УДК
550.348.4

Р.А. Дягилев

МАКРОСЕЙСМИКА ТЕХНОГЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ УРАЛА

Рассмотрена проблема корректной оценки сейсмической опасности в горнодобывающих регионах, где реальная модель макросейсмического эффекта может отличаться от общепринятого варианта, используемого для природных землетрясений. Чтобы показать это, обобщены макросейсмические проявления современных землетрясений, зарегистрированных вблизи горнодобывающих объектов Урала в течение последних двух десятков лет. Всего рассмотрено 15 землетрясений природного и техногенного характера со сравнительно небольшой магнитудой (M = 1,7–4,4), имевших интенсивность на поверхности до 5 баллов (шкала MSK-64). Проанализирована связь сейсмической интенсивности I с магнитудой M_{LH} и расстоянием до источника r согласно модели Шебалина-Блэйка ($I = 1{,}5M_{LH} - a\lg(r) + b$). Выделено две группы источников, отличающихся различным характером затухания макросейсмического эффекта, зависящим от глубины очага. Для глубоких очагов (глубже 1 км), излучающих преимущественно объемные волны, получены параметры модели (a = 3,5 и b = 3), которые практически не отличаются от ранее установленных [11] для Восточно-Европейской платформы, Урала и Западной Сибири. Для группы приповерхностных источников получено уравнение с коэффициентами a = 2,7 и b = 1,2, которые более адекватно описывают распространение макросейсмического эффекта с помощью поверхностных волн. Обобщение макросейсмических данных значительно расширило диапазоны применимости модели Шебалина-Блэйка для Урала, сдвинув влево нижний порог не только магнитуд, но и гипоцентральных расстояний. Уточненная модель позволяет получать более надежные оценки сейсмической опасности при решении задачи детального сейсмического районирования в регионе.

Ключевые слова: техногенное землетрясение, макросейсмический эффект, макросейсмическое уравнение, модель Шебалина-Блэйка, магнитуда, интенсивность, сейсмическая опасность.

Введение

В задаче адекватной оценки сейсмической опасности одним из ключевых моментов является знание модели распространения сейсмического эффекта $I(M, r)$ в рассматриваемом регионе [13]. При составлении карт общего сейсмического районирования (ОСР) Урал выделен как обособленный регион,

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 3. С. 292–304.
© 2017. Р.А. Дягилев.

отличающийся от других глубинным строением и связанным с ним сейсмическим режимом. Однако, не смотря на это, при описании распространения возможных макросейсмических эффектов каких-либо отличий для Урала в литературе не отмечается. Наиболее веским основанием, почему этого не делается, является малое совокупное количество инструментальных данных и сведений о макросейсмических проявлениях при местных землетрясениях. Именно поэтому в эмпирической модели Шебалина-Блэйка $I = 1{,}5M - a\lg(r) + b$ (здесь I – сейсмическая интенсивность в баллах, M – магнитуда землетрясения, r – гипоцентральное расстояние в км), описывающей региональные особенности распространения макросейсмических эффектов землетрясений, для Урала определены коэффициенты $a = 3{,}5$ и $b = 3$ такие же, как для Восточно-Европейской платформы и Западной Сибири [11].

В более современном варианте связи I-M-r, опирающейся на полуэмпирический подход моделирования макросейсмического эффекта, предложенный Эверндeном [15] и развитый Гусевым [4], Урал «теряется» в пределах еще большей территории – материковой части Северной Евразии, где особые региональные параметры затухания волн отмечены лишь для Курило-Камчатско-Японского региона. Последняя модель, безусловно, более адекватно описывает макросейсмический эффект протяженных источников с большой магнитудой, и именно она использовалась при расчете карт ОСР-97, хотя для случая уральских землетрясений, отличающихся сравнительно небольшими магнитудами ($M \leq 5{,}5$), ее отличия от модели Шебалина-Блэйка незначительны, особенно для самых слабых землетрясений с $M \leq 4$. В то же время слабые землетрясения – это именно те события, которые за счет своего численного превосходства могут служить основой для уточнения региональных моделей $I(M, r)$, которые могут несколько отличаться от усредненных представлений. В какой-то мере этому процессу уточнения способствует разработка месторождений полезных ископаемых, которая, с одной стороны, ведет к росту сейсмической активности, а с другой – заставляет развивать средства ее инструментального контроля.

