

С.В. Мишин, Л.В. Шарафутдинова

(Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН,
г. Магадан; e-mail: mishin@neisri.ru)

СЕЙСМИЧНОСТЬ МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Обсуждаются материалы по землетрясениям в Магаданской области, проводится анализ тенденций сейсмичности территории. Рассматриваются модели процесса землетрясения. Изложена гипотеза о связи землетрясений с трансформацией горных сооружений области.

Ключевые слова: землетрясение, Магаданская область, горное сооружение, эпицентр, сейсмическая опасность.

S.V. Mishin, L.V. Sharafutdinova

SEISMICITY OF MAGADAN REGION

Materials related to the Magadan regions earthquakes are discussed; tendency of the seismicity of the territory is analyzed. Models of the earthquake processes are discussed. Hypothesis of the earthquakes relation with the transformation of mountain constructions is represented.

Key words: earthquake, Magadan region, mountain construction, epicenter, seismic hazard.

Магаданская область не относится к наиболее сейсмоактивным зонам Земли. Многие районы планеты чаще испытывают сильные землетрясения. Жители Магадана ощущают природные толчки каждые три-четыре года, причем интенсивность таких толчков нередко бывает значительной – землетрясения ощущаются людьми на расстояниях в сотни километров от очагов [1].

Землетрясения Магаданской области за 40 лет

Каталог землетрясений Магаданской области включает более 4000 сейсмических событий, зарегистрированных на обширной территории Северо-Востока. Частично эти сведения относятся, по-видимому, к промышленным взрывам, частично определения могут оказаться неверными из-за неудачного расположения очагов по отношению к станциям при небольших интенсивностях толчков. В настоящей статье анализируется выборка из каталога землетрясений Магаданской области энергетических классов $K > 8$ (то есть с энергиями более 10^8 Дж) за время 1968-2007 гг. [2].

Не рассматриваются здесь землетрясения меньших энергий потому, что именно в массе слабых толчков могут оказаться антропогенные события – удары и взрывы, кроме того, часть слабых событий сетью станций пропускается (события оказываются "непредставительными" для статистических оценок). Промышленные взрывы до 100 тонн аммонита (именно такие заряды используются горными предприятиями области) регистрируются сетью станций как сейсмические события до энергетического класса $K = 8$ и, таким образом, в выборку эти события не попадают.

За 1968-2007 гг. зарегистрировано 2474 землетрясений энергетических классов более 8; за это время произошло 79 землетрясений энергетических классов не менее 12 – такие толчки при неблагоприятном стечении обстоятельств могут привести к разрушению строительных конструкций.

На рис. 1 приведена схема расположения эпицентров землетрясений на территории области. Здесь представлены эпицентры землетрясений энергиями 10^{10} Дж ($K = 10$) и более.

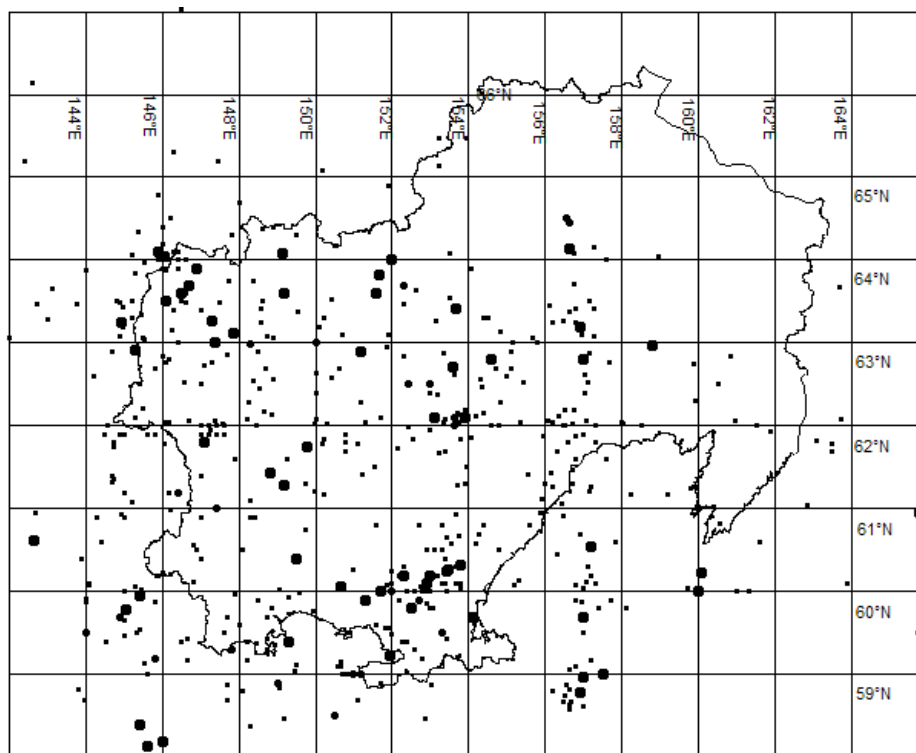


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Магаданской области, определённых инструментально в 1968-2007 гг. Крупными значками обозначены эпицентры землетрясений энергетических классов $K \geq 12$

Период инструментальных наблюдений разделён на четыре десятилетних интервала.

