

V. МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

УДК 550.348

О ПРОЕКТЕ НОВОЙ МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЙ ШКАЛЫ ЕЕЕ

Е.А. Рогожин

Институт физики Земли РАН, г. Москва, eurog@ifz.ru

Основой шкалы ЕЕЕ являются эффекты землетрясения в окружающей среде (Earthquake Environmental Effects) – любые последствия сейсмического события в природе. В литературе на русском языке для обозначения ЕЕЕ используется также выражение «геологические проявления землетрясения». Остановимся на их краткой характеристике.

Геологические проявления сильных землетрясений. Сейсмические очаги, как правило, приурочены к зонам крупных разломов. С нарастанием энергии землетрясения они становятся все более сложными в структурном отношении. В природе существуют сравнительно просто устроенные очаги землетрясений, приуроченные к плоскостям крупных разломов или формирующихся в дизъюнктивных узлах разного ранга, и очень сложные очаги, характеризующиеся объемной структурой вдоль границ крупных сейсмогенных блоков и даже относящиеся к межплитному типу [1]. Разные по строению очаги по-разному проявляются в виде сейсмодислокаций на поверхности.

Термин «сейсмодислокация» введен в обращение В.П. Солоненко [2, 3] для обозначения разнообразных локальных деформаций на поверхности, сопровождающих сильнейшие землетрясения. Под сейсмодислокациями понимается комплекс выраженных в рельефе остаточных (тектонических и гравитационных) деформаций, образование которых необъяснимо никакими другими причинами, кроме сейсмических. Выделяют первичные, собственно сеймотектонические, и вторичные – вибрационные, гравитационно-сеймотектонические и сеймогравитационные геодинамические сейсмодислокации [2].

Первичные сеймотектонические дислокации представляют собой выход сейсмического очага на поверхность в виде сейсморазрывов. Сейсморазрывы, как и обычные геологические разломы, различаются по морфокинематике. Слабые и многие умеренные сейсмические толчки не порождают на поверхности сейсморазрывов. Сейсморазрывы возникают по большей части при сильных и сильнейших толчках, хотя имеются исключения и в этом случае. Так, первичные сейсмодислокации в очаге отсутствуют при глубоком, нижнекоровом его положении или при пологом, близгоризонтальном положении плоскости сместителя. В этом случае очаги землетрясений связаны с активизацией так называемых «слепых» разломов.

С ростом магнитуды землетрясений и в зависимости от кинематики подвижки увеличивается длина сейсморазрыва и усложняется его форма. Если землетрясения умеренных магнитуд (с $M=6.0-6.5$) сопровождаются обычно линейными сейсморазрывами небольшой протяженности (с $L=10-15$ км), то сильные и сильнейшие сейсмические события порождаются процессом в очагах, имеющих большую протяженность ($L=30-400$ км) и сложную форму в плане и разрезе. Землетрясения с магнитудой $M=7.0-7.5$ имеют длину магистрального сейсморазрыва $L=30-60$ км; действующие плоскости очага, перекрещивающиеся в виде лопастей дизъюнктивного узла, а в случае землетрясений с магнитудой $M=8.0-8.5$ в сейсмогенные подвижки включаются объемные блоки коры. Общая длина (L) очаговой зоны такого землетрясения может составлять несколько сотен километров.

К гравитационно-сеймотектоническим явлениям [2, 3] относят сбросо-обвалы или гравитационно-сеймотектонические клинья, смещения горных масс под влиянием силы тяжести, вызванные движением крыльев разломов, образованные при большой расчлененности рельефа.

Эти структуры отличаются от сейсморазрывов сбросовой кинематики, в основном, тем, что их зоны отрыва в плане имеют циркуобразную, а не линейную форму. Существенно то, что как сейсмобросы, так и сбросо-обвалы сопровождаются другими гравитационными явлениями. К ним относятся трещины отрыва и отседания склонов, оползни, камнепады, осыпи и обвалы горных масс. Сейсмогенные оползни морфологически выражены оползневыми цирками, в которых значение основного элемента имеет тыловая стенка отрыва, а в роли сопутствующего элемента выступают оползневые массы. Последние могут находиться перед оползневым цирком, как у обычного оползня, или могут быть выдвинуты вперед длинным языком сейсмобужденных масс и, наконец, могут быть отброшены на некоторое расстояние подземным ударом.

