

УДК 550.348

ТЕНДЕНЦИИ ПРОЦЕССА СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Мишин С.В., Шарафутдинов В.М.

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт**ДВО РАН,**Магадан, Россия*

Рассмотрены данные распределения эпицентров землетрясений на территории Магаданской области за 40 лет. Сопоставлены статистические характеристики сейсмичности за разные интервалы времени. Предполагается, что сейсмичность сопровождает акты трансформации рельефа территории. В результате проведенного анализа перемещения максимальной сейсмической активности в рамках 10-ти летних интервалов за 40 лет отмечена общая тенденция смещения интенсивности землетрясений со временем к востоку территории Магаданской области. Отмечены вспышки активности в локальных участках территории области, которые можно связать с преобразованием рельефа горных сооружений.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмичность, потенциальная энергия, рельеф, горное сооружение.

Процесс сейсмической активности земных недр проявляется в виде дискретных событий – землетрясений. В современной сейсмологии причиной сейсмической активности принято считать наличие в земных недрах мощных упругих напряжений. В настоящей работе мы основываемся на предположении [8] об отсутствии в сейсмоактивных областях полей упругих напряжений, полагая, что напряженное состояние земных недр определяется гравитацией. 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, складывающие земные недра.

Анализ сейсмичности.

Каталог землетрясений Магаданской области включает около 4000 сейсмических событий, зарегистрированных на обширной территории Северо-Востока. В настоящей работе мы анализируем выборку из каталога землетрясений Магаданской

области энергетических классов $K>8$ (т.е. с энергиями более 10^8 Дж) за время с 1968 по 2007 гг. включительно. Мы не рассматриваем здесь землетрясения меньших энергий потому, что именно в массе слабых толчков могут оказаться антропогенные события – взрывы на разрабатываемых месторождениях, 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 $K=8$, таким образом, в нашу выборку эти события не попадают.

За 1968-2007 гг. зарегистрировано 2474 землетрясений энергетическими классами более 8 (Рис.1); за это время произошло 79 землетрясений энергетическими классами не менее 12 – такие толчки при неблагоприятном стечении обстоятельств могут привести к разрушению

строительных конструкций (Ташкентское землетрясение 1966 года имело $K=13,0$).

Мы разделили период инструментальных наблюдений на четыре десятилетних интервала: 1968-1977 гг.; 1978-1987 гг.; 1988-1997 гг. и 1998-2007 гг.

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 г.г.) 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 г.г.) 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. Надежность определений очагов в этот период снизилась.

