

УДК 550.344

ГОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ И СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ**Мишин С.В.***Северо-Восточный комплексный институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, Магадан,
e-mail: mishin@neisri.ru*

Процесс сейсмической активности рассматривается на основе отказа от представлений гипотезы упругой отдачи. Землетрясения Магаданской области объясняются как результат трансформации горных сооружений территории. Оцениваются потенциальная энергия сооружений и давления, создаваемые весом горных сооружений на опорные горизонты.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмичность, горное сооружение, потенциальная энергия, давление

OROGEN CONSRUCTIONS AND SEISMIC ACTIVITY**Mishin S.V.***Northeastern Interdisciplinary Institute N.A. Shyla FEB RAS, Magadan, e-mail: mishin@neisri.ru*

On the basis of disavowal the elastic recoil hypothesis, a process of seismic activity is examined. Earthquakes of Magadan region are considered as the effect of the orogen transformations. Size of orogens' potential energy and pressure on bearing horizon caused by mountain structures' weight are estimated.

Keywords: earthquake, seismicity, orogen, potential energy, pressure

Модели процесса землетрясения разнообразны, но в основе их лежат только три основных гипотезы – это гипотеза упругой отдачи, широко распространенная в современных исследованиях [2], гипотеза подземного электрического разряда [1] и восходящая к положениям Э. Зюсса и Б.Б. Голицына ударная модель [5].

«Немного найдется книг, в которых рассматривалась бы роль силы тяжести в тектонических деформациях; еще меньше таких книг, в которых предмет рассматривался бы с точки зрения динамического анализа ...» [9, с. 5]. Х.Рамберг представил результаты экспериментов, в которых тяжесть имитировалась центробежной силой в центрифуге. Он показал возможность перемещения масс вверх под действием тяжести более плотных масс. Мы рассмотрим результаты мысленного эксперимента на центрифуге. Разместим в центрифуге образцы разной формы, плотности и прочности в виде кучи и включим вращение с большой скоростью. Под действием центробежной силы (имитирующей силу тяжести) куча станет расплзаться и уплотняться, образцы – деформироваться и разрушаться. Плотность кучи станет увеличиваться к ее основанию, наименее плотные ее части окажутся «вверху» и представят «сооружения», плавающие в более плотном «субстрате». При достаточно высоких скоростях центрифуги в структуре кучи можно будет заметить аналогии с известными эффектами земных недр – изостазией и характером «дневной поверхности». Мы полагаем, что продол-

жительное действие тяготения Земли приводит к сходным результатам – в земных недрах формируются горные сооружения за счет менее плотных пород, «плавающие» в более плотном субстрате. Однако действие тяготения продолжается, и горные сооружения расплзаются, стремясь к энергетически оптимальному распределению – гидростатическому равновесию. В отличие от представлений Х. Рамберга мы полагаем, что расплзание горных пород происходит не только в виде течения, но и в виде перемещений блоков, причем каждое перемещение блока сопровождается формированием пакета сейсмического излучения.

Сейсмическая активность в нашей концепции – пакеты сейсмического излучения, сопровождающие акты преобразования рельефа границ в земных недрах – перемещений массивных блоков горных пород в поле тяготения Земли.

Напряженное состояние земных недр объясняется действием веса вышележащих горных пород на геологические тела, удерживающие их в покое. Разумеется, в толще недр действуют термические нагрузки при распространении тепловых волн, действуют инерционные силы, связанные с неоднородностями движения планеты, но на глубинах, характерных для очагов землетрясений, значения этих нагрузок несопоставимо малы в сравнении с весовыми нагрузками.