Сейсмобросами или каменными лавинами называется явление перемещения оторванных масс под воздействием сильного сейсмического удара. Отброшенные массы в зависимости от направления и силы удара могут находиться несколько дальше, чем они находились бы в случае, если бы их перемещение было вызвано только силами гравитации. При этом иногда аномально большие амплитуда и скорость горизонтального перемещения горной массы может быть объяснена движением материала на «воздушной подушке».

К сопутствующим элементам сейсмоструктур можно отнести осыпи, имеющие, как правило, меньшую продолжительность сохранности, чем основные. При относительно слабых ($I \leq 8$ баллов) землетрясениях основные элементы структур образуются не часто, а сопутствующие элементы расцениваются как сейсмогенные только тогда, когда доказывается очаговый характер их распространения. Осыпи широко представлены как в пределах самих эпицентральных зон, так и на их окраинах.

Вибрационными сейсмодислокациями являются структуры разжижения: грязевые сопки, грифоны, площадные разливы разжиженного песка и грязи, нептунические дайки. Нептунические дайки, выявляемые в толщах четвертичных рыхлых отложений, свидетельствуют о протрузионном внедрении разжиженного песка в вышележащие толщи под действием сжимающего импульса при прохождении сейсмической волны. Такие явления широко распространены в эпицентральных зонах современных сильных землетрясений.

Шкала ЕЕЕ разработана в рамках проекта международной геологической организации International Quaternary (INQUA). Выделены следующие типы эффектов:

- первичные разрывы на поверхности;
- склоновые движения;
- трещины в грунте;
- просадки и разрушения грунта; гидрогеологические аномалии;
- волнение водной поверхности, цунами;
- не геологические природные явления.

Количественные характеристики эффектов, учитываемые шкалой, отражают как величину эффекта (например, объем оползня), так и площадь его распространения. Кроме того, отмечается, насколько характерен данный эффект для каждого балла. Также учитывается, какие факторы благоприятны для его возникновения.

Деформации на поверхности земли, связанные с сейсмическим воздействием разной интенсивности, позволяют определить интенсивность сотрясений при современном землетрясении даже в случае отсутствия в эпицентральной области зданий и сооружений, а также оценить палеоинтенсивность сотрясений при древних сейсмических событиях [4–8]. Перечислим геологические эффекты в зонах разной сейсмической интенсивности (балльности) сотрясений.

I–II балла. Нет заметных природных проявлений. Исключительно редко возникают малые проявления деформации поверхности, которые можно зафиксировать только инструментальными методами. Такие воздействия типичны для периферических частей зоны сильных землетрясений.

III балла. Нет заметных природных проявлений. Первичные сейсмодислокации отсутствуют. Исключительно редко возникают небольшие изменения уровня воды в скважинах или дебита родников. Такие воздействия типичны для периферических частей зоны сильных землетрясений.

IV балла. Нет заметных природных проявлений. Первичные сейсмодислокации отсутствуют. Изредка возникает растрескивание поверхности слабых грунтов и обводненной почвы на уступах рельефа. Редко возникают небольшие изменения уровня воды в скважинах, озерах или

дебита родников. В исключительных случаях отмечаются небольшие обвалы или оползни на нестабильных склонах, сложенных рыхлыми или обводненными грунтами. Очень редко образуются небольшие карстовые провалы и воронки.

V баллов. Появляются слабые эффекты в окружающей среде. Первичные сейсмодислокации отсутствуют. В некоторых случаях возникает растрескивание поверхности слабых грунтов и обводненной почвы на уступах рельефа. Редко возникают небольшие изменения уровня воды в скважинах, озерах или дебита родников. Редко отмечаются небольшие обвалы или оползни на крутых, нестабильных склонах, сложенных рыхлыми или обводненными грунтами. В исключительно редких случаях проявляются процессы разжижения в виде отдельных маленьких песчаных грифонов в условиях приповерхностного уровня грунтовых вод. Очень редко образуются небольшие карстовые провалы и воронки.