Урал в данном случае – типичный пример, где в результате разработки ряда месторождений происходит достаточно много техногенных землетрясений небольших магнитуд. Здесь же в течение двух последних десятилетий существенно возросли возможности региональной сейсмологической сети. Таким образом, есть основания считать, что модель макросейсмического эффекта при достаточном объеме новых эмпирических данных

для Урала может быть уточнена. Изменения в макросейсмической модели, в свою очередь, приведут к необходимости пересмотреть оценки сейсмической опасности в регионе. К этому же приведут и изменения в наборе моделей самих сейсмических очагов, который на этапе детального сейсмического районирования (ДСР) следовало бы дополнить моделями зон возникновения очагов техногенных землетрясений (ВОТЗ).

Моделирование зон ВОТЗ – отдельная тема исследований и в данной работе не рассматривается. Здесь основное внимание уделено задаче уточнения модели макросейсмического эффекта техногенных землетрясений.

Исходные данные

Сильные землетрясения на Урале с макросейсмикой – сравнительно редкие явления, поэтому за последние годы инструментальных наблюдений стационарной сейсмической сетью (с 1999 г.) их зафиксировано не более десятка. Несколько расширить объем инструментальных и макросейсмических данных позволяют локальные наблюдения в районе Верхнекамского месторождения калийных солей, которые ведутся с 1993 г. Приличный объем макросейсмических сведений удается подчерпнуть в результате взаимодействия со службами прогнозирования и предупреждения горных ударов (СППГУ), действующими на горнодобывающих предприятиях Урала (СУБР, Высокогорский ГОК и др.). Таким образом, за рассматриваемый период сформировался достаточно представительный объем и инструментальных, и макросейсмических данных для сейсмических событий природного и техногенного характера со сравнительно небольшой магнитудой (M = 1,7–4,4), но вполне ощутимыми макросейсмическими проявлениями (I = 2–5 баллов). Отдельные землетрясения ранее уже были освещены в литературе [1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14], но совместно они пока не рассматривались. В данной работе к общему списку добавлены и кратко описаны события, которые пока не получили должной аналитической оценки.

Основные параметры всех рассмотренных событий (дата, время, координаты, глубина – H, магнитуда – M, интенсивность в эпицентре – I_0, ближайший населенный пункт) представлены в таблице.

Приведем ниже сведения о тех из них, которые нигде ранее не описывались и которые могли бы дополнить общую картину макросейсмики уральских землетрясений.

Землетрясения Урала за 1993–2015 гг. с макросейсмическими проявлениями

Дата и время UTC	φ, °N	λ, °E	*H*, км	*M*	I_0	Населенный пункт	Источник
1993.10.25 13:31:04	59,21	56,71	4	2,9 M_{LH}	4–5	Березники	8, 12
1995.01.05 12:46:02	59,59	56,80	0,3	3,8 *M*s	5	Соликамск (СКРУ-2)	9, 10
1997.10.07 20:57:33	59,36	56,93	0,3	3,1 M_{LH}	5	Березники	
2004.03.25 15:01:42	60,16	59,96	1	3,1 *M*l	3–4	Североуральск (СУБР)	
2007.04.27 20:29:16	57,70	59,29	1	3,1 *M*l	3–4	Н. Тагил (ш. Естюнинская)	
2008.12.16 17:04:47	57,91	55,48	20	2,8 *M*l	≤2	Нытва	
2008.12.26 08:25:35	57,31	55,45	0	1,8 *M*l	4	Оса	
2009.10.01 16:21:46	57,96	59,80	1	2,0 *M*l	3	Н. Тагил (ш. Естюнинская)	
2010.02.13 03:43:54	60,21	60,06	1	4,1 *M*l	4	Североуральск (СУБР)	
2010.03.29 03:02:18	58,86	59,16	21	4,4 *Mw*	5	Качканар	3, 5, 6
2011.03.11 23:15:07	53,15	55,87	10	3,8 *M*l	4–5	Мелеуз	1, 14
2012.09.05 20:11:03	54,31	59,43	0,5	3,0 *M*l	5	Учалы (УГОК)	7
2013.12.14 14:57:24	60,23	60,01	1	3,5 *M*l	4–5	Североуральск (СУБР)	
2014.05.20 18:26:19	54,58	55,71	4	2,8 *M*l	4–5	Уфа	2
2015.08.11 03:36:42	57,99	59,58	1	1,7 *M*l	3	Н. Тагил (ш. Естюнинская)	