Упругие напряжения, действующие в земных недрах, не могут стать основанием событий реализуемой при землетрясениях

мощности. Модель процесса землетрясения [5] предполагает, что в очаге землетрясения происходит перемещение геологического тела (блока горных пород), которое заканчивается ударом при его торможении. Сейсмическое излучение возбуждается в результате преобразования потенциальной энергии в кинетическую и появления в сплошной среде механического импульса. Представляется необходимым определить условия, при которых происходит перемещение массивных тел, т. е. оценить физические параметры твердой среды, формирующей будущую очаговую зону. Важнейшими характеристиками среды мы считаем давление, создаваемое тяготением Земли, и прочность окружающих тел, препятствующих перемещению блоков. Массы горных пород распределены в недрах неоднородно, что определяет неоднородности распределения потенциальной энергии тяготения. Если рассматривать потенциальную энергию горных масс (Mgh) относительно нулевой изогипсы (уровня моря), то очевидно, что значения энергии достигают максимальных, приуроченных к горным вершинам, а минимальные значения приурочены к долинам. Мы пренебрежем возможными запасами упругой энергии, так как не видим механизма аккумуляции такой энергии.

В случаях, когда среда представлена жесткими телами, появляется каркас или скелет, который удерживает массы выше гидростатического равновесия. Каждое жесткое тело удерживается в покое шестью опорами (по числу степеней свободы), опора может выдержать только некоторое определенное давление; если давление превысит некоторое значение, опора разрушается, и центр масс материального тела (части системы) смещается вниз, приобретая механический импульс. Опора может разрушиться в результате действия температуры (уменьшится прочность опоры), в результате растворения вещества или другой химической реакции. В соответствии с кинетической теорией прочности существование тела (опорной поверхности) под нагрузкой не может продолжаться неопределенно долго. Долговечность существования нагруженной системы, вообще говоря, обратно пропорциональна приложенной нагрузке [3].

Важную роль в процессах разрушения играет существование градиентов давления в земных недрах. В условиях однородного давления равновесное состояние горных пород может сохраняться неопределенно долго, а при существовании градиента дав-

ления вещество должно смещаться в сторону меньших значений давления.

Давление в земных недрах формируется, главным образом, за счет веса вышележащих пород, нагружающих выбранную площадку. Очень небольшую добавку к весу вышележащих пород составляют переменные нагрузки вследствие приливов, температурных волн, вызываемых тепловыми процессами как в недрах, так и на поверхности планеты, разнообразных неоднородностей ее движения. Если весовая нагрузка действует по вертикали, то переменные сравнительно небольшие давления могут действовать в разных направлениях. Давления на горизонтальные площадки растут с глубиной пропорционально весу горных пород, опирающихся на выбранную площадку.

Горное сооружение

Природные объекты, возвышающиеся над окружающей дневной поверхностью, назовем горными сооружениями. Каждый такой объект обладает запасом потенциальной энергии в сравнении с прилегающими ландшафтами, каждое горное сооружение создает дополнительное давление на опорные поверхности, удерживающие массы в равновесии. Склоны гор определяют формирование градиентов давления, эти градиенты остаются существенными и в области глубинных структур, формирующих опорные горизонты горных сооружений. Архитектура этих объектов обыкновенно весьма совершенна – они существуют в течение тысячелетий. Однако горные сооружения все-таки меняются со временем – сопротивление опор в отдельных местах преодолевается, и массивные тела смещаются в новые равновесные состояния, приобретая и отдавая кинетическую энергию, равную произведению веса тела на разницу высот первоначального и конечного состояний. Эта кинетическая энергия формирует пакет сейсмического излучения, сопровождающего процесс перестройки горного сооружения. Сейсмические сигналы генерируются в процессе торможения движущихся масс, а не в процессе разрушения среды.

В качестве наглядного примера горного сооружения рассмотрим о. Завьялова (рис. 1), располагающийся в Охотском море в 50 км от г. Магадана. Высшая точка острова достигает 1116 м над уровнем моря – давление под этой областью на уровне моря достигает 3000 т/м^2 . Значения высоты дневной поверхности над уровнем

моря оцифрованы с шагом 1 км (рис. 1). На рис.2 представлена оценка положения нижней поверхности горного сооружения: плотность пород сооружения принята 2.5 и 2.7 т/м³, а плотность подстилающего суб-

страта – 3 т/м³. Средняя плотность пород горного сооружения, по-видимому, меньше плотности образцов, измеряемых в г/см³ за счет множества трещин и пустот, содержащихся в объемах геологических тел.