VI баллов. Умеренные эффекты в окружающей среде. Первичные сейсмодислокации отсутствуют. Временами тонкие, миллиметровые разрывы наблюдаются на поверхности в рыхлых грунтах и/или обводненных почвах. На крутых склонах и бортах рек их ширина достигает $d=1-2$ см. В некоторых случаях возникает растрескивание поверхности асфальтированных дорог и каменных покрытий. Редко возникают значительные изменения уровня воды в скважинах, озерах или дебита родников. Обвалы или оползни объемом до $V=1000$ м³ на крутых, нестабильных склонах, сложенных рыхлыми или обводненными грунтами. Отрывы склонов, сложенных выветрелыми, растресканными породами. Область проявления склоновых процессов обычно занимает площадь $S<1$ км². В редких случаях проявляются процессы разжижения грунта в виде отдельных маленьких песчаных грифонов в условиях приповерхностного уровня грунтовых вод. Очень редко образуются небольшие карстовые провалы и воронки. Крупные волны возникают на внутренних водоемах.

VII баллов. Заметные эффекты в окружающей среде. Первичные сейсмодислокации наблюдаются очень редко. Ограниченное поверхностное разрывообразование с длиной отдельных разрывов в первые десятки метров и амплитудой смещений в первые сантиметры на поверхности может появиться в связи с вулcano-тектоническими землетрясениями.

Разрывы шириной $d=5-10$ см наблюдаются в рыхлых грунтах и/или обводненных почвах, реже на сухом песке и песчано-глинистых осадках. На глинистых почвах разрывы достигают в ширину $d=1$ см. Сантиметровые трещины фиксируются на поверхности асфальтированных дорог и каменных покрытий. Достаточно часто возникают значительные изменения уровня воды в скважинах, озерах или дебита родников. Частые обвалы или оползни объемом от $V\sim 1000$ до $V\sim 100\ 000$ м³ на крутых, нестабильных склонах, сложенных рыхлыми или обводненными грунтами. На сухих песках и глинах они обычно имеют объем $V\sim 100$ м³. Разрывы, оползни и обвалы возникают на бортах долин рек, искусственных набережных и на стенках поверхностных горных выработок.

Гравитационные процессы охватывают участки склонов, сложенных выветрелыми, растресканными породами. Область проявления склоновых процессов обычно занимает площадь $S<10$ км². В редких случаях проявляются процессы разжижения в виде отдельных песчаных грифонов диаметром до $2r=50$ см в условиях приповерхностного уровня грунтовых вод. Возможны большие карстовые провалы и воронки. Крупные волны возникают на внутренних водоемах.

VIII баллов. Значительные эффекты в окружающей среде. Первичные сейсмодислокации наблюдаются редко. Поверхностные разрывы достигают нескольких сотен метров в длину. Амплитуда смещений до $A_{\max}=5$ см на поверхности может появиться в связи с очень мелкофокусными землетрясениями такими, как вулcano-тектонические сейсмические толчки. Может проявляться тектоническое проседание или тектоническое поднятие порядка нескольких сантиметров. Разрывы шириной $d=25-50$ см наблюдаются в рыхлых грунтах и/или обводненных почвах, реже на сухом песке и песчано-глинистых осадках. Изредка в сухих компетентных породах разрывы достигают в ширину $d=1$ см. Дециметровые трещины фиксируются на поверхности асфальтированных дорог и каменных покрытий. Водные источники временно могут существенно изменить дебит. Некоторые небольшие источники пересыхают. Возникают значительные изменения уровня воды в скважинах, вода в озерах мутнеет, увеличивается температура подземных вод. На песчаных пляжах отмечаются небольшие волнообразные деформации. Небольшие и средние по размеру оползни объемом от $V=1000$ м³ до $V=100\ 000$ м³ широко рас-

пространены на наклонных поверхностях. Реже они появляются и на пологих склонах, сложенных рыхлыми или обводненными грунтами. Частые обвалы образуются на крутых обрывах. Их объем достигает от $V=100\ 000$ до $V=1\ 000\ 000\ м^3$.