Отдельной публикации по событию 1997 г. в г. Березники нет, хотя землетрясение незаурядное и ощущалось почти на всей территории города. Имеются инструментальные записи вертикальной компоненты, полученные шахтной сейсмологической сетью в г. Соликамск. Макросейсмические данные подчерпнуты из показаний очевидцев и газет, вышедших на следующий день после события. Они недостаточно подробны, но позволяют оценить эффект в 7 пунктах. Наиболее сильные проявления до 5 баллов (смещение тяжелой мебели, испуг людей, выбегавших на улицы и наблюдавших визуально горизонтальные колебания поверхности) отмечены вблизи эпицентра (д. Круглый Рудник и рудоуправление БКПРУ-2). 4-балльные сотрясения (дрожь, стук и небольшие смещения тяжелой мебели) ощущали на верхних этажах домов в южной части города (ул. Пятилетки и ул. Мира). 3-балльные колебания (ощутимая тряска предметов) были замечены диспетчером ж/д станции Березники и жителями в д. Трутни.

Горно-тектонические удары на СУБРе происходят сравнительно часто. Нередки случаи, когда они имеют макросейсмические проявления в радиусе первых десятков км, куда попадают г. Североуральск, п. Калья, п. Черемухово и п. Третий Северный. Точные инструментальные оценки параметров очагов и результаты обследований очаговых зон в шахе любезно предоставлены СППГУ ОАО «СУБР». Региональный сейсмологический мониторинг обеспечивает оценку местоположения очага, его магнитуды и сбор макросейсмических данных интерактивно через Интернет. Практически все события, произошедшие здесь, ощущались примерно одинаково с интенсивностью от 3 до 5 баллов, при этом каждое из них дало несколько оценок интенсивности на разном удалении. Оценки расстояний для всех событий – сравнительно точные (ошибка не превышает 0,5 км), так как каждый техногенный очаг фиксировался не только инструментально, но и обследовался визуально на уровне горных выработок.

Интенсивность оценивалась по трем основным критериям: воздействие на наблюдателя, воздействие на окружающие предметы и воздействие на здания и сооружения – что позволило оценить дисперсию оценок интенсивности в каждом пункте наблюдения. Для некоторых населенных пунктов дисперсия также оценивалась за счет наличия множества показаний от группы очевидцев. Таким образом, для самого сильного события 12 февраля 2010 г. оценки интенсивности получены в об-

щей сложности в 10 пунктах, для события 14 декабря 2013 г. – в 9 пунктах.