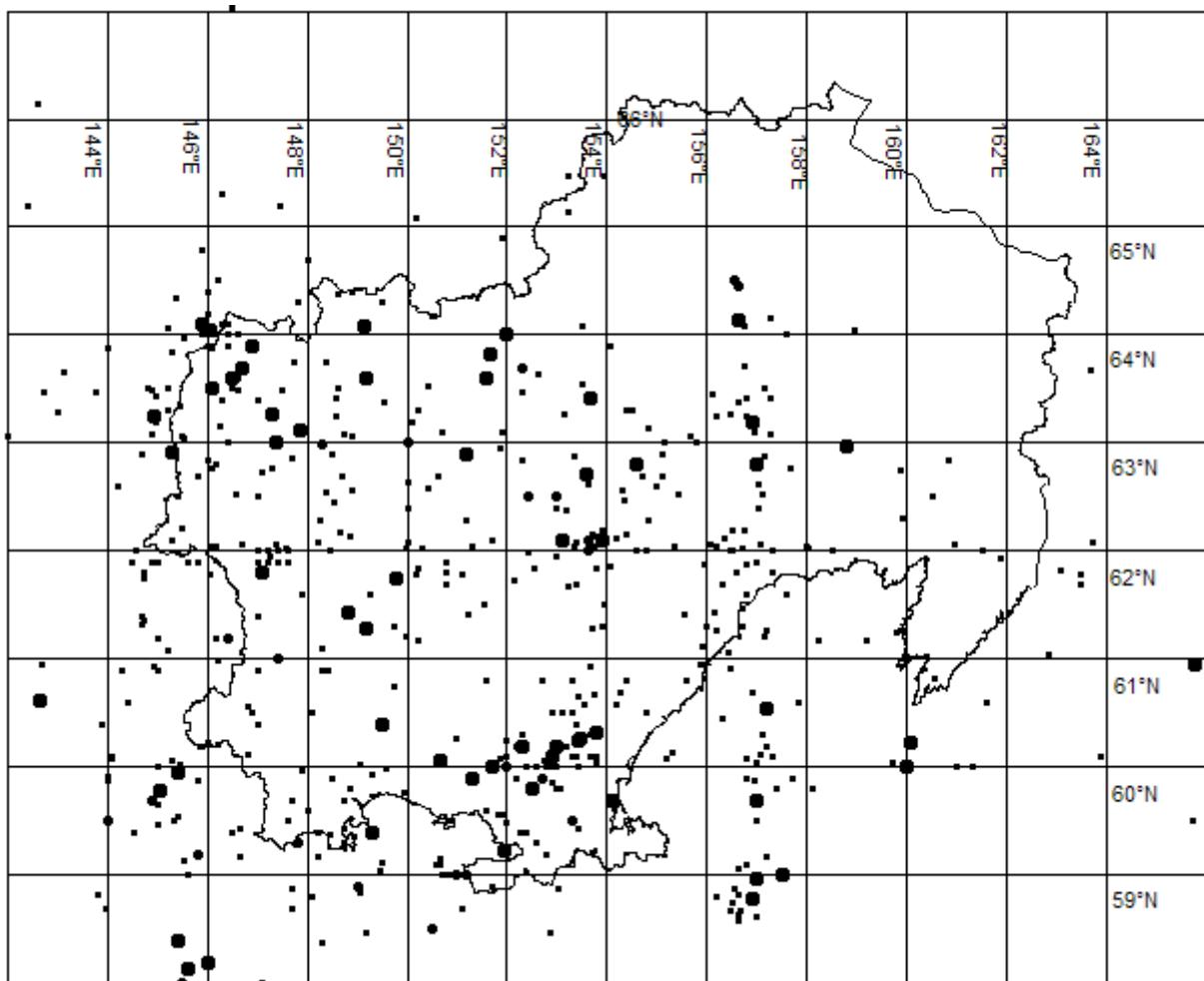


Рис. 1. Схема размещения эпицентров землетрясений Магаданской области.
Мелкими точками представлены эпицентры землетрясений энергетических классов
 $10 \leq K \leq 12$; крупные точки – эпицентры толчков $K \geq 12$;
контуры – граница Магаданской области

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, надежность определений очагов вновь возросла.

Для сопоставления характера сейсмической активности территории в разные интервалы времени мы воспользовались технологией построения непрерывных распределений величины (распределение сейсмической активности) A10, предложенной группой Ю.В. Ризниченко [13]. Эта методика позволяет принципиально дискретные данные каталога землетрясений представлять в виде непрерывных распределений этой величины. Величина A10 формально представляет собой число землетрясений 10-го энергетического класса, происходящих за год на площади 1000 км².

На рис. 2 сопоставлены распределения A10, построенные по способу постоянной точности [13] для участка, ограниченного координатами 58-65° с.ш. и 144-160° в.д., с шагом 0.1° по широте и 0.2° по долготе (шаг сетки соответствует приблизительно 10 км на местности). 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 произошло сильнейшее Артыкское землетрясение 1971 г. и Кулинское землетрясение 1972 г. Именно районы очагов этих толчков выделяются значительными максимумами распределения. Рис. 2в представляет распределение A10 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, т.е. для сейсмичности самых активных зон – Тихоокеанского кольца или Памира. Это свойство активности ряд исследователей пытаются использовать для прогноза сильнейших землетрясений [3, 6, 7].

О природе сейсмической активности.

Природа сейсмической активности земных недр остается пока предметом исследований сейсмологов. Еще Б.Б. Голицын полагал, что сейсмические события непременно связаны с упругостью горных пород, складывающих земные недра [4]. Такие представления остаются исходной позицией и множества современных исследователей [1, 12]. Нередко предполагается также, что последовательность толчков определенной зоны носит закономерный характер, и, определив закон этой последовательности, можно прогнозировать будущие события [6, 3, 7]. Наша точка зрения – можно пренебречь упругими эффектами в масштабах процессов землетрясения. Мы полагаем, что каждое землетрясение связано с ударом при перемещении блока горных пород в новое равновесное положение; сейсмическая активность сопровождает преобразования рельефа участка территории [8, 9, 10].