Обвалы могут временами запруживать узкие долины, образуя временные или постоянные подпрудные озера. Разрывы, оползни и обвалы развиваются на берегах рек, искусственных набережных и выработках (например, на дорожных понижениях, в карьерах) в рыхлых осадках или выветрелых скальных породах. Область, захваченная склоновыми процессами, обычно имеет площадь $S < 100\ км^2$. Разжижение может быть распространено в эпицентральной области в зависимости от грунтово-гидрогеологических условий; возникают песчаные сопки (грифоны) диаметром вплоть до $2\ r=100\ см$; появляются водные фонтаны в стоячих водоемах; разжижения охватывают местами припортовые области, речные банки, озера, каналы, морские берега. Карстовые полости могут обрушиться, формируются карстовые воронки. Распространены случаи обвалов и оползней под уровнем моря в прибрежных областях.

На поверхности внутренних водоемов возникают значительные волны.

IX баллов. Сейсмические эффекты оставляют значимые и необратимые следы в окружающей среде. Первичные сейсмодислокации обычны. Сейсморазрывы на поверхности Земли имеют длину от нескольких до первых десятков километров, смещения обычно составляют $A_{max} < 10-20\ см$. Наблюдается проседание или поднятие земной поверхности с максимальными величинами в несколько дециметров. Могут возникнуть разрывы шириной вплоть до $d=50-100\ см$ в рыхлых, наносных отложениях и/или водонасыщенных почвах; в компетентных скальных породах они могут достигать $d=10\ см$. Значимые трещины типичны для вымощенных (асфальт или камень) дорог. На дорожном покрытии фиксируются также волнообразные движения небольшой амплитуды. Источники подземных вод могут изменить дебит на обширной площади. Некоторые небольшие источники могут пересохнуть. Наблюдается изменение уровня грунтовых вод в скважинах. Часто фиксируется изменение температуры воды в источниках и/или скважинах. Вода в озерах и реках часто становится мутной.

Оползнеобразование широко распространено на склонах, а также в пологих откосах; на неустойчивых склонах. Обычны отрывы крутых откосов в условиях водонасыщенных почв; обвалы скальных пород в крутых ущельях, на береговых обрывах. Их объем часто большой ($V=10^5\ м^3$), иногда очень большой ($V=10^6\ м^3$). Обвалы и оползни могут запруживать узкие долины, вызывая образование временных или постоянных озер. Берега рек, искусственные набережные и выработки (например, дорожные понижения, карьеры) часто обрушиваются. Область возникновения склоновых процессов обычно имеет площадь $S < 1000\ км^2$. Разжижение и выбросы воды широко распространены; образуются песчаные сопки (грифоны) размером до $2\ r=3\ м$ в диаметре; часто возникают водные фонтаны на поверхности неподвижных водоемов. Системы параллельных разрывов образуются в прибрежных условиях (речные банки, озера, каналы, морские берега); на поверхности песчаных пляжей наблюдаются волнообразные деформации.

Возникают карстовые провалы большого размера, формируются карстовые воронки. Распространены большие обвалы под уровнем моря в береговых областях.

На поверхности неподвижных водоемов возникают большие волны. Небольшие цунами могут достигнуть береговых областей с приливными волнами вплоть до $A_{max}=100\ см$.

В сухих областях с земли могут подняться облака пыли. В эпицентральной области небольшие камни могут выпрыгивать из земли, оставляя цепочки типичных отпечатков в мягкой почве.

X баллов. Сейсмогеологические эффекты в окружающей среде становятся доминирующими.