В течение первого интервала ("семидесятые годы": 1968-1977 гг.) зарегистрировано 533 землетрясения энергетических классов K более 8, в том числе 30 толчков $K \geq 12$. Это был период становления инструментальной сети станций, отлаживались методики регистрации землетрясений и определения положений их очагов.

В течение "восьмидесятых годов" (второго интервала: 1978-1987 гг.) зарегистрировано 570 толчков с $K \geq 8$, в том числе 10 с $K \geq 12$. В это время методики определений очагов стабилизировались на основе гальванометрической регистрации толчков.

В течение девяностых годов прошлого века (1988-1997 гг.) зарегистрировано 537 землетрясений с $K \geq 8$, в том числе 14 толчков с $K \geq 12$. В эти годы происходил развал сети – закрывались станции, произошли серьезные изменения в кадровом составе группы обработки данных. Надёжность определений очагов в этот период снизилась.

В начале нынешнего века (1998-2006 гг.) на территории области зарегистрировано 831 землетрясение с $K \geq 8$, в том числе 25 потенциально разрушительных толчков. За это время внедрены цифровые технологии регистрации толчков и обработки данных, таким образом, надёжность определений очагов вновь возросла.

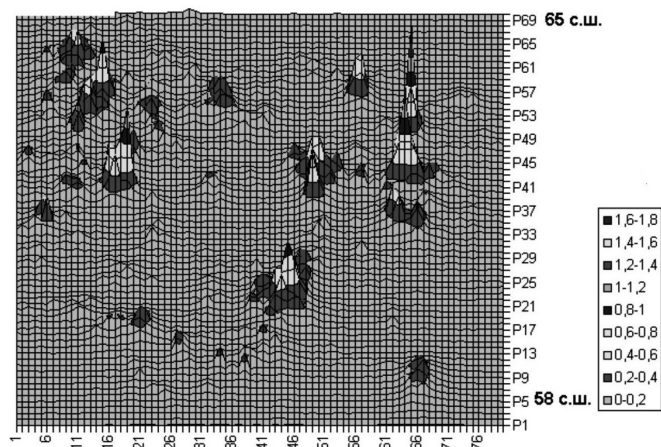
Для сопоставления характера сейсмической активности территории в разные интервалы времени авторы воспользовались технологией построения непрерывных распределений величины A^{10} , предложенной группой Ю.В. Ризниченко [3]. Эта методика позволяет принципиально дискретные данные каталога землетрясений представлять в виде непрерывных распределений этой величины. Величина A^{10} формально представляет собой число землетрясений 10-го энергетического класса, происходящих за год на площади 1000 км^2 .

На рис. 2 сопоставлены распределения A^{10} , построенные по способу постоянной точности для участка, ограниченного координатами $58\text{-}65^\circ$ с.ш. и $144\text{-}160^\circ$ в.д., с шагом $0,1^\circ$ по широте и $0,2^\circ$ по долготе (шаг сетки соответствует приблизительно 10 км). Рис. 2а представляет распределение сейсмичности Магаданской области за 40 лет наблюдений. Из рисунка видно, что землетрясения происходили в основном на нескольких участках территории. Рис. 2б иллюстрирует процессы, происходившие здесь за 1968-1977 гг. Видно, что активизировались участки в северо-западной части области – в это время произошли сильнейшие Артыкское землетрясение 1971 г. и Кулинское землетрясение 1972 г. Именно районы очагов этих толчков выделяются значительными максимумами распределения. Рис. 2в представляет распределение A^{10} для землетрясений 1978-1987 гг. Здесь отмечаются максимумы активности в северо-восточной части области. Сейсмичность 1988-1997 гг. иллюстрируется рис. 2г. Видно, что активность сместилась к востоку области.

