориск". Ереван, 1998, 20 с.

Оганесян С.М., Оганесян А.О., Гаспарян Г.С., Фиданян Ф.М. Структурно-динамическая характеристика земной коры территории Армении по комплексу геофизических данных. Изв. НАН РА, Науки о Земле, 2005, LVIII, № 3, с.40-53.

Уломов В.И. Моделирование зон возникновения очагов землетрясений на основе решетчатой регуляризации. Изв.РАН, "Физика Земли", 1998, № 9, с.20-38.

Штейнберг В.В. Колебания грунта при землетрясениях. Вопросы инженерной сейсмологии. Вып.31. М.: Изд. "Наука", 1990, с.47-66.

Dorbath L., Sisternas A., and Dorbath C. Quantitative assessment of great in Peru. Bull. Seismol. Soc Am. 80, 1990, p.551-576.

Howhannisian S.M., Howhannisian H.O., Gasparian H.S. and Fidanian F.M. Study of the Armenian Territory in connection with the Detail Seismic Zonation. IASPEI 29th Gen.Ass. 1997. Greece And 18-28, p.299.

Slemmons D. Determination of Design Earthquake magnitudes for microzonation. Proc.of the Third International Earthquake Microzonation Conference. Vol 1-3, 1992.

Wells D., Coppersmith K. Updated empirical relationship, rupture length, rupture area, and surface displacement. Bull. Seismol. Soc Am. 80, 1990, p.551-576.

Рецензент Р.Т. Мираджанян

ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐԻ ՕՋԱԽԻ ԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ԳՈՏԻՆԵՐԻ ԱՌԱՆՉՆԱՅՈՒՄԸ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԵՐԿՐԱԿԵՂԵԼԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱՂԻՆՄԱՆԿ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ՏԱՐՐԵՐԻ ՍԵՅՍԱՔԱՆԱԿԱՆ ՆՈՒՅՆԱՑՄԱՆ ԵՎ ԶԱՓՈՐՈՇՄԱՆ ՄՈԴԵԼԻ ՀԻՄՆԱՆ ՎՐԱ

**Ս. Մ. Հովհաննիսյան, Ա. Հ. Հովհաննիսյան, Է. Գ. Գեոդակյան,
Գ. Ս. Գասպարյան, Վ. Գ. Գրիգորյան**

Ա մ փ ո փ ու մ

Հավանական երկրաշարժերի օջախի (ՀԵՕ) առաջացման դետերմինացված մոդելի կառուցման «Համարժեք երկրաշարժերի օջախի տեխնոլոգիա – Վոստոկ 97-ի» հիման վրա իրականացվել է Հայաստանի երկրակեղևի կառուցվածքադինամիկ հիմքի տարրերի նույնացումը տարածքի սեյսմիկության տեսանկյունից: Այս մոդելում առանձնացված սեյսմածին կառուցվածքները նույնացված են որպես տարբեր նշանակության կատեգորիաներ և երկրաբանական և սեյսմոլոգիական համալիր չափանիշներով որոշվել են նրանց սեյսմիկ պոտենցիալը (M_{max}):

Հայաստանի տարածքի համար մշակված երկրաշարժերի օջախի առաջացման 1:200000 մասշտաբի սխեման կարող է ծառայել սեյսմիկական մանրամասն շրջանացման, սեյսմավտանգավորության և սեյսմիկական ռիսկի գնահատման հիմք:

SEPARTION OF ZONES OF EARTHQUAKE FOCUS FORMATION ON THE BASIS OF SEISMOLOGICAL IDENTIFICATION AND PARAMETRIZATION OF MAIN ELEMENTS OF STRUCTURAL DYNAMIC MODEL OF THE EARTH'S CRUST OF ARMENIA

**S. M. Hovhannisyan, H. H. Hovhannisyan, E. G. Geodakyan,
G. S. Gasparyan, V. G. Grigoryan**

Abstract

On the basis of the model of probabilistic-deterministic models of zones PEF "Technology adequate earthquake focus-Vostok 97" an identification of the main elements of structural-dynamic models of the earth's crust of Armenia is carried out with seismicity. Separated seismogen structures of the model are identified as zones PEF of different categories of significance and by complex of geological and seismological criteria are determined their potential.

The circuit PEF of the territory of Armenia developed on the basis to a scale 1:200000 may serve as a basis for the solution of problems of detailed seismic zonation, seismic hazard and seismic risk assessment.