Определяющим видом сейсмодислокаций становятся первичные сейсморазрывы. Разрывы на поверхности земли могут распространяться на несколько десятков километров, с амплитудой смещений до $A_{max}=2\ м$ в случае взбросовых и $4\ м$ – в случае сбросовых подвижек. Гравитационные грабены и удлиненные депрессии развиваются при мелкофокусных сейсмических событиях, например, при землетрясениях вулкано-тектонической природы. Длина разрыва в этом случае может быть значительно меньше. Тектоническое опускание или поднятие поверхности земли измеряется максимальными величинами порядка нескольких метров. Большие оползни и обвалы скальных пород объемом $V > 10^6\ м^3$ распространены, практически, повсеместно, независимо от равновесия откосов; образуются временные или постоянные озера подпрудного типа. Речные банки, искусственные набережные и стенки естественных и искус-

венных выемок обрушиваются. Разрушение плотин и земляных дамб может вызвать серьезный ущерб. Область распространения катастрофических склоновых явлений обычно достигает площади $S=5000 \text{ км}^2$.

Наблюдается значительное изменение дебита многочисленных источников. Некоторые могут временно высохнуть или исчезнуть полностью. Наблюдается изменение уровня грунтовых вод в скважинах.

Часто изменяется температура воды в источниках и/или скважинах. Вода в озерах и реках часто становится мутной. Образуются трещины в грунте шириной $d>100 \text{ см}$, распространенные, главным образом, в рыхлых наносных отложениях и/или водонасыщенных почвах. Трещины в компетентных скальных породах достигают ширины в несколько дециметров. Широкие трещины развиваются в покрытии мощных (асфальт или камень) дорог, обычны также волнообразные движения покрытия. Разжижение грунтов, водонасыщенными осадками, и даже в уплотненных грунтах вполне обычно, могут возникать грязевые вулканы из разжиженного песка с диаметром $2r>6 \text{ м}$; высота сопки $h>1 \text{ м}$; характерны большие и длинные расщелины с выбросами и разливами разжиженного песка.

Существенные разрушения карстовых полостей вполне обычны; формируются обширные карстовые воронки. Распространены большие оползни и обвалы пород и осадков под уровнем моря в береговых областях. Возникают высокие волны, разрушающие берега водоемов. Реки, каналы и озера могут выйти из берегов. Цунами достигает береговых областей с приливными волнами вплоть до нескольких метров высотой.

Деревья энергично сотрясаются. В сухих областях могут подняться с земли облака пыли. Камни, даже хорошо зафиксированные в почве, могут выпрыгивать из земли, оставляя типичные отпечатки в мягкой почве.

XI баллов. Эффекты окружающей среды становятся существенными для оценки интенсивности.

Первичные разрывы на поверхности могут достигать десятков километров, и даже превышать в длину $L=100 \text{ км}$, амплитуда смещения при этом достигает нескольких метров. Гравитационные грабени, удлиненные депрессии и гребни сжатия сопровождают сейсморазрывы на поверхности. Дренажные системы могут быть серьезно смещены. Может произойти тектоническое опускание или поднятие поверхности земли с максимальными величинами порядка многих метров.

Большие обвалы и оползни объемом $V>10^6 \text{ м}^3$ распространены весьма широко и практически независимо от состояния и равновесия откосов. Гравитационные катастрофические процессы вызывают подпруживание рек и ручьев, в результате чего возникают временные или постоянные озера. Речные банки, искусственные набережные и склоны естественного и искусственного происхождения обрушиваются. Дамбы и земные плотины получают серьезные повреждения. Значимые оползни и обвалы могут произойти на расстоянии $\Delta=200\text{--}300 \text{ км}$ от эпицентра. Первичные и вторичные эффекты окружающей среды могут наблюдаться над территории с площадью до $S=10\,000 \text{ км}^2$.

Значительное изменение дебита многочисленных водных источников вполне обычно. Часто они могут временно пересохнуть или исчезнуть совсем. Изменение уровня воды наблюдается в скважинах. Часто изменяется температура воды в источниках и/или скважинах. Вода в озерах и реках часто становится мутной.

Возникают трещины в почве шириной вплоть до нескольких метров. Они широко распространены, главным образом, в рыхлых наносных отложениях и/или в водонасыщенных грунтах. В компетентных скальных породах трещины могут достигать ширины $d=100 \text{ см}$. Возникает сильнейшее растрескивание асфальтового или каменного покрытия дорог. Наблюдаются волнообразные движения большой амплитуды.