Другой район, где время от времени происходят горно-тектонические удары – г. Н. Тагил Свердловской области. Сведения о макросейсмических проявлениях доступные для анализа – лишь те, что опубликованы в новостных сводках, выпущенных сразу после очередного инцидента. Сильные события происходят в основном на шахте «Естюнинская» и ощущаются жителями в различных частях города. Однако на другом объекте – шахте «Магнетитовая» – такие события также возможны. Подробных описаний характера ощущений нет, но по площади их распространения можно говорить о 3–4 балльных сотрясениях. Местоположение большинства очагов определяется региональной сетью с ошибкой 10–20 км. Поэтому почти каждое событие, происходящее здесь, в системе координат «интенсивность–расстояние» рассматривается не как точка, а некая область возможных значений. Наименьшая неопределенность по местоположению существует для события, произошедшего 1 октября 2009 г., когда над очагом на поверхности имели место значительные вертикальные оседания амплитудой до 0,5 м, вызвавшие повреждения зданий и дорожного полотна. Принимая во внимание наличие подземных горных выработок, разрушения в эпицентральной зоне данного события в связи с оседаниями не рассматриваются как макросейсмический эффект. Макросейсмические оценки для него учитывают только ощущения городских жителей.

Землетрясение в районе г. Нытва имеет надежно установленный гипоцентр, так как ближайшая сейсмическая станция PR4R оказалась расположенной почти над очагом. При сборе макросейсмических данных, организованном на следующий день после землетрясения, были охвачены соседние населенные пункты Пермского края: Горшки, Суздалы, Голый мыс, Новоильинский. Опрос местных жителей не выявил каких-либо проявлений данного землетрясения на поверхности, хотя ожидалось, что в позднее вечернее время (событие произошло в 22:04 местного времени) его могли ощущать как 2–3 балльные сотрясения некоторые жители, находясь в спокойном состоянии в помещении. Поскольку таких фактов не было выявлено, интенсивность в эпицентре рассчитана из инструментальных оценок колебаний, зарегистрированных ближайшей станцией. При скорости смещения 0,07 см/с можно говорить о сейсмической интенсивности на уровне 2 баллов, что и объясняет отсутствие ощутимых проявлений землетрясения на поверхности.

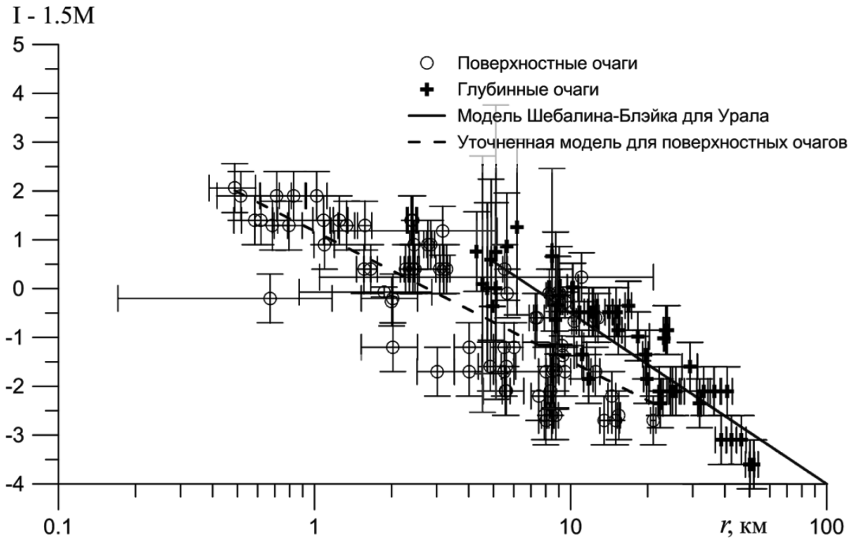
Необычное землетрясение произошло 26 декабря 2008 г. в 8:25:35 UTC в районе Воткинского водохранилища около г. Оса. Событие имело магнитуду *ML* 1,8 и было зарегистрировано только одной ближайшей станцией н расстоянии 73 км. Однако оно имело макросейсмические проявления на поверхности, интенсивность которых оценивается в 3–4 балла. По описаниям очевидцев, жителей дома № 2 по ул. Мира, во время толчка здание покачнулось сначала в восточную сторону, затем в западную, был слышен треск стен, после чего люди в испуге выбегали на лестничные площадки. Обследование района эпицентра позволило установить нетектоническую причину события – образование сбросовой трещины в ледовом покрытии Воткинского водохранилища после снижения уровня воды.