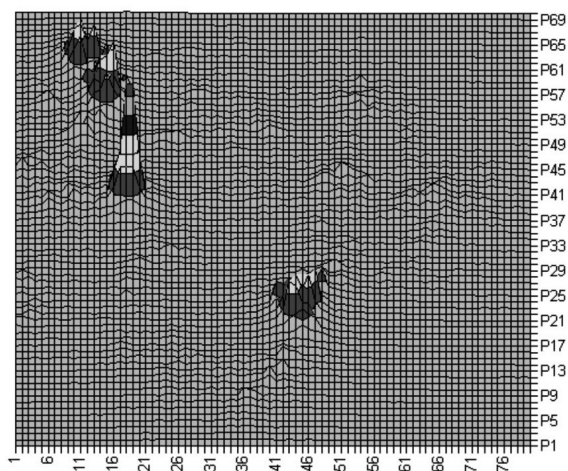
Из рис. 2д видно, что основные сейсмические события 1998-2007 гг. происходили на участках востока территории. Можно предположить даже общую тенденцию смещения интенсивности землетрясений со временем к востоку. Во всяком случае, ясно, что локальная "вспышка" сейсмической активности продолжается не более десятка лет и сменяется новой "вспышкой" на другом участке. Такая ситуация характерна для сейсмической активности на самом высоком уровне, то есть для сейсмичности самых активных зон – Тихоокеанского кольца или Памира.

144 в.д.

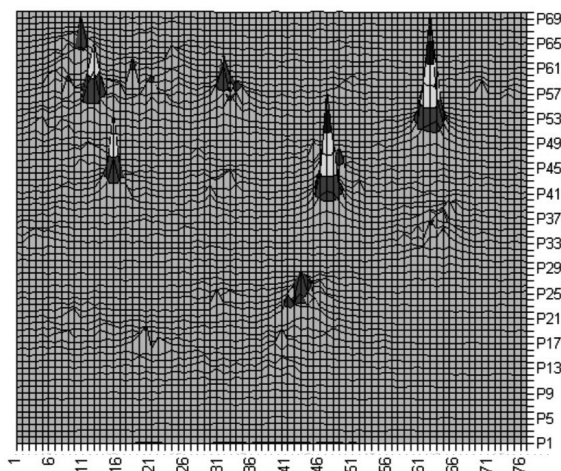
160 в.д.



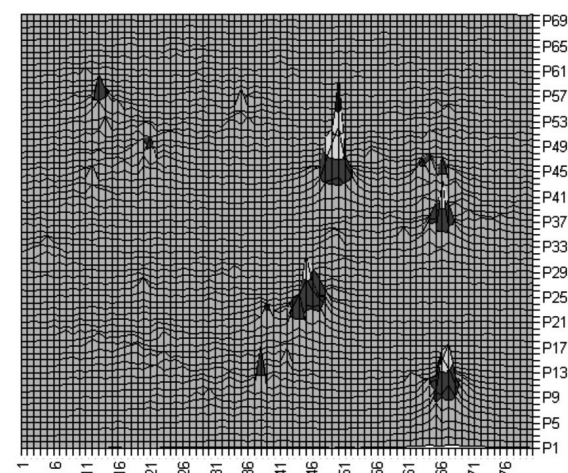
a



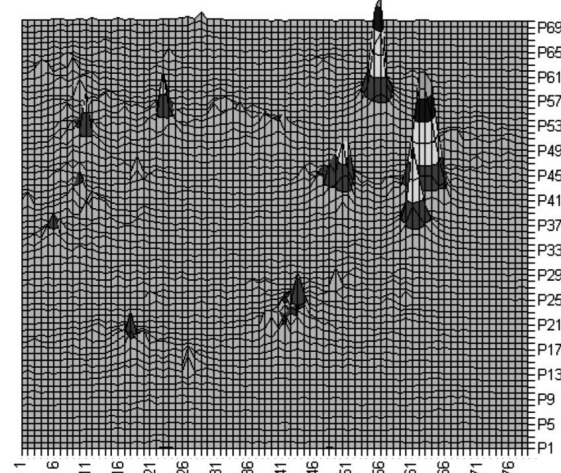
б



в



г



д

Рис. 2. Распределение величины A^{10} , построенной по данным каталога землетрясений для Магаданской области:
a) за 1968-2007 гг.; *б)* за 1968-1977 гг.; *в)* за 1978-1987 гг.;
г) за 1988-1997 гг.; *д)* за 1998-2007 гг.

Оценки сейсмической опасности

На рис. 3 представлена схема распределения максимального энергетического класса, построенная в соответствии с технологией группы Ю.В. Ризниченко по статистике зарегистрированных за 40 лет землетрясений с использованием эмпирических закономерностей, полученных в Прибайкалье.