144 в.д.

160 в.д.

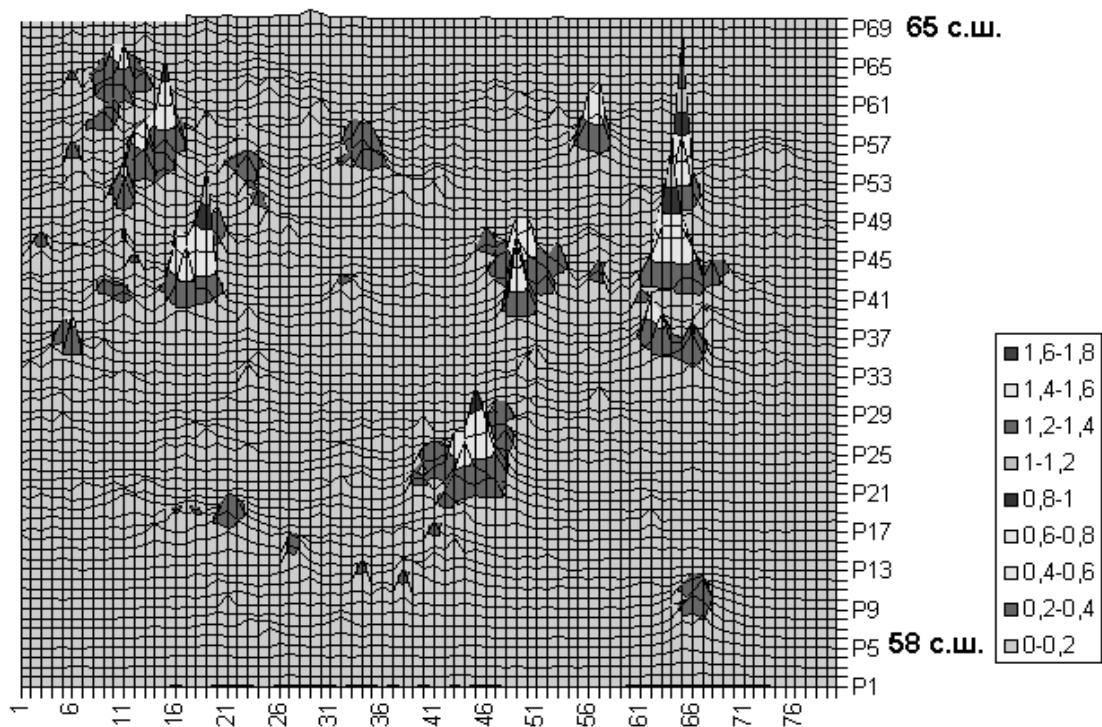


Рис. 2а

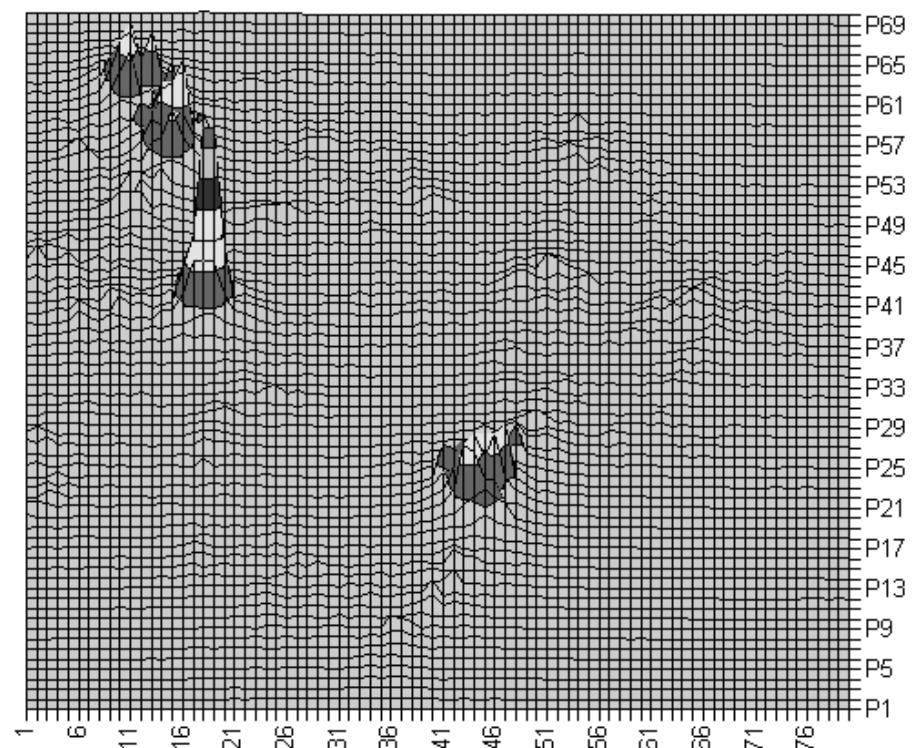


Рис. 2б

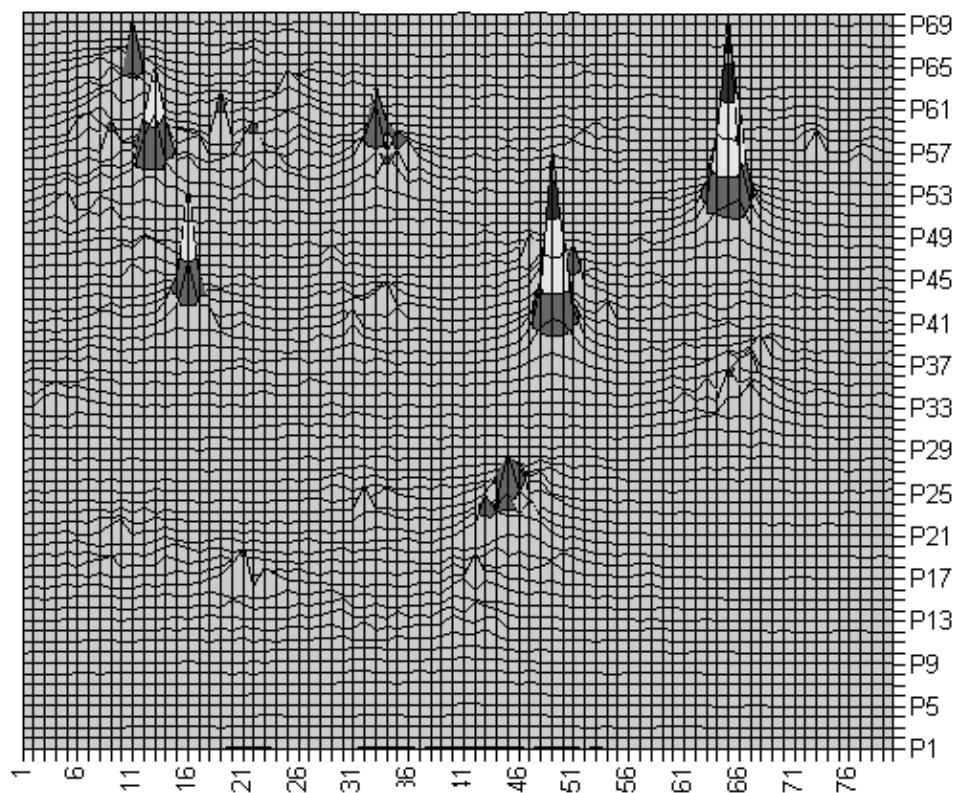