В сравнении с историческими данными и данными инструментального этапа до 1999 г., современные данные отличаются более высокой представительностью сведений по площади (местоположение очагов определяется на большей территории и точнее) и по магнитуде, что существенно расширяет область определения анализируемых параметров и позволяет привлечь к анализу очаги с незначительным макросейсмическим эффектом. В частности имеются данные, полученные на очень близких гипоцентральных расстояниях от событий с небольшими магнитудами. Низкие магнитуды, в свою очередь, за счет более частой реализации обеспечивают количественную представительность данных.

Анализ данных

Поскольку в масштабе рассматриваемых расстояний линейные размеры очагов малых магнитуд невелики, анализ совокупности макросейсмических данных выполним в рамках модели Шебалина-Блэйка. Чтобы определить эмпирические коэффициенты макросейсмического уравнения a и b, фактор магнитуды удобно перенести в его левую часть и аппроксимировать функцию I-1,5M линейно относительно аргумента lg(R).

Каждое событие в анализе представлено в виде набора точек, где оно наблюдалось (рисунок). Отдельная точка представляет собой оценку интенсивности события, документально зафиксированную в некотором пункте пространства, где также установлены величины стандартных отклонений по σ_R и по σ_I. Для точек, имеющих плохую пространственную привязку (координаты очага определены грубо или респондент указал свое местоположение приблизительно), величина стандартного откло-



Зависимость макросейсмического эффекта Уральских землетрясений от гипоцентрального расстояния

нения σ_R принята равной ошибке локации и составляет 10 км. Стандартное отклонение σ_I, если интенсивность установлена независимыми исследованиями и первичные результаты опроса недоступны, принята равной 0,5 балла. В случаях, когда опрос велся с помощью анкет среди населения, стандартное отклонение получено из нескольких значений, которые характеризуют либо разные аспекты воздействий (воздействие на людей, воздействие на окружающие предметы и воздействие на здания и сооружения), либо показания группы очевидцев. Поскольку магнитуды событий имеют различный тип, все значения предварительно были приведены к одной шкале магнитуд M_{LH}.

Рисунок демонстрирует, что в общем облаке точек явно прослеживается сложный нелинейный характер затухания, который на разных интервалах расстояний ранее описывали стыковкой нескольких прямых линий с различным наклоном (даже нулевым), что было не совсем физично, но позволяло избегать противоречий с фактами. Однако если исходить из того, что основная энергия очага может расходиться в виде разных типов волн, физичность модели на рассматриваемом интервале гипоцентральных расстояний можно восстановить, разделив весь набор данных на две группы, используя глубину очага как критерий. В каждой группе при этом изменение макросейсмиче-

ского эффекта описывается традиционным линейным уравнением с корректными значениями затухания. Наиболее органично облако данных разделяется, если в первую группу включать очаги с глубиной до 1 км, энергия которых разносится преимущественно поверхностными волнами. Во вторую группу, соответственно, тогда войдут сравнительно глубокие очаги, которые большую часть энергии излучают в виде объемных волн.

Как можно видеть из рисунка, уравнение с региональными коэффициентами Шебалина [11], корректно описывает эффект лишь одной из групп – группы глубинных очагов. Для поверхностных источников макросейсмическое уравнение согласно представленному набору данных имеет существенные отличия. Для последних уточненная зависимость $I(M, r)$ с обновленными коэффициентами $a = 2{,}7$ и $b = 1{,}2$ (коэффициенты одинаковые как для обычной, так и ортогональной регрессии) не только дает более низкие значения интенсивности, но и охватывает диапазоны малых гипоцентральных расстояний и магнитуд, где ранее сведения не обобщались.