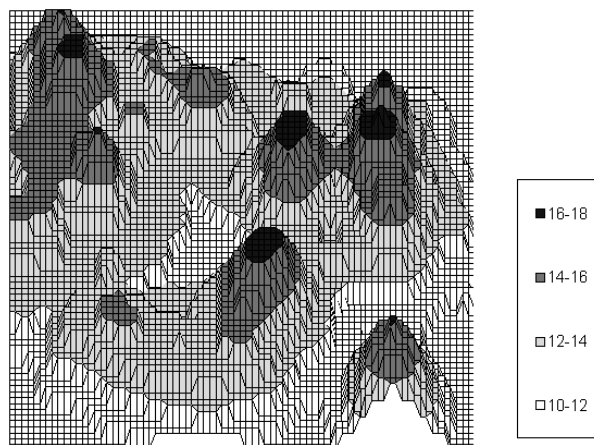


Рис. 3. Распределение значений величины K_{\max} (ожидаемых сильнейших землетрясений), рассчитанной по данным каталога землетрясений Магаданской области

На схеме отчетливо выделяется участок низкой сейсмической активности (нижнее течение р. Бахапча), в то время как рельеф этого участка представлен среднегорьем, изрезанным долинами. Запасы и градиенты потенциальной энергии на этом участке не уступают запасам на других, активных участках. Авторы полагают, что район Бахапчи в настоящее время – самый сейсмически опасный участок территории области с точки зрения. Давно отмечена особенность очаговых зон формирующихся сильных землетрясений – в зоне будущего очага отмечается "зона молчания" или "сейсмическая брешь" [4]. Именно такой эффект наблюдается в зоне Бахапчи в течение последних десятилетий. Поэтому вполне возможно, что в ближайшее время в этой зоне произойдет землетрясение 15-16 энергетического класса. Такое землетрясение будет ощущаться в Синегорье (на расстоянии 50 км) с интенсивностью до 6 баллов макросейсмической шкалы MSK-64.

Для грубой оценки сейсмической опасности сопоставлено число сильных землетрясений ($K \geq 12$), попадающих в круги радиусом 100 и 200 км с центрами в Магадане и в районных центрах области (центр "Ягоднинского" круга поставлен в п. Синегорье, а центр "Хасынского" – в п. Талая). В круг радиуса 100 км от Магадана попадает 6 эпицентров (в 200-км круг – 13 эпицентров). В 100 км от Сусумана зарегистрировано 2 сильных землетрясения (в 200 км – 18). Для Синегорья эти цифры – 1 (15), для Сеймчана – 4 (12), для Омсукчана – 2 (11), для Северо-Эвенска – 1 (7), Для Талой – 2 (17), для Усть-Омчуга – 1 (8). Можно утверждать, что жители Магадана за 40 лет ощущали толчки 13 раз, а жители Северо-Эвенска – лишь 7 раз. Около половины эпицентров сильных землетря-

сений находились в опасной близости к населенным пунктам. Однако в истории Магаданской области не зафиксированы случаи катастроф или даже экономического ущерба от землетрясений.

И тем не менее, строители и сейсмологи задумываются над проблемой защиты от землетрясений. Поэтому очень актуальны разговоры о прогнозе землетрясений, хотя многолетний опыт работы метеослужбы может быть свидетельством малой надёжности прогноза событий даже в прозрачной среде.

Прогноз землетрясения представляется предсказанием места, интенсивности и времени будущего события. Работники службы чрезвычайных ситуаций – строители и сейсмологи пошли по пути сейсмического районирования – оценки вероятности проявления силы возможного толчка в каждом пункте территории. Госстрой заказал Академии наук схему, по которой территория страны разделена на зоны, для которых сейсмологи предполагают возможными землетрясения определенной интенсивности в течение 50 лет.

Территория Магаданской области, к примеру, делилась на зоны, которым присваивалось значение балла сотрясения – 5, 6, 7 и даже 8 баллов. Сейсмологи, которые готовили карту сейсмического районирования, полагали, что в ближайшие 50 лет могут произойти сейсмические события, соответствующие выбранному баллу. Госстрой разрабатывал и применял при строительстве серии сейсмозащитных мероприятий. Разрабатывалась определенная технология сейсмозащиты, которая неукоснительно выполнялась при всех строительных работах. Схемы сейсмического районирования вошли в арсенал строителей СССР после катастрофического Ашхабадского землетрясения 1948 г. Каждые 10 лет схемы пересматривались и включались в новые Строительные нормы и правила.

