

**РАЗМЕЩЕНИЕ ЭПИЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ  
ЮГО-ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЯСА ЧЕРСКОГО  
(северо-восток России)**

В работе приводятся результаты количественного анализа связи сейсмичности с глубинным строением территории. Максимальное число землетрясений располагается на участках повышенных горизонтальных градиентов глубины заложения подошвы осадочного и гранитного слоев. Также большинство землетрясений регистрируется на участках с повышенной мощностью гранитного и минимальной мощностью осадочного слоев.

**Ключевые слова:** сейсмичность, глубинное строение, осадочный слой, гранитный слой.

**Введение**

Гипоцентры землетрясений на Северо-Востоке России располагаются на глубине не более 20-30 км. Поэтому геофизические исследования данного „сейсмогенерирующего” слоя (слоя земной коры, в котором накапливаются напряжения и впоследствии разряжаются в виде землетрясений), выявление связи пространственного распределения землетрясений с глубинным строением являются важными для выделения зон возможных очагов землетрясений. В рамках проблемы сейсмогеологии Северо-Востока России проведен большой объем исследований [Вашилов, 1979, Вашилов, Калинина, 2003, Имаев и др., 1995, 2000, Смирнов 2002 и др.], однако многие вопросы требуют более подробного качественного или количественного анализа.

В настоящее время одним из наиболее достоверных геофизических методов для определения структуры земной коры считается сейсморазведка. Однако данный способ исследования глубинного строения является очень затратным (на территории Северо-Востока России таких профилей только два). Расширить возможности геофизических исследований земной коры позволяют методы новой интерпретационной гравиметрии (НИГ), позволяющие строить трехмерные плотностные модели земной коры для территорий различной площади, используя при этом данные об аномалиях поля силы тяжести [Вашилов, 2005; Гайдай, 2010].

**Методика исследования**

Для анализа связи сейсмичности с глубинным строением территории выбран район междуречья Бохапча-Килгана, ограниченного координатами 61°- 62°с.ш. и 151°- 155°в.д. Исследуемую территорию занимают структуры Яно-Кольмской складчатой системы, где развита континентальная земная кора мощностью 35-40 км [Петрищевский, 2007].

Сейсмическая активность территории рассматривалась за период с 1968 (год, когда была создана сеть сейсмостанций на территории Магаданской области) по 2008 г. Пространственно-энергетические характеристики землетрясений получены на основании каталогов Геоинформационной системы „Сейсмичность Магаданской области” [Шарафутдинов, 2009; Шарафутдинов, Малиновский, 2011]. За данный период на рассматриваемой

территории зарегистрировано 186 землетрясений различных энергетических классов, в том числе сильное Купкинское землетрясение 1981 г. (61,78° с.ш. и 153,43° в.д.) энергетического класса  $K=13,3$  [Владимирова и др., 1984]. Однако часть землетрясений малых энергетических классов являются промышленными взрывами, для другой части координаты эпицентров определены с большими погрешностями, что вносит существенную погрешность при определении удельного количества землетрясений. Поэтому при дальнейшем количественном анализе учитывались только землетрясения энергетического класса  $K \geq 8$ .

В качестве количественных характеристик сейсмической активности рассматривались удельное количество землетрясений  $dN$  и удельная энергия землетрясений  $dE$  [Калинина, Гайдай, 2009; Гайдай, Калинина, 2011].

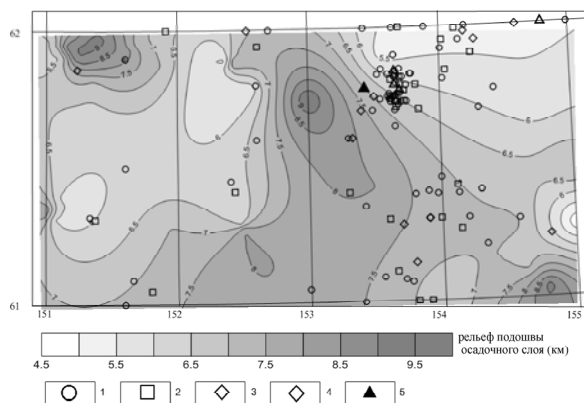
Значения данных величин определялись по формулам:

$$dN = \frac{N}{S} \text{ и } dE = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^N E_i \quad (1)$$

где  $N, E_i$  - количество и энергия землетрясений, эпицентры которых расположены в пределах участков с определенными значениями глубины заложения осадочного или гранитного слоев.