Рис. 2в

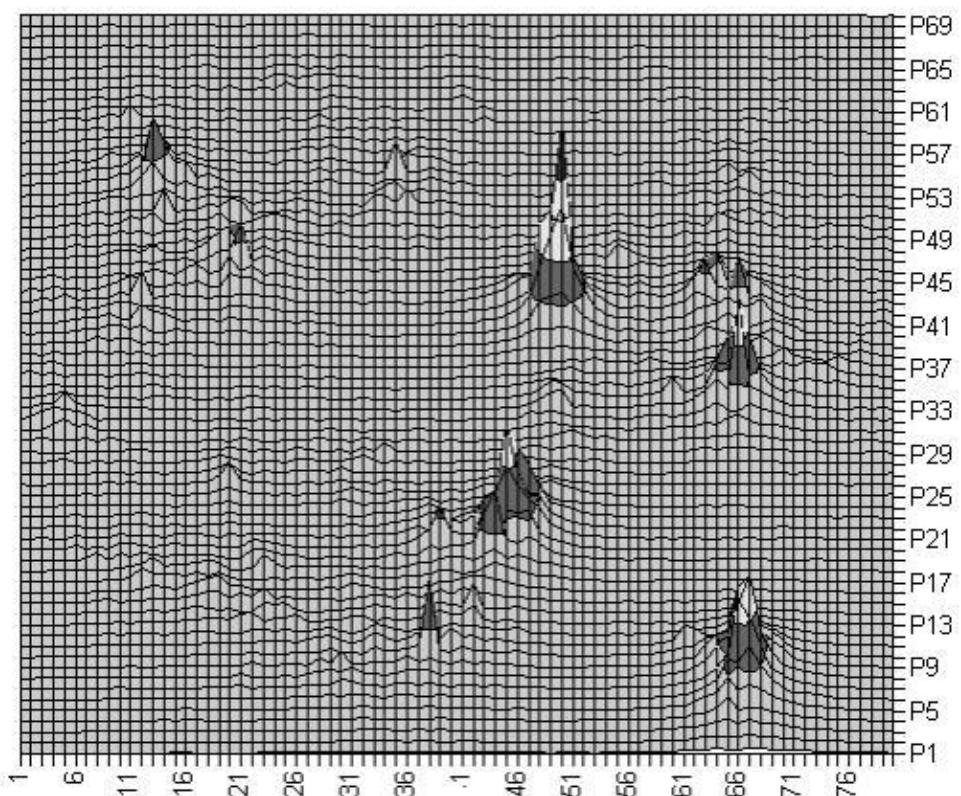


Рис. 2г

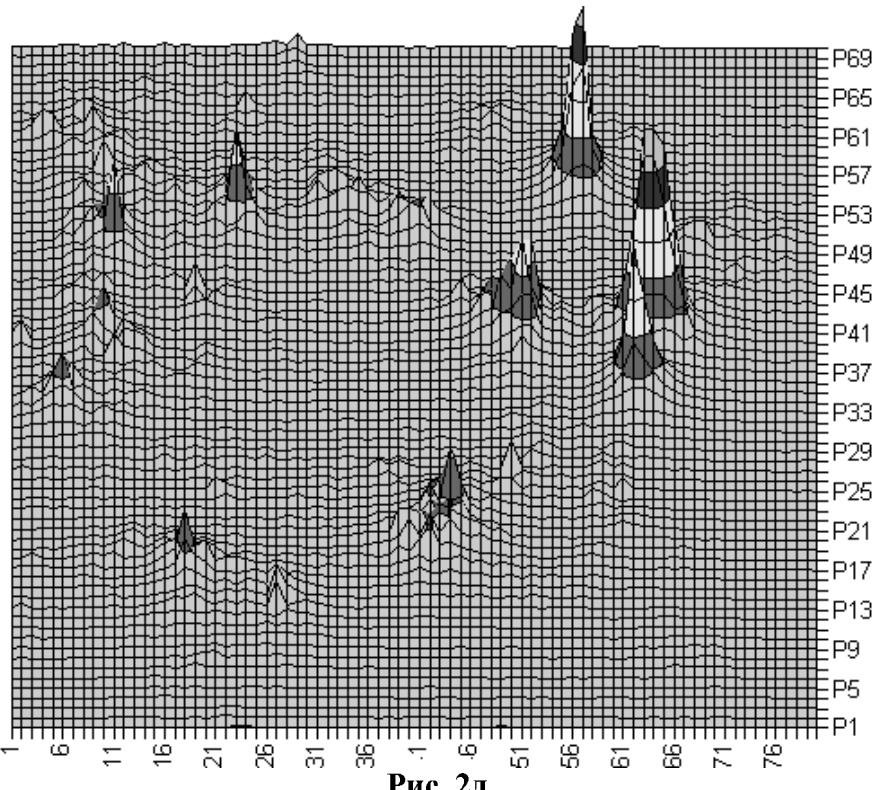


Рис. 2д

Рис. 2. Сопоставление распределений А10, построенных для разных интервалов времени.
а – за весь период 1968-2007 гг.; б – за 1968-1977; в – за 1978-1987 гг.;
г – за 1988-1997 гг.; д – за 1998-2007 гг.