Сейсмозащитные мероприятия разнообразны и не всегда эффективны, однако они всегда требуют материальных затрат. Кроме того, антисейсмические мероприятия значительно сужают выбор приемов и даже объектов строительства. С началом сейсморайонирования начались и поиски возможностей снизить исходный балл территории, чтобы удешевить строительство в районе, особенно, если это большое строительство. Большая часть средств, ушедших на сейсмозащиту сооружений, оставалась невостребованной – за весь срок службы сооружений многие из них не сотрясались от землетрясений [5].

Технология сейсмического районирования усложнялась. К 80-м годам XX века кроме формы *общего сейсмического районирования (ОСР)*, которая выполнялась в масштабе М 1:2 500 000, появилась форма детального сейсмического районирования, которая выполнялась в масштабе не менее М 1:500 000 [6]. Непосредственно на площадках строительства проводились в нормативном порядке работы по сейсмическому микрорайонированию для оценки приращенной сейсмической интенсивности за счет разного состава грунтов [7].

Эта интенсивная плановая работа не была безошибочной. Сильные землетрясения происходили в зонах, в которых они не предполагались. Крупнейшей катастрофой явилось Спитакское землетрясение 1988 года, унёсшее

25 тыс. человеческих жизней. Сейсмическое районирование предусматривало для этой зоны семибалльную опасность; меры же, принятые при строительстве в г. Ленинакане, не обеспечивали защиты и против семибалльных сотрясений. Через несколько лет произошло разрушительное Нефтегорское землетрясение на Сахалине, которое снова привело к многочисленным человеческим жертвам. Исходный балл для Нефтегорска по схеме был установлен равным 7, а интенсивность сотрясений составила 9 баллов. После этих землетрясений всякие разговоры о снижении исходного балла для какой-либо территории стали безуслвно пресекаться.

Последняя схема сейсмического районирования страны утверждена Госстроем в 1997 г. (ОСР-97) [8]. Сейсмическое районирование СР-78 создавалось до катастроф в Ленинакане и Нефтегорске, ОСР-97 – результат упорного труда Института физики земли после катастрофических событий. Исходный материал – рассмотренная выше карта эпицентров и геофизические аномалии – остались почти без изменений, а сейсмическая опасность увеличена на балл, отчего издержки на сейсмозащитные мероприятия должны увеличиться вдвое. "Карты ОСР-97 указали на более высокую сейсмическую опасность территории Российской Федерации, чем это считалось прежде, и явились значимым основанием для утверждения Правительством Федеральной целевой программы "Сейсмобезопасность территории России" (2002-2010 гг.). Отсутствие в прежние годы в СССР и в Российской Федерации общегосударственных программ по сейсмической безопасности страны привело к тому, что половина населения на сейсмоопасных территориях (десятки миллионов человек) живет в домах, характеризующихся значительным дефицитом сейсмостойкости" [9]. Мы привели эту гордую цитату из автора ОСР-97, чтобы показать, как сейсмологи, не предлагая ничего нового, "выбивают средства" на свой малый бизнес.

Городу Магадану составители схемы угрожают катастрофой – 8-9-балльными землетрясениями в течение ближайших 50 лет (напомним, что в истории города и области не отмечено ущерба, нанесённого землетрясениями). Это сопоставление иллюстрирует субъективный фактор в создании важного практического документа – объективные данные оказываются второстепенными в вопросах оценки сейсмической опасности территории. Составители схемы сейсмического районирования 1997 г. указывают жителям Магадана, что жить в имеющихся строениях опасно для жизни, следует обитать либо в пальмовых хижинах, вполне безопасных при сейсмических катастрофах, либо в железобетонных капонирах, используемых ранее для береговой артиллерии. Впрочем, сейсмобезопасность населения в случае применения новых дорогостоящих антисейсмических мероприятий вовсе не гарантируется. Сейсмозащитные приемы лишь увеличивают вероятность сохранности строения во время сильного сотрясения. Антисейсмические пояса и другие устройства ветшают вместе со зданием, их эффективность со временем падает, впрочем, и первоначальная их действенность проверялась лишь при разработке и внедрении приёмов в практику. Действенность сейсмозащитных мероприятий в возведенных в Магадан-

ской области сооружениях никогда не проверялась. Новые нормативные антисейсмические мероприятия, настоятельно рекомендуемые новой схемой сейсмического районирования ОСР-97, вероятно, не будут внедрены в практику строительства в Магаданской области (строгость российских законов смягчается их неисполнением), но увеличат неразбериху и ложь в документации на возводимые объекты.