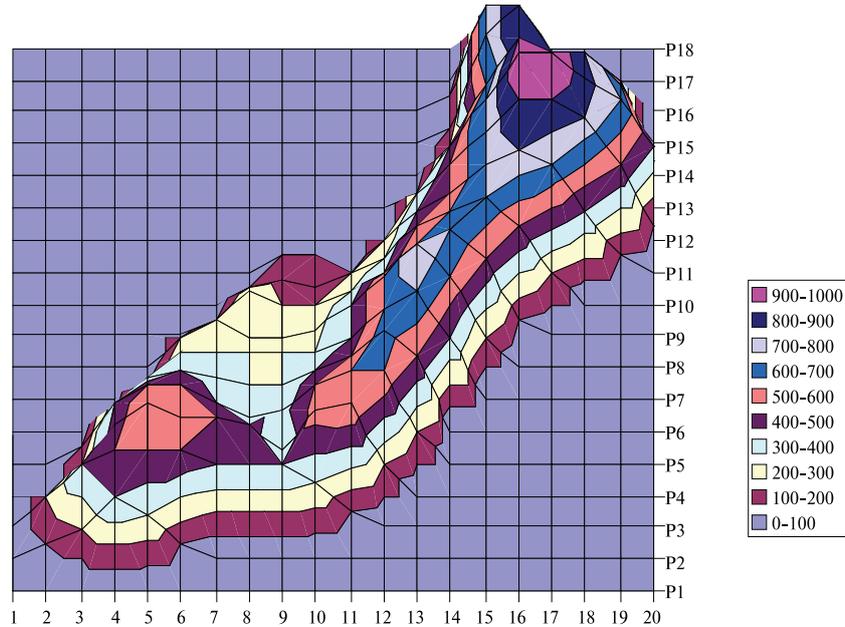


Рис. 1. Пример горного сооружения – остров Завьялова

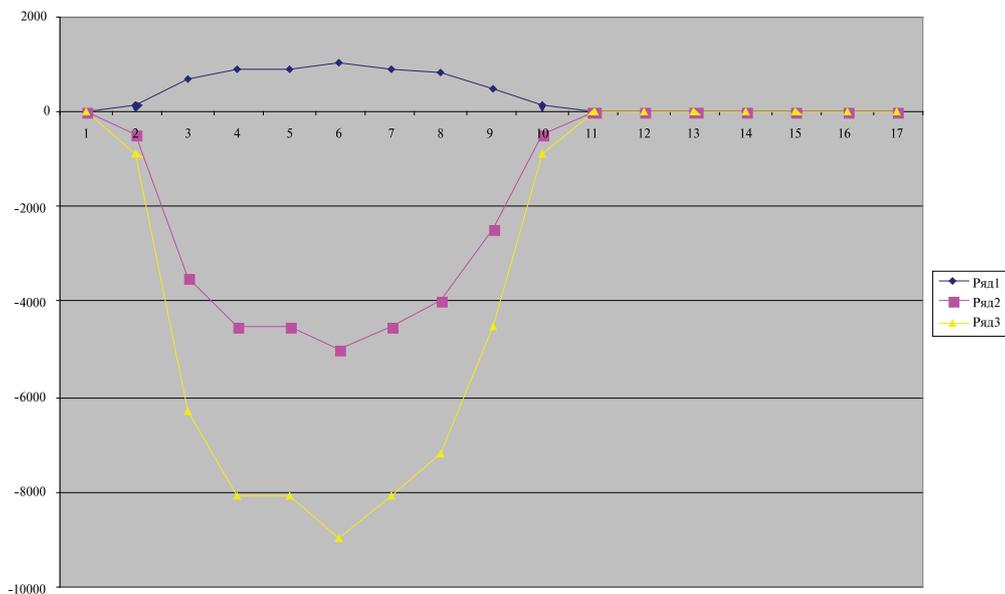


Рис. 2. Изостатическая компенсация горного сооружения (разрез по вертикали 16)

Сооружение и каждый его элемент опираются на внешние элементы среды, так же как и строительная конструкция. Устойчивость конструкции определяется существованием жесткого каркаса, который формируется множеством факторов – прочностью скальных пород, их раздробленностью или сланцеватостью, формами элементов, связанных в конструкцию, длительностью существования системы, ее влагонасыщенностью и пр. Характеристики скальных пород в инженерной геологии рассматриваются, как правило, вблизи дневной поверхности [8].