Обсуждение результатов

Использование глубины очага как критерия разделения землетрясений при описании их макросейсмического эффекта, оказалось довольно простым способом сохранить традиционные простые линейные модели затухания. Однако в рамках каждой группы событий параметры модели отличаются, и найденные отличия весьма существенны. Немаловажно, что критерий глубины позволяет достаточно эффективно обособлять именно техногенные очаги, которые преимущественно тяготеют к горным выработкам, располагающимся у поверхности. Использование для них нового макросейсмического уравнения позволяет оценивать сейсмический эффект точнее и оценивать сейсмическую опасность, связанную с ними, более адекватно.

С другой стороны в условиях недостатка инструментальных данных, используя только макросейсмические проявления и новое уравнение, становится возможным определять недостающие параметры очага (магнитуду, глубину) более правдоподобно. В частности, на примере Соликамского землетрясения 1995 г., возникшего в результате обширного обрушения горных выработок на глубине ~300 м, легко показать, что новая зависимость дает оценку глубины 1–3 км, которая более близка к действительности, чем прежняя величина 8±3 км, полученная изначально [9, 10] по старому макросейсмическому уравнению

и ставшая на некоторое время аргументом для неверного понимания причин произошедшей аварии.

Заключение

Обобщение макросейсмических данных значительно расширило диапазоны применимости модели распространения макросейсмических эффектов для Урала. С одной стороны это позволило более обоснованно подходить к оценке параметров очагов в условиях нехватки инструментальных данных. Принимая во внимание тот факт, что на большинстве горнодобывающих объектов, сейсмологический мониторинг не входит в состав мероприятий по инструментальному контролю состояния массива, полученная зависимость может в какой-то мере компенсировать этот недостаток. С другой стороны, расширенная зависимость заставляет по-новому взглянуть уже на произошедшие события. Учитывая, что часть землетрясений на Урале, сведения о которых подчерпнуты из исторических документов [11], могла иметь небольшую глубину (например, обвальные землетрясения), следует уделить внимание вопросу пересмотра их магнитуд, если таковые были получены из уравнения макросейсмического поля для глубинных очагов.

Оба аспекта, как и сама модель, в конечном итоге имеют большое значение для корректной оценки сейсмической опасности в регионе, при расчете которой учитываются не только параметры возможных очагов, но и местные особенности распространения волн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Верхоланцев Ф. Г.*, *Голубева И. В.* О сейсмической активности на Юго-Востоке республики Башкортостан по данным инструментальных наблюдений в 2011–2012 гг. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы Седьмой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 84–87.

2. *Верхоланцев Ф. Г.*, *Голубева И. В.*, *Дягилев Р. А.* Природно-техногенная сейсмичность республики Башкортостан // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: Материалы Пятой научно-технической конференции. – Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, ИВиС ДВО РАН, 2015. URL: http://emsd.ru/conf2015lib/pdf/seism/Verkholantcev_etc.pdf (дата обращения 01.12.2015).

3. *Верхоланцев Ф. Г.*, *Дягилев Р. А.* Качканарское землетрясение 29 марта 2010 г. Макросейсмические проявления // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материа-

лы Пятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 46–55.

4. *Гусев А. А.* Моделирование связи балл-магнитуда расстояние на основе представления о некогерентном протяженном очаге // Вулканология и сейсмология. – 1999. – № 4–5. – С. 29–40.

5. *Дружинин В. С.*, *Пустовалов Н. А.*, *Папшев Г. А.*, *Косилова М. В.*, *Тележук Н. В.* Косьинское сейсмическое событие 29 марта 2010 г. на Среднем Урале // Георикс. – 2010. – № 4. – С. 26–30.

6. *Дягилев Р. А.*, *Голубева И. В.* Параметры Качканарского землетрясения 29 марта 2010 г. по инструментальным данным / Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы Пятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 89–93.

7. *Дягилев Р. А.*, *Шулаков Д. Ю.*, *Верхоланцева Т. В.* Макросейсмические и инструментальные исследования Учалинского землетрясения 5 сентября 2012 г. / Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы Восьмой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 159–163.