Представления о процессе землетрясения

Понимание процесса сейсмической активности и тем более прогнозирование его течения в конкретной области земных недр опирается на представления о том, что происходит в земных недрах во время землетрясения. Модели землетрясения – образы процесса в очаге – в настоящее время разнообразны и противоречивы. Прямые измерения в очагах землетрясений никогда не проводились, поэтому представления о характере процессов складывались на основании их результатов – умозрительным путем. Модели землетрясения, принимаемые сейсмологами (одними моделями пользуются одни группы сейсмологов, а другими – другие), можно разбить на три группы по их физическому смыслу. Классики сейсмологии (Э. Зюсс, Б.Б. Голицын, Г. Джеффрис) полагали, что во время землетрясения в его очаге смещаются массы горных пород ("земные слои"). В 1911 г. Г. Рейд на основании анализа материалов о землетрясении 1906 г. в Сан-Франциско высказал гипотезу "упругой отдачи". Он предположил, что перед землетрясением в области очага накапливаются упругие напряжения, которые способствуют разрыву сплошности среды и излучению упругой энергии. Во время землетрясения упругие напряжения в очаге снимаются полностью или частично. К 60-м годам на основе принципа "упругой отдачи" сформировались и широко распространились разнообразные модели землетрясения. Наиболее полно и ясно эти представления изложены в книгах Б.В. Кострова [10], К. Аки и П. Ричардса [11], К. Касахара [12]. Сам акт землетрясения как разрыва сплошности среды описывается следующими формальными определениями (по Б.В. Кострову [10]):

- Очаг землетрясения представляет собой разрыв сплошности материала Земли по некоторой (плоской) площадке.
- Разрыв возникает под действием (сдвиговых) упругих напряжений, накопленных в процессе тектонической деформации, и приводит к полному или частичному снятию этих напряжений на площадке разрыва.
- Разрыв возникает сначала в малой области (точке), а затем распространяется от неё со скоростью, не превосходящей скорости продольных волн; соответствующий очагу тектонического землетрясения разрыв является разрывом скольжения, то есть взаимное перемещение его берегов по нормали к площадке (отрыв) равно нулю; материал Земли вне поверхности разрыва остается линейно-упругим.

Гипотеза упругой отдачи предполагает, что в некоторой области земных недр накапливается огромная упругая энергия, которая определяет мощность

сейсмического излучения во время разрывов сплошности. Однако возможность накопления в земных недрах огромных запасов упругой энергии вызывает серьезные сомнения. Человечеству известны механизмы, действующие на основе упругой отдачи. Это лук, арбалет, наконец, рогатка, хорошо знакомая школьникам. Накопление упругой энергии в этих механизмах определяется формой запасавшего энергию элемента, качеством упругих материалов. Мощность устройств, работающих на упругой энергии, не бывает большой именно из-за высоких требований к форме и материалам, из которых они изготовлены. Эти механизмы плохо работают в сплошной среде. За 100 лет существования гипотезы упругой отдачи не появилось методик оценки запасов упругой энергии, якобы накапливающейся в будущих очагах землетрясений.

Интересную модель процесса землетрясения предложил в 60-х гг. томский профессор А.А. Воробьев [13]. Землетрясение он рассматривал как следствие неоднородного распределения в горных породах электрических зарядов. Процессы сейсмической активности по этой модели оказываются аналогичными грозовой деятельности в атмосфере. Спусковым механизмом механических движений масс в земных недрах считаются электрические разряды. Сейсмологи относятся к этой модели неприязненно главным образом из-за того, что измерения электрических и магнитных полей, проводимые в целях прогноза землетрясений, не показали очевидной связи этих величин с сейсмическими событиями.

Что же происходит в очаге землетрясения – разрыв сплошности среды с разрядкой упругих напряжений? "Подземная молния" – мощный электрический разряд? Или удар при торможении движущегося блока горных пород?

Авторы статьи полагают, что верны представления классиков: землетрясения – суть удары при перемещениях блоков горных пород в процессах преобразования рельефа территории [14]. Сейсмические процессы рассматриваются на основе следующей модели [15].

Сделано предположение о том, что упругими напряжениями в земных недрах можно пренебречь при рассмотрении масштабных сейсмических событий. Рассматриваются четыре взаимосвязанных процесса, определяющих известные сейсмические эффекты – сейсмическое излучение, сотрясение материальных систем, землетрясение и сейсмическая активность.

1. Сейсмическое излучение представляет собой распространение в материальной среде механического импульса. В источнике излучения происходит переход потенциальной энергии (гравитационной, химической, электромагнитной, упругой) в кинетическую энергию движущихся масс. Массы приобретают импульс и передают его в пространстве по законам удара.