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.). Остров располагается вне зоны магаданской сети станций, поэтому в статистике возможны погрешности как в определении положений очагов, так и в интенсивности толчков. Энергетические классы К зарегистрированных землетрясений имеют значения от 7 до 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 – 5 последовательных событий от К=9.3 до К=10.8, в 1991 – 4 землетрясения энергетических классов от 8 до 10. Глубина очагов оценивается первыми километрами – можно предположить, что гипоцентры землетрясений размещаются в теле горного сооружения. На территории Магаданской области множество горных сооружений, остров Завьялова рассматривается нами здесь как очевидная отдельность над ровной поверхностью моря.

На уровне моря под вершиной о. Завьялова давление достигает 3000 т/м². Землетрясения, регистрируемые сетью, обычно происходят на глубинах 3-10 км. На этих глубинах давления, создаваемые весом толщи пород, имеют значения 10000-30000 т/м² (100-300 МПа). Заметим, что под возвышенностью острова давление окажется все-таки больше на 3000 т/м² (30 МПа), чем под поверхностью моря. В соответствии с теорией длительной прочности [3], долговечность существования опоры под горой окажется ниже, чем под морским дном (при условии одинаковых механических свойств пород вблизи поверхности и на глубине, что маловероятно). Вероятность разрушения опоры и смещения блока горных пород на глубине существует, и такую вероятность следует оценить. Если опора разрушится на глубине несколько километров, то в движение будут

вовлечены и массы, располагающиеся ниже уровня моря, что должно увеличить энергию процесса.

Как и рукотворное строение, горное сооружение без ремонта будет разрушаться. Например, будет зарегистрировано землетрясение $M=4.5$ с глубиной очага 5 км. С нашей точки зрения [5] это значит, что блок объемом 1 км³ сместился вниз на 10 см. Допустим, это параллелепипед со стороной $L = 5$ км. Потенциальная энергия тяготения генерирует кинетическую энергию, которая составит $E = mgh = P^2/2m$ (Здесь m – масса блока, E – энергия, P – механический импульс, g – ускорение свободного падения, h – высота падения). При торможении движения механический импульс P формирует пакет сейсмического излучения, который регистрируется сейсмическими приборами. Это сейсмическое излучение представлено продольными волнами (количество движения) и поперечными волнами (момент количества движения), соответствующими прямолинейному движению и поворотам блока. Удар – торможение блока – продолжается в процессе распространения продольной волны вдоль ударяющего тела. В нашем случае время удара можно оценить 1 с ($\Delta t = L/v_p \approx 1$ с). Итак, в нашем примере масса сместившегося блока составит $m = 3 \times 10^{12}$ кг, энергия толчка – $E = 3 \times 10^{12}$ Дж, импульс

$P \approx 4 \times 10^{12}$ кгм/с. Импульс передается среде в области удара на опорной площадке, во время удара там действует ньютоновская сила $f = dP/dt \approx P/\Delta t \approx 4 \times 10^{12}$ Н. Приобретенный импульс распространяется из очага со скоростью сейсмических волн, плотность импульса уменьшается пропорционально квадрату расстояния. Волновой фронт действует на окружающую среду – создает давление при передаче импульса. Результатом такого давления могут явиться ослабления структуры среды в непосредственной близости от очага, что станет причиной последующих перемещений блоков – афтершоков нашего события.