8. *Маловичко А. А.* Березниковское землетрясение 25 октября 1993 г. / Проблемы безопасности при отработке месторождений полезных ископаемых в зонах градопромышленных агломераций: Материалы международного симпозиума SPM-95. – Екатеринбург: УрО РАН, 1997. – С. 295–307.

9. *Маловичко А. А.*, *Блинова Т. С.*, *Лебедев А. Ю.*, *Некрасова Л. В.* Соликамское землетрясение 5 января 1995 г. / Проблемы безопасности при отработке месторождений полезных ископаемых в зонах градопромышленных агломераций: Материалы международного симпозиума SPM-95. – Екатеринбург: УрО РАН, 1997. – С. 307–315.

10. *Маловичко А. А.*, *Маловичко Д. А.*, *Кустов А. К.* Соликамское землетрясение 5 января 1995 г. (Ms = 4.2) / Землетрясения Северной Евразии в 1995 г.: сб. науч. ст. – М.: ГС РАН, 2001. – С. 163–169.

11. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – 535 с.

12. Сейсмические события Уральского региона за 1914–2002 гг. – М.: ЦСГНЭО РАО «ЕЭС РОССИИ», 2002. – 86 с.

13. *Уломов В. И.*, *Шумилина Л. С.* Проблемы сейсмического районирования территории России. – М.: ВНИИНТПИ Госстроя России, 1999. – 56 с.

14. *Шакуров Р. К.* Землетрясение в Башкортостане // Табигат. – 2011. – № 3. – С. 30–31.

15. *Evernden J. F.* Seismic intensities, size of earthquakes and related phenomena // Bulletin of Seismological Society of America. – 1975. – V. 65. – pp. 1287–1315. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Дягилев Руслан Андреевич – кандидат
физико-математических наук,
зав. лабораторией, e-mail: dr@mi-perm.ru,
Горный институт Уральского отделения РАН.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 3, pp. 292–304.

UDC
550.348.4

R.A. Dyagilev

MACROSEISMIC INDUCED EARTHQUAKES OF THE URALS

The article considers the problem of correct seismic hazard assessment in mining regions where actual macroseismic model may differ from common variant. To show it we have summarized macroseismic manifestations of modern earthquakes occurred near mine areas of the Urals for last two decades. The matter under consideration is a set of 15 induced and natural earthquakes of relatively small magnitudes (M = 1.7–4.4) that have been sensed on the surface with intensity up to 5 points of MSK-64 scale. Analyzing the data in terms of Shebalin-Blake model ($I = 1.5M_{LH} - a \lg(r) + b$) we have shown all seismic sources may be divided into two groups. Macroseismic effects for events in every group may be specified by different coefficients set that depends on source depth. Deep sources (depth more than 1 km) radiating energy generally via body waves demonstrate model parameters (a = 3.5 и b = 3) that do not differ from those stated earlier for Eastern-European plate, Urals and Western Siberia [11]. The group of near surface events are approximated with coefficients a = 2.7 and b = 1.2, that describe adequately seismic energy propagation with surface waves. Generalization of macroseismic data extended the range of model applicability significantly by lowering both magnitudes and hypocentral distances. A new macroseismic equation allows to calculate seismic intensity more accurately and estimate seismic hazard correctly especially in the task of detailed seismic zonation.

Key words: induced earthquake, macroseismic effect, macroseismic equation, Shebalin-Blake model, magnitude, intensity, seismic hazard.

AUTHOR

Dyagilev R.A., Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Mining Institute of Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
614007, Perm, Russia, e-mail: dr@mi-perm.ru.

REFERENCES

1. Verkholantsev F.G., Golubeva I.V. *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannykh: Materialy Sed'moy Mezhdunarodnoy seysmologicheskoy shkoly* (Modern methods of processing and interpretation of seismological data, Proceedings of the 7th International seismological school), Obninsk, GS RAN, 2012, pp. 84–87.