Методами НИГ для данной территории построена трехмерная плотностная модель структуры земной коры, позволившая оценить рельеф границ расслоения в земной коре (интерпретируемых как кровля кристаллического фундамента, граница раздела гранито-гнейсового и гранулитового слоев, кровля базитового слоя, граница Мохо). Полученные результаты позволили провести количественную оценку связи пространственного распределения землетрясений с глубинным строением территории. Для этого были построены схемы пространственного распределения эпицентров землетрясений и рельефа подошвы осадочного (рис. 1) и гранитного слоев. Для детального количественного анализа строились диаграммы зависимостей показателей сейсмической активности от мощности осадочного и гранитного слоев. С этой целью весь исследуемый район был разбит на участки, ограниченные двумя изолиниями Одинаковых значений мощности осадочного или гранит-

ного слоев (сечение изолиний составляло 1 км). Для данных участков определялись количество землетрясений  $N$ , суммарная энергия этих землетрясений  $E$ , а также площадь данных участков  $S$ , далее по формулам (1) рассчитывались показатели сейсмической активности  $dN$  и  $dE$ .



**Рис. 1.** Пространственное распределение эпицентров землетрясений и рельеф подошвы осадочного слоя района исследования.

1-5 – землетрясения энергетического класса: 1 –  $8 \leq K < 9$ , 2 –  $9 \leq K < 10$ , 3 –  $10 \leq K < 11$ , 4 –  $K \geq 11$ , 5 – Купкинское землетрясение с  $K=13,3$ .

### Выводы

Результаты количественного исследования связи сейсмичности с глубинным строением территории позволили сделать следующие выводы.

– Максимальное количество землетрясений приурочены к зонам повышенных горизонтальных градиентов глубины заложения подошвы осадочного (рис. 1) и гранитного слоев. Т. е. землетрясения приурочены к тем участкам, где резко изменяется рельеф границ расслоения в земной коре.

– Максимальное удельное количество землетрясений фиксируется на участках с минимальной глубиной заложения осадочного слоя (т.е. минимальной мощности осадочного слоя). Максимальная сейсмическая активность района исследования (т.е. максимальное значение удельного количества и удельной энергии землетрясений) соответствуют участкам с повышенными значениями мощности гранитного слоя ( $h \geq 20$  км). Т. о. максимальная сейсмичность регистрируется там, где гранитный слой подходит наиболее близко к поверхности и имеет максимальную мощность.

Объяснить полученные данные можно опираясь на представления о том, что происходит в земных недрах во время землетрясения. Независимо от модели подготовки само землетрясение описывается как разрыв сплошности среды, возникающий под действием упругих напряжений, накопленных в процессе тектонической деформации, и приводящий к полному или частичному их снятию на площадке разрыва [Костров,

1975]. Породы, слагающие гранитный слой и низы осадочного слоя обладают максимальной вязкостью и наименьшей пластичностью. Поэтому, именно в гранитном слое накапливаются достаточно большие напряжения, которые в конечном итоге разрешаются землетрясениями разных энергетических классов. В более рыхлых (верхи осадочного слоя) и более пластичных (базитовый слой) породах напряжения нивелируются быстрее. Период релаксации напряжений в таких породах значительно уменьшается, а, следовательно, уменьшается и вероятность возникновения землетрясений.

Полученные в ходе работы выводы можно считать предварительными, для более объективных результатов необходимо провести подобное количественное исследование для районов значительной большей площади в пределах которого зарегистрировано достаточно большое число сильных землетрясений энергетического класса  $K \geq 12$ . В настоящее время проведение подобного исследования невозможно в силу отсутствия трехмерных моделей земной коры для районов большой площади. Следовательно, геофизические исследования на Северо-Востоке России методами новой интерпретационной гравиметрии должны быть продолжены.