2. Сотрясения материальных систем представляют собой механическое движение связанных масс, которое определяется действием ньютоновских сил, связанных с изменением импульса, принесенного сейсмическим излучением.

3. Землетрясение есть природный источник сейсмического излучения, действующий при перемещении блока горных пород. Неуравновешенный гид-

ростатически блок в период подготовки толчка взаимодействует составляющей своего веса с прочностью контактовой зоны, в результате чего породы на контакте разрушаются и блок приходит в движение, приобретая кинетическую энергию и механический импульс. При ударе, вызванном торможением движения, блок отдает среде приобретенный импульс.

4. Сейсмическая активность участка земных недр определяется характером преобразования рельефа участка – перемещением массивных блоков в процессе выравнивания поля веса – наиболее значимого силового поля, действующего на горные породы, складывающего земные недра. Процесс сейсмической активности, или сейсмичность, представляет собой дискретное излучение порций сейсмической радиации (механического импульса), сопровождающее акты перемещения элементов рельефа.

Напряженное состояние материала земных недр определяется, в основном, весом вышележащих пород. Сейсмическая активность привязана к зонам максимальных градиентов потенциальной энергии тяготения – землетрясения Тихоокеанского кольца привязаны к склонам глубоководных впадин и к склонам Анд, воздымающихся на 10 км над океанским дном.

Запасы потенциальной энергии сосредоточены в горных сооружениях – массы горных пород, возвышающиеся над окружающим ландшафтом, давят своим весом на опоры, удерживающие их в равновесии. В соответствии с кинетической теорией прочности материал не может существовать под нагрузкой бесконечно долго – опоры разрушаются, и блоки горных пород смещаются в поле тяготения. Применение законов ньютоновской механики позволяет грубо оценивать параметры сейсмических процессов. Например, удар при торможении блока массой 3×10^{12} кг (1 км³ пород), сместившегося на 1 м, вызовет землетрясение магнитуды 5, а Спитакское землетрясение 1988 г. можно интерпретировать как смещение блока объёмом 40 км³ на 1 м по высоте. При взрывах потенциальная химическая энергия переходит в кинетическую энергию.

Фронт сейсмического излучения создает давление на среду за счёт изменения импульса (ньютоновская сила). Давление 10^4 Н/м² соответствует 4-5 баллам макросейсмической шкалы MSK-64, а давление 10^6 Н/м² – 8-9 баллам.

Горные сооружения можно сравнить с сооружениями, возведенными человеческими руками: они содержат массы, поднятые на некоторую высоту над основанием, то есть обладают запасом потенциальной энергии относительно соседствующих долин. Массы горного сооружения прерывисто смещаются вниз под действием поля тяготения Земли. Горные сооружения можно представить в виде систем связанных масс. Система может быть представлена, как невесомый скелет или каркас, удерживающий массивные тела в исходном равновесном состоянии. Разрушение связей, составляющих каркас, приводит к высвобождению некоторых частей системы, перемещение и торможение которых сопровождается сейсмическим излучением. Гравитационное скольжение блоков горных пород неоднократно описывалось в литературе, нередко в связи с землетрясениями [16].

В качестве наглядного примера горного сооружения рассмотрен остров Завьялова (рис. 4), располагающийся в Охотском море в 50 км от г. Магадана.

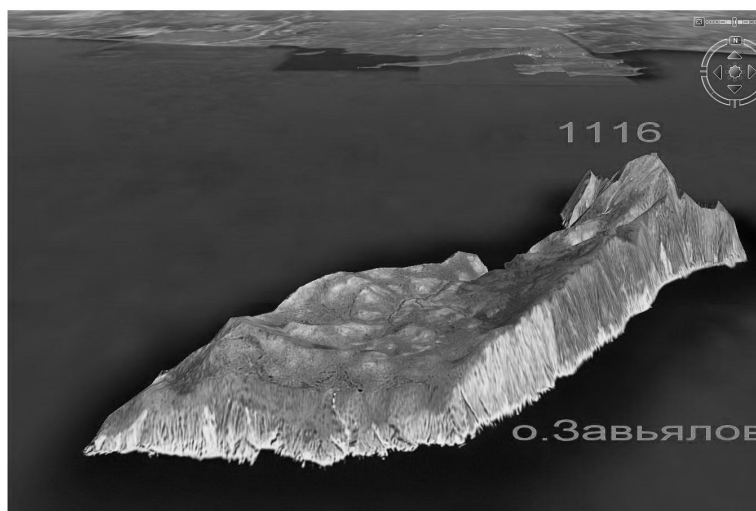


Рис. 4. Остров Завьялова, расположенный в 50 км от г. Магадана: надводная часть весит 120 млрд тонн, давление на уровне моря до 3000 тонн/м² (под вершиной высотой 1116 м), запас потенциальной энергии над уровнем моря – 3×10^{17} Дж