Сильнейшие землетрясения характерны для зон с большими градиентами высоты рельефа. Глубоководные впадины в Тихом океане, к которым приурочены мощные сейсмические зоны, характеризуются резкими погружениями океанского дна до глубин 10 км. Вблизи глубоководных впадин располагаются Япония, Индонезия, Филиппины, где нередки сильнейшие толчки. Западное побережье Америк выполнено горными хребтами, вершины которых на 10 км возвышаются над океанским дном. Здесь происходили катастрофические землетрясения Чили, Перу, Калифорнии, Аляски. Наша точка зрения на природу землетрясений предполагает, что землетрясения вызываются субвертикальным перемещением крупных блоков горных пород и ударами при их остановке. Интересно с этой точки зрения сопоставить условия, в которых располагались другие города,

подвергавшиеся сильным землетрясениям.

Землетрясение 1948 года разрушило город Ашхабад и послужило причиной гибели десятков тысяч людей. Город располагался (и располагается) в 30 км от крутого склона хр. Копет-Даг. Вершины Копет-дага возвышаются над поверхностью долины, в которой располагается Ашхабад, на 2400 м. Можно предположить, что именно перемещение крупного блока в основании горного сооружения Копет-Дага и послужило причиной разрушительного землетрясения.

В 1988 году катастрофическое землетрясение разрушило города Спитак и Ленинакан в Армении. Эти города располагаются в долине, над которой в Турции возвышается хребет на 4000 м (в 60 км от эпицентральной зоны), с другой стороны горы вздымаются на 3000 м над долиной (в 50 км от данной зоны).

Неоднократно подвергался сейсмическим воздействиям г. Петропавловск-Камчатский. В 25 км от города горные массы подняты на 3000 м над побережьем. Берег здесь круто уходит под воду – в 35 км от Петропавловска глубина океана достигает 7000 м.

Горное сооружение давит на удерживающие связи своим весом. Каждый кубометр горных пород весит примерно 2,8 тонны. Таким образом, гора высотой 1000 м создает давление на уровне моря, меняющееся от нуля на морском берегу до 2800 тонн на квадратный метр под вершиной. На глубине 10 км давление составит 28000 тонн на квадратный метр, но под возвышенностью давление будет больше. Разумеется, давление растет и на больших глубинах, однако глубже рост происходит нелинейно, вес горного сооружения компенсируется изостазией.

Горное сооружение представлено элементами массы - геологическими телами – разной формы и размеров. Эти тела соединены в единую систему – каркас – прочностными связями. Связи выдерживают постоянные нагрузки – действие компонентов веса элементов массы. В соответствии с кинетической теорией прочности [5, 11] вещество не может выдерживать нагрузку неопределенно долго – материал неизбежно разрушится через некоторое время, именуемое долговечностью существования под нагрузкой. Долговечность существования тела τ под нагрузкой σ оценивается как

$$\tau = A \cdot \exp(-\alpha \sigma)$$

где A и α – характеристики материала нагруженного тела, а τ - долговечность его существования под нагрузкой σ .

В результате длительного действия нагрузки на связи между элементами массы горного сооружения, какая-то часть связей разрушается, и отдельные элементы массы (геологические тела) смещаются вниз под действием поля тяготения. Траектории движения центров масс гео-