Разжижение охватывает обширные зоны пониженного рельефа, возникают многочисленные крупные грязевые вулканы разжиженного песка и ширококомасштабное латеральное растекание грязи.

Очень обширны обрушения карстовых полостей; формируются карстовые воронки.

Распространены большие обвалы и оползни материала под уровнем моря в береговых областях. Высокие волны возникают во внутренних водоемах. Они вызывают разрушение берегов. Реки, каналы и озера могут выйти из берегов. Цунами достигает береговых областей с приливными волнами вплоть до многих метров в высоту.

Деревья трясутся энергично; многие деревья ломаются и падают. В сухих областях с земли могут подняться облака пыли. В эпицентральной области небольшие валуны, даже прочно зафиксированные в почве, могут выпрыгивать из земли, оставляя типичные отпечатки в мягкой почве.

ХII баллов. Эффекты окружающей среды являются единственным средством, позволяющим оценивать сейсмическую интенсивность.

Первичные сейсморазрывы на поверхности могут достигать нескольких сотен километров в длину, вплоть до $L=1000$ км. Разрывы демонстрируют смещения с амплитудой A_{\max} до нескольких десятков метров. Гравитационные грабены, удлиненные депрессии (трещины) растяжения и валы сжатия формируются в зоне сейсморазрывов. Дренажные системы серьезно повреждаются. Ландшафт и геоморфологические особенности местности существенно изменяются в связи с первичными сейсмодислокациями. Эти изменения могут достигнуть чрезвычайных размеров и значения. Типичными примерами являются поднятие или погружение побережий на несколько метров, появление или исчезновение из поля зрения значимых особенностей горизонта, изменение курса рек, возникновение водопадов, образование или исчезновение озер.

Большие обвалы и оползни объемом $V>10^6$ м³ распространены повсеместно, практически независимо от состояния и равновесия откосов. Склоновые процессы вызывают образование многих временных и постоянных подпрудных озер. Обрушиваются речные банки, искусственные набережные, склоны естественных и искусственных выемок. Испытывают серьезный ущерб дамбы и земные плотины. Значимые обвалы и оползни могут произойти на расстоянии $\Delta>200-300$ км от эпицентра. Первичные и второстепенные эффекты окружающей среды могут наблюдаться на территории с площадью $S>50\,000$ км².

Значительное изменение дебита многочисленных водных источников вполне обычно. Часто они могут временно пересохнуть или исчезнуть совсем. Изменение уровня воды наблюдаются в скважинах. Часто изменяется температура воды в источниках и/или скважинах. Вода в озерах и реках часто становится мутной. Зачастую изменяется температура воды в источниках и/или скважинах. Вода в озерах и реках часто становится мутной.

Возникают открытые трещины в почве, в скальных породах, шириной $d>100$ см. В рыхлых наносных отложениях и/или в водонасыщенных грунтах ширина трещин может достигать $d=10$ м. Трещины могут иметь длину до нескольких километров. Возникает сильнейшее растрескивание асфальтового или каменного покрытия дорог. Наблюдаются волнообразные движения большой амплитуды.

Разжижение охватывает обширные зоны пониженного рельефа, возникают многочисленные крупные грязевые вулканы разжиженного песка и широкомасштабное латеральное растекание грязи.

Происходят очень большие обрушения карстовых полостей; формируются карстовые воронки.

Распространены большие обвалы и оползни материала под уровнем моря в береговых областях. Во внутренних водоемах возникают высокие волны. Они вызывают разрушение берегов. Реки, каналы и озера могут выйти из берегов. Цунами достигает береговых областей с приливными волнами вплоть до нескольких десятков метров в высоту. Деревья энергично сотрясаются, многие ломаются и падают. В сухих областях могут подняться с земли облака пыли. В эпицентральной области могут выпрыгивать из земли даже большие валуны, прочно зафиксированные в почве, оставляя типичные отпечатки в мягкой почве.