Горное сооружение острова представляется в виде нескольких зон, которым соответствуют вершины. Каждая из этих зон сама по себе горное сооружение, имеющее запас потенциальной энергии относительно окружающего ландшафта. Система элементов сооружения, во-первых, существует в поле тяготения Земли и, во-вторых, характеризуется химическими связями на уровне горных пород. Связанные химически блоки горных пород располагаются в равновесии

в поле тяготения Земли. Длительное существование горного сооружения свидетельствует о том, что архитектура этого природного объекта выполнена на хорошем уровне, связи между массивными элементами (блоками) сооружения выдерживают длительные весовые нагрузки. Однако внешние воздействия – изменения температуры, влажности, рН – приводят к интенсивной переработке вещества горных пород на экзоконтактах горного сооружения, изменяется материал и в глубоких недрах. Характер связей блоков, выполняющих сооружение, меняется, наконец, отдельные связи разрушаются, и часть массивных элементов объекта смещается вниз и вбок в поле тяготения Земли. Перемещение и торможение масс сопровождаются формированием сейсмических сигналов, которые могут восприниматься и как землетрясение. В результате отделения частей сооружения немедленно меняется система гравитационных нагрузок на оставшиеся прочностные связи. В большинстве случаев новая система связей оказывается менее устойчивой, отчего новые разрушения системы следуют через короткие промежутки времени. Последовательные эпизоды процесса преобразования горного сооружения – перемещение и торможение его фрагментов – сопровождаются пакетами сейсмического излучения большей или меньшей интенсивности. Формируется рой землетрясений, если события не носили чрезвычайного характера, или афтершоковая последовательность событий, также типичная для процесса сейсмической активности. Перемещения отдельных блоков в процессе роя или афтершоковой последовательности редко бывают значительными – размеры свежих разломов, регистрируемых даже при крупнейших событиях, не превышают нескольких метров, оставаясь в большинстве случаев в пределах сантиметров. В отдельных случаях перемещения блоков сопровождаются свободным падением масс – такие процессы наиболее очевидны: это обвалы пород, достигающие иногда огромной мощности. Во всяком случае сейсмические сигналы связаны не с высвобождением поверхностей, а с ударами массивных смещающихся тел.

Сейсмичность территории

В работе [6] рассматривались характеристики сейсмической активности территории Магаданской области за 40 лет по материалам сети сейсмических станций за

1968–2007 гг. Строились непрерывные распределения величины A_{10} по методикам, разработанным группой Ю.В.Ризниченко в ИФЗ АН СССР [10]. Оказалось, что сейсмичность различных участков территории в разные интервалы времени весьма различается. На рис. 2,б и 2,в сопоставлены распределения величины A_{10} для пятилетних последовательных промежутков времени. За 1988-1992 гг. зарегистрированы 290 толчков с $K>8$, в том числе 3 сильных (зоны – Купка, Средняя Яма, Гижига). В 1993-1997 гг. произошли 246 землетрясений с $K>8$, в том числе 7 с $K\geq 12$ (зоны – Купка, море).

Из рис. 3 видно, что землетрясения концентрируются на отдельных участках территории, происходят рои землетрясений, причем эти рои в течение пятилетки проявляются на разных участках.

Этот факт мы интерпретируем как свидетельство связи сейсмичности с горными сооружениями области. Трансформация горного сооружения подобно разрушению строительной конструкции происходит в виде дискретных перемещений отдельных его частей. Каждый акт перемещения отдельности сопровождается ударом, генерацией пакета сейсмического излучения большей или меньшей интенсивности. Процесс преобразования горного сооружения продолжается в течение нескольких лет и регистрируется сетью станций в виде роя землетрясений.

Большая интенсивность основного события, как правило, сопровождается мощными афтершоками, и продолжительность процесса преобразования увеличивается. Опорные горизонты сооружения разрушаются обыкновенно на глубине нескольких километров, в процесс вовлекаются массы геологических тел, располагающихся между очагом и дневной поверхностью.