2. Verkholantsev F.G., Golubeva I.V., Dyagilev R.A. *Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii: Materialy Pyatoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* (Problems of the complex geophysical monitoring at Far East of Russia, Proceedings of the 5th science and technique conference), Petropavlovsk-Kamchatskiy, KF GS RAN, IViS DVO RAN, 2015, available at: http://emsd.ru/conf2015lib/pdf/seism/Verkholantcev_etc.pdf (accessed 01.12.2015).

3. Verkholantsev F.G., Dyagilev R.A. *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannykh: Materialy Pyatoy Mezhdunarodnoy seysmologicheskoy shkoly* (Modern methods of processing and interpretation of seismological data, Proceedings of the 5th International seismological school), Obninsk, GS RAN, 2010, pp. 46–55.

4. Gusev A.A. *Vulkanologiya i seysmologiya*. 1999, no 4–5, pp. 29–40.

5. Druzhinin V.S., Pustovalov N.A., Papshev G.A., Kosilova M.V., Telezhuk N.V. *Georisk*. 2010, no 4, pp. 26–30.

6. Dyagilev R. A., Golubeva I. V. *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannykh: Materialy Pyatoy Mezhdunarodnoy seysmologicheskoy shkoly* (Modern methods of processing and interpretation of seismological data, Proceedings of the 5th International seismological school), Obninsk, GS RAN, 2010, pp. 89–93.

7. Dyagilev R. A., Shulakov D. Yu., Verkholantseva T. V. *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannykh: Materialy Vos'moy Mezhdunarodnoy seysmologicheskoy shkoly* (Modern methods of processing and interpretation of seismological data, Proceedings of the 8th International seismological school), Obninsk, GS RAN, 2013, pp. 159–163.

8. Malovichko A. A. *Problemy bezopasnosti pri otrabotke mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh v zonakh gradopromyshlennykh aglomeratsiy: Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma SPM-95* (Problem of mining safety in urban and industrial areas, Proceedings of International Symposium SPM-95), Ekaterinburg, UrO RAN, 1997, pp. 295–307.

9. Malovichko A. A., Blinova T. S., Lebedev A. Yu., Nekrasova L. V. *Problemy bezopasnosti pri otrabotke mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh v zonakh gradopromyshlennykh aglomeratsiy: Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma SPM-95* (Problem of mining safety in urban and industrial areas, Proceedings of International Symposium SPM-95), Ekaterinburg, UrO RAN, 1997, pp. 307–315.

10. Malovichko A. A., Malovichko D. A., Kustov A. K. *Zemletryaseniya Severnoy Evrazii v 1995 g.*: sbornik nauchnykh statey (Earthquakes of Nothern Eurasia in 1995: collection of scientific articles), Moscow, GS RAN, 2001, pp. 163–169.

11. *Novyy katalog sil'nykh zemletryaseniy na territorii SSSR s drevneyshikh vremen do 1975 g.* (New catalogue of strong earthquakes in USSR since ancient time till 1975), Moscow, Nauka, 1977, 535 p.

12. *Seysmicheskie sobytiya Ural'skogo regiona za 1914–2002 gg.* (Seismic events of Ural region for 1994–2002), Moscow, TsSGNEO RAO «EES ROSSII», 2002, 86 p.

13. Ulomov V. I., Shumilina L. S. *Problemy seysmicheskogo rayonirovaniya territorii Rossii* (Problems of seismic zonation of Russia), Moscow, VNIINTPI Gosstroya Rossii, 1999, 56 p.

14. Shakurov R. K. *Tabigat*. 2011, no 3, pp. 30–31.

15. Evernden J. F. Seismic intensities, size of earthquakes and related phenomena. *Bulletin of Seismological Society of America*. 1975. V. 65. pp. 1287–1315.

МЫСЛИ О РОЛИ КНИГИ В ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

Информационная насыщенность учебника, его эстетические достоинства, полиграфическое качество являются важными элементами образования, пренебрежение которыми существенно снижает пользу от выпуска книги.