### Литература

- Ващилов Ю.Я. Сейсмичность и вопросы глубинного строения Северо-Востока СССР // Геофизические исследования структуры и геодинамики земной коры и верхней мантии Северо-Востока СССР. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1979. – С. 138-157.
- Ващилов Ю.Я. Новая интерпретационная гравиметрия – вместо и вместе с глубинными сейсмическими исследованиями. Статья 1. Методические основы новой интерпретационной гравиметрии // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2005. – № 3. – С. 2-16.
- Ващилов Ю.Я., Калинина Л. Ю. Исследование связи землетрясений с разломами и глубинной структурой Охотоморско-Колымского региона (по геофизическим данным) // Материалы Всероссийского совещания „Геодинамика, магматизм и минерагения континентальных окраин Севера Пацифики”. – Т. 1. – Магадан, 2003. – С. 229-232.
- Владимирова Л.В., Воробьева Л. А., Ефремова Л.В. и др. Купкинское землетрясение 8 ноября 1981 г. // Сейсмические процессы на Северо-Востоке СССР. – Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1984. – С. 39-53.
- Гайдай Н.К. Новая интерпретационная гравиметрия. Понятия. Возможности. Перспективы использования // Вестник Северо-Восточного государственного университета. Спецвыпуск. – Магадан. Изд-во СВГУ, 2010. – № 13. – С. 10-14.

- Гайдай Н.К., Калинина Л.Ю. Плотность разломов, землетрясения и рельеф границ расслоения в земной коре (на примере центральной части Магаданской области) // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 6. – С.71-78.
- Калинина Л.Ю., Гайдай Н.К. Некоторые особенности распределения сейсмичности на территории Магаданской области и на Приморском шельфе Охотского моря // Разломообразование и сейсмичность в литосфере: тектонифизические концепции и следствия: Материалы Всероссийского совещания. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2009. – Т.1. – С. 154-156.
- Имаев В.С., Имаева Л. П., Козьмин Б. М. Сейсмичность, активные разломы и зоны вероятных очагов землетрясений Якутии // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. – М., 1995. – Вып. 2-3. – С. 260-275.
- Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сейсмо-тектоника Якутии // М.: Геос, 2000. – 226 с.
- Костров Б.В. Механика очага тектонического землетрясения. М.: Наука, 1975. – 172 с.
- Петрищевский А.М. Глубинные структуры земной коры и верхней мантии Северо-Востока России по гравиметрическим данным // Литосфера. – 2007. – № 1. – С. 46-64.
- Смирнов В.Н. Активные структуры и сейсмичность Охотско-Колымского региона // Строе-ние, геодинамика и металлогения Охотского региона и прилегающих частей Северо-Западной Тихоокеанской плиты: Материалы международного симпозиума. – Южно-Сахалинск, 2002. – С. 236-240.
- Шарафутдинов В.М. Разработка и формирование /Геоинформационной системы „Сейсмичность Магаданской оюласти”, возможности ее применения // Геоинформатика. – 2009. – № 3. – С. 52-56.
- Шарафутдинов В.М., Малиновский С.Б. Свидетельство о государственной регистрации Геоинформационной системы „Сейсмичность Магаданской области” № 2011615022 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. – М., 24 июня 2011.

#### **РОЗТАШУВАННЯ ЕПІЦЕНТРІВ ЗЕМЛЕТРУСІВ ТА БУДОВА ЗЕМНОЇ КОРИ ПІВДЕННО-СХІДНОГО ФЛАНГУ СЕЙСМІЧНОГО ПОЯСУ ЧЕРСЬКОГО (північний схід Росії)**

**Л.Ю. Калініна, Н.К. Гайдай**

В роботі приводяться результати кількісного аналізу зв'язку сейсмичності з глибинною будовою території. Максимальна кількість землетрусів розташована на ділянках підвищених горизонтальних градієнтів закладення підшви осадового та гранітного шарів. Також більшість землетрусів реєструється на ділянках з підвищеною потужністю гранітного та мінімальною потужністю осадового шару.

**Ключові слова:** сейсмичність, глибинна будова, осадовий шар, гранітний шар.

#### **DISTRIBUTION OF EPICENTRES OF EARTHQUAKES AND STRUCTURE OF THE EARTH'S CRUST IN THE SOUTH EAST FLANK OF THE CHERSKY SEISMIC BELT (the north east of Russia)**

**L.Yu. Kalinina, N.K. Gayday**

In the paper, the results of quantitative analysis of the relationship between seismicity and deep structure of the Earth's crust are presented. The majority of earthquakes are confined to the areas with higher horizontal gradients of the depth to the base of granite and sedimentary layers. Also, the majority of earthquakes are located in areas with great thickness of granite and minimum thickness of sedimentary layer.

**Key words:** seismicity, deep structure of the crust, granite layer, sedimentary layer.

---

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Академика Н.А. Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук, Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Россия*

Надійшла 01.08.2013