Имеется обширная литература, посвященная связям землетрясений с разломной тектоникой территории [4]. Предполагается, что разломы генерируют толчки, что процесс землетрясения связан с формированием или обновлением разломов участка. Наша точка зрения отличается от ортодоксальной. Мы полагаем, что разлом, как и любая трещина в твердых телах, представляет собой след при перемещении массы. Каждый разлом, с нашей точки зрения, есть часть замкнутой поверхности, ограничивающей геологическое тело. При перемещении геологического тела остается свободная зона, заполняющаяся обломка-

ми среды, которая и фиксируется геологами как разлом. В зоне разлома происходит «залечивание» разрушений, вызванных смещением геологических тел при тектонических подвижках. Разломная тектоника свидетельствует об истории движений

геологических тел и обеспечивает возможности перемещения тел в будущем. Естественно, что новые перемещения блоков горных пород изменяют структуру разломов, обновляют старые и создают новые трещины.

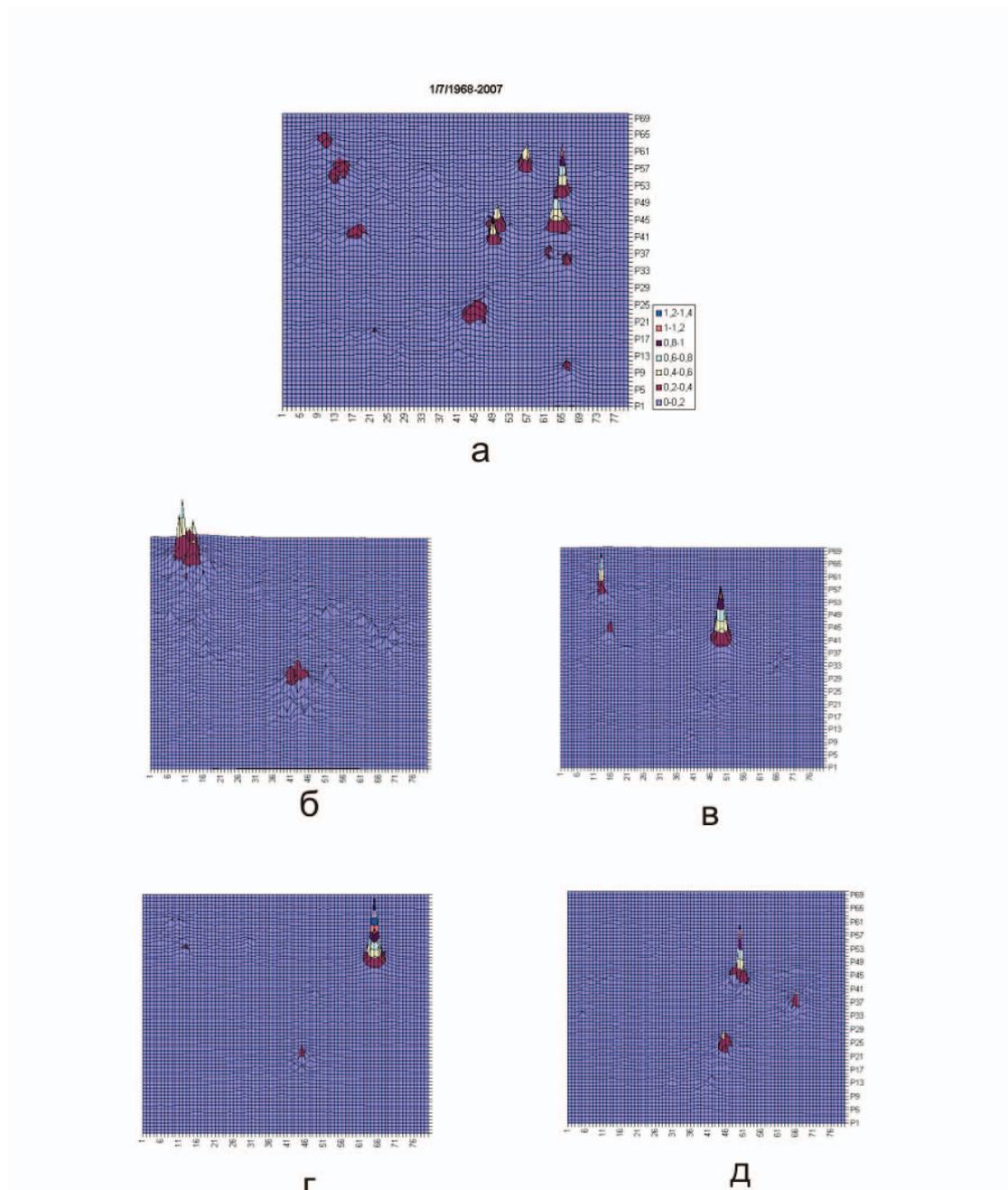


Рис. 3. Распределение сейсмической активности на территории Магаданской области в разные интервалы времени:
 а – за 1967-2007 гг.; б – за 1968-1972 гг.; в – за 1983-1987 гг.; г – за 1993-1997 гг.;
 д – за 1988-1992 гг.

Важную роль в процессах сейсмической активности играют наклоны дневной поверхности территории. Наклон поверхности горных пород формирует градиент давления горного сооружения на опорные зоны. Градиент давления сохраняется и в глубинных горизонтах, почти независимо от величины веса толщи пород, опирающихся на нижележащие толщи. Это обстоятельство облегчает перемещение твердых масс на глубинах, характерных для очагов землетрясений. Поверхность Магаданской области представлена среднегорьем, для горных сооружений области характерно разнообразие множества склонов, что, на наш взгляд, определяет мозаику сейсмических событий. Мы предпринимали попытки сопоставить наклоны дневной поверхности с распределением землетрясений области [7]. Очевидно, что такие наклоны должны связываться с размерами тел, перемещающихся в условиях значительных градиентов давления на опоры.

Заключение