Признание роли шкалы ЕЕЕ в определении интенсивности землетрясений находит все большее распространение среди специалистов в основном из-за следующих обстоятельств:

Величина ЕЕЕ является наиболее надежным средством оценки сильных землетрясений. При наиболее сильных сотрясениях (интенсивность X и более баллов) эффекты в инженерной среде подвержены насыщению (почти все здания и сооружения уже разрушены), поэтому они не позволяют надежно различать высшие баллы. В то же время величина ЕЕЕ продолжает оставаться пропорциональной интенсивности землетрясения.

Использование ЕЕЕ обеспечивает сопоставимость оценок интенсивности землетрясений на глобальном уровне. Это утверждение основано на том, что ЕЕЕ свободны от влияния особенностей социальных, культурных и конструктивных особенностей инженерной среды,

которые существенно различаются по всему миру. Кроме того, область, подверженная землетрясению, может целиком или частично располагаться в необитаемой местности; в таком случае единственными данными для оценки интенсивности, будут эффекты в природной среде.

Интенсивность, основанная на ЕЕЕ, позволяет сравнивать современные, исторические и доисторические землетрясения. Поскольку реакция инженерной среды на сейсмические воздействия зависит от особенностей самой инженерной среды, а не только от силы воздействия, трудно сопоставить интенсивность сотрясений от двух землетрясений, произошедших в одной и той же области, но в существенно разные исторические периоды (т.к. инженерная среда за это время могла радикально измениться). Но это может быть сделано на основании описаний ЕЕЕ. Более того, использование ЕЕЕ продлевает временной интервал, охваченный каталогами землетрясений, в доисторические времена. Величина поверхностного разрыва или области распространения вторичных эффектов (например, оползни, разжижения и т.п.), относящиеся к доисторическому землетрясению, могут быть определены в ходе специальных палеосейсмогеологических исследований.

Перспективным представляется использование шкалы ЕЕЕ в сочетании с традиционными макросейсмическими шкалами.

Текст шкалы ЕЕЕ в табличной форме [9] приведен в разделе VIII «Дополнительные данные» настоящего сборника.

Л и т е р а т у р а

1. **Рогожин Е.А.** Сеймотектоника зон сильнейших землетрясений России 2003–2006 гг. // Национальный отчет Международной ассоциации сейсмологии и физики недр Земли Международного геодезического и геофизического Союза за 2003–2006 (К XXIV Генеральной ассамблее Международного геодезического и геофизического союза). – М.: Национальный геофизический комитет РАН, 2007. – С. 29–38.
2. **Солоненко В.П.** Палеосейсмогеология // Физика Земли – 1973. – № 9. – С. 3–16.
3. **Солоненко В.П.** Палеосейсмогеология. Критика и домыслы // Геология и геофизика. – 1984. – № 5. – С. 119–127.
4. **Татевосян Р.Э., Рогожин Е.А., Гваррери Л., Микетти А.М., Серва Л., Виттори Э.** Эффекты землетрясения в природной среде (ЕЕЕ) и оценка интенсивности: проект шкалы INQUA // Исследования по сеймотектонике и современной геодинамике. – М.: ИФЗ РАН, 2006. – С. 149–168.
5. **Татевосян Р.Э., Рогожин Е.А., Арефьев С.С.** Оценка интенсивности землетрясений на основании сейсмических эффектов в природной среде: общие принципы и примеры применения // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2008. – 35. – № 1. – С. 7–27.
6. **Michetti A.M., Esposito D.,...Rogozhin E.A. et al.** An innovative approach for assessing earthquake intensities based on seismically-induced ground effects in natural environment // Carta Geol. D' Italia, vol. LXYII (Special Paper). – Roma: SystemCart., 2004. – 116 p.
7. **Intensity scale ESI 2007** / Ed. Guerrieri L., Vittori E. Carta Geol. D' Italia, vol. LXXIV. – Roma: SystemCart., 2007. – 74 p.
8. **Yaets R., Sieh K., Allen C.** The Geology of Earthquakes // Oxford: Oxford University Press, 1997. – 568 p.
9. **Рогожин Е.А.** Табличная форма макросейсмической шкалы ЕЕЕ оценки интенсивности сотрясений. (См. раздел VI (Дополнительные данные) в наст. сб. на CD).