логических тел в процессах преобразования рельефа могут быть разнообразными, но в результате перемещения центр масс блока оказывается ниже исходного равновесного состояния, и избыток потенциальной энергии переходит в форму кинетической энергии. Каждое перемещение массивного тела и его торможение сопровождается формированием пакета сейсмического излучения, который регистрируется сейсмическими приборами. Если сместившийся элемент горного сооружения достаточно велик, сопровождающий перемещение пакет излучения может восприниматься как землетрясение. Запасы потенциальной энергии рельефа достаточны для объяснения наблюданной сейсмичности. Например, потенциальная энергия горных масс, поднятых над долинами для участка 50x40 км² (район Кулинского землетрясения 1972 года с K=14) оценивается величиной 10¹⁸ Дж. Этого достаточно для 10.000 Кулинских землетрясений. Перемены в конфигурации горного сооружения после перемещения элемента приводят к изменению характера нагрузок в оставшихся узлах сооружения. Мы понимаем под термином «напряженное состояние» именно нагрузки, связанные с весом элементов массы. Разрушение части поддерживающей системы приводит к перераспределению весовых нагрузок на остальные части системы. Система горных масс продолжает разрушаться, и каждый очередной этап разрушения сопровождается пакетом сейсмического излучения. Через определенное время система масс перейдет в новое устойчивое равновесное состояние, и сейсмические сигналы из очагов прекратятся. Такова, на наш взгляд, природа хорошо известных роев землетрясений или серий афтершоков, следующих за сильнейшими землетрясениями. Обычно афтершоковый процесс или рой землетрясений заканчиваются через год-другой после четкого начала процесса.

Заключение.

Анализ процесса сейсмической активности, как процесса трансформации рельефа территории под действием поля тяготения Земли не встречает серьезных противоречий ни с точки зрения механики, ни с точки зрения геоморфологии. Процессы разрушения горных сооружений и перемещений массивных блоков позволяют описывать сейсмичность территории без постулирования упругих напряжений.

В результате проведенного анализа перемещения максимальной сейсмической активности в рамках 10-ти летних интервалов за 40 лет отмечена общая тенденция смещения интенсивности землетрясений со временем к востоку территории Магаданской области. Отмечены вспышки активности в локальных участках территории области, которые можно связать с преобразованием рельефа горных сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология. М: Мир, 1983. 364 с.
2. Важенин Б.П., Мишин С.В., Шарафутдинова Л.В. Землетрясения Магаданской области. Препринт. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1997. 44 с.
3. Викулин А.В. Физика волнового сейсмического процесса. Петропавловск-Камчатский: КОМСП ГС РАН, 2003. 150 с.
4. Голицын Б.Б. Лекции по сейсмометрии / Избранные труды. Т.2. М: Изд. АН СССР, 1960. С.7-230.
5. Журков С.Н. Дилатонный механизм прочности твердых тел. // Физика прочности и пластичности. Л: Наука, 1986. С.5-11.
6. Кондратенко А.М., Мыльникова Г.Л. Некоторые результаты хроногеометрического анализа сейсмичности Прибайкалья в связи с прогнозом землетрясений//Исследования по поискам предвестников землетрясений в Сибири. Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1988. С.63-72.
7. Кособоков В.Г. Прогноз землетрясений: основы, реализация, перспективы. // Вычислительная сейсмология, вып. 36, М: ГЕОС, 2005. 179 с.
8. Мишин С.В. Сейсмические процессы и сохранение импульса. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2004. 115 с.
9. 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.
10. Мишин С.В., Шарафутдинова Л.В. О природе сейсмической активности // Напряженно-деформированное состояние и сейсмичность литосферы. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2003. С.106-109.
11. Регель В.Р., Слуцкер А.И. Кинетическая природа прочности // Физика сегодня и завтра. Л: Наука, 1973. С.90-175.
12. Родкин М.В. Статистика кажущихся напряжений и проблема природы очага землетрясения // Физика Земли, 2001, № 8. с.53 -63.
13. Сейсмическая сотрясаемость территории СССР / отв.ред. Ю.В.Ризниченко/ М: Наука, 1979. 220 с.

TENDENCIES OF PROCESS OF SEISMIC ACTIVITY

Mishin S.V., Sharafutdinov V.M.

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН,
Magadan, Russia*

The distributions data of epicenters of earthquakes on the territories of Magadan region for 40 years are considered. Statistical characteristics of seismicity for different intervals of time are correlated. It is supposed, that seismicity accompanies relief transformation activity of territory. As a result of the analysis of the maximum seismic activity offset in 10 summer intervals for 40 years the general tendency of earthquakes intensity shift to the east of the Magadan region is noted. The raised seismic activity in local areas of the region territory which can be related to the transformation of mountain constructions' relief is noted.

Key words: earthquake, seismicity, potential energy, relief, mountain construction.