Горное сооружение представляет собой сложнейшую конструкцию геологических тел разного состава, ее устойчивость определяется главным образом характером тяготения Земли и прочностью опорных горизонтов. Каркас сооружения выдерживает постоянные огромные весовые нагрузки, кроме того, на связи между элементами в течение длительного времени действуют тепловые и геохимические процессы, приливные силы. В результате длительной истории взаимодействий часть связей между геологическими телами разрушается, и структура приходит в движение – перемещаются ее отдельные элементы. Меха-

ническое движение масс описывается кинетической энергией, равной изменению потенциальной энергии структуры. Появление кинетической энергии определяет формирование пакета сейсмического излучения, воспринимаемого при значительных размерах как землетрясение. Изменение оптимальной структуры горного сооружения происходит обыкновенно в виде последовательных дискретных смещений ряда элементов конструкции, которые формируют рои землетрясений или афтершоковые последовательности.

Список литературы

1. Воробьев А.А. Физические условия залегания глубинного вещества и сейсмические явления. – Томск: ТГУ, 1974. – Часть 1, 272 с.; Часть 2. – 228 с.
2. Добровольский И.П. Математическая теория подготовки и прогноза тектонического землетрясения. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2009, – 240 с.
3. Журков С.Н., Орлов А.Н., Регель В.Р. Прочность твердых тел // Физический энциклопедический словарь. – М.: Сов. энциклопедия, 1965. – Т.4. – 592 с.
4. Мирошниченко А.И., Леви К.Г., Лухнев А.В., Саньков В.А. Разломные системы Центральной Азии: напряженно-деформированное состояние и потенциальная активность // Напряженно-деформированное состояние и сейсмичность литосферы. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2003. – С. 102-106.
5. Мишин С.В. О физике сейсмических процессов. – Lambert Academic Publishing, 2013. – 196 с.
6. Мишин С.В., Шарафутдинов В.М. Тенденции процесса сейсмической активности // Современные проблемы науки и образования, – 2009. – № 5. – С. 21-28.
7. Мишин С.В., Шарафутдинова Л.В. Рельеф как фактор сейсмической опасности // Применение персональных ЭВМ в геологических исследованиях. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. – С. 95-111.
8. Мюллер Л. Геология скальных массивов. – М: Мир, 1971. – 256 с. Сер. Науки о земле. Т. 38.
9. Рамберг Х. Моделирование деформаций земной коры с применением центрифуги. – М: Мир, 1970. – 224 с.
10. Сейсмическая сотрясаемость территории СССР / отв. ред. Ю.В. Ризниченко. – М.: Наука, 1979. – 220 с.