Масса горных пород, возвышающихся над морем, составляет 120 млрд тонн. Высшая точка острова достигает 1116 м над уровнем моря – давление под этой областью на уровне моря превышает 3000 тонн/м². За 40 лет сейсмические станции зарегистрировали 23 землетрясения в районе острова Завьялова (на участке с координатами 58,8-59,5° с.ш. и 150-151° в.д.). Район острова располагается вне зоны магаданской сети станций, поэтому в статистике возможны погрешности как в определении положений очагов, так и в интенсивности толчков. Энергетические классы зарегистрированных землетрясений имеют значения от $K = 7$ до $K = 11$. Как и на всей территории области здесь землетрясения нередко происходят сериями – в 1977 г. отмечено 6 толчков энергетических классов от 7 до 10, в 1985 г. – 5 последовательных событий от $K = 9,3$ до $K = 10,8$, в 1991 г. – 4 землетрясения энергетических классов от 8 до 10. На территории Магаданской области множество горных сооружений, остров Завьялова рассматривается здесь как очевидная отдельность над ровной поверхностью моря.

Землетрясения привязаны к горным сооружениям, главным образом, к склонам горных сооружений. Более 80 % толчков располагаются в пределах Тихоокеанского кольца. На западе кольцо представлено глубоководными впадинами, достигающими 10 км глубины относительно берега, восточное побережье Тихого океана ограничено Андами, воздымающимися на 10 км над океанским дном.

Тихоокеанское кольцо отличается рекордными градиентами высоты твёрдой поверхности.

Литература

1. **Важенин Б.П., Мишин С.В., Шарафутдинова Л.В.** Землетрясения Магаданской области. Препринт. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1997. 44 с.
2. **Мишин С.В., Шарафутдинов В.М.** Тенденции процесса сейсмической активности. Современные проблемы науки и образования, № 5, 2009. С. 21-28.
3. **Сейсмическая** сотрясаемость территории СССР / отв. ред. Ю.В. Ризниченко. М.: Наука, 1979. 220 с.
4. **Тихонов И.Н.** Зоны молчания – среднесрочный предвестник сильных землетрясений Курило-Камчатской зоны // Проблемы сейсмичности и современной геодинамики Дальнего Востока и Восточной Сибири: докл. науч. симпоз. Хабаровск: ИТИГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2010. С. 279-282.
5. **Поляков С.В.** Сейсмостойкие конструкции здания. М.: Высшая школа, 1969. 333 с.
6. **Антикаев Ф.Ф., Нерсесов И.Л.** Количественные оценки сейсмической опасности // Методы количественной оценки сейсмических воздействий. Тбилиси: Мецниереба, 1983. С. 17-19.
7. **Оценка** влияния грунтовых условий на сейсмическую опасность. Методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию / отв. ред. О.В. Павлов. М.: Наука, 1988. 224 с.
8. **Сейсмическое** районирование территории Российской Федерации ОСР-97. Карта на 4-х листах / гл. редакторы В.Н. Страхов и В.И. Уломов; ОИФЗ РАН. М.: НПП "Текарт", 2000.
9. **Уломов В.И.** Сейсмическая опасность, как отражение сейсмогеодинамического процесса // Напряженно-деформированное состояние и сейсмичность литосферы. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал "Гео", 2003. С. 197-201.
10. **Костров Б.В.** Механика очага тектонического землетрясения. М.: Наука, 1975. 172 с.
11. **Аки К., Ричардс П.** Количественная сейсмология. М.: Мир, 1983. 364 с.
12. **Касахара К.** Механика землетрясений. М.: Мир, 1985. 264 с.
13. **Воробьев А.А.** Физические условия залегания глубинного вещества и сейсмические явления. Томск: ТГУ, 1974. ч. 1, 272 с.; ч. 2, 228 с.
14. **Мишин С.В.** Сейсмические процессы и сохранение импульса. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2004. 115 с.
15. **Мишин С.В., Шарафутдинов В.М.** Параметры процесса землетрясения // Вестник СВНЦ, № 1, 2007.
16. **Войт Б.** Механика регрессивного блокового скольжения на примере развития оползня Тернагейн-Хайтс, Анкоридж, Аляска // Сила тяжести и тектоника. Сер. Науки о Земле. М.: Мир, 1976. С. 116-140.

Статья опубликована 3 июля 2012 г.