

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГИПОЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ОТНОСИТЕЛЬНО ПЛОТНОСТНОЙ ГРАНИЦЫ РАССЛОЕНИЯ В ЗЕМНОЙ КОРЕ (на примере отдельных участков северо-востока России)

3D модели земной коры, построенные гравиметрическими методами для отдельных участков Северо-Востока России, позволили на количественной основе проследить закономерности в распределении гипоцентров землетрясений относительно плотностной границы расслоения. Установленные закономерности имеют аналогичный характер для территорий с различной сейсмической активностью: гипоцентры тяготеют к зонам резкого изменения рельефа плотностной границы расслоения, располагаясь преимущественно выше данной границы. Землетрясения, зафиксированные глубже данной границы, имеют энергетический класс $K \leq 9$.

Ключевые слова: гравиметрия, плотностная модель, земная кора, плотностная граница расслоения, землетрясение, гипоцентр.

Введение

Исследование связи глубинного строения и сейсмичности – одна из актуальных задач современной сейсмогеологии. Этому вопросу посвящены многочисленные работы [Вашилов, 1979; Имаев и др., 2000, Новейшая ..., 2000; Тектоника ..., 2001; Смирнов, 2002; Вашилов, Калинина, 2003; Шарафутдинов, Мишин, 2006, Третьяков, 2009, Шарафутдинов, Хасанов, 2010, Гайдай, Калинина, 2011, Петрищевский, 2012 и др.]. Но и на сегодняшний день остаются позиции, требующие уточнения и подтверждения количественными данными.

Из существующих методов исследования глубинного строения, в случае отсутствия на территории профиля ГСЗ, наиболее информативным для получения данных об особенностях земных недр остается гравиметрический. В лаборатории геофизики Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института Дальневосточного отделения Российской академии наук для интерпретации аномалий поля силы тяжести используют методы новой интерпретационной гравиметрии (НИГ), разработанные Ю.Я. Вашиловым [Вашилов, 2005]. В их основе лежат представления о блоково-слоистом строении земной коры. В качестве элементарного тела, аппроксимирующего ячейку земной коры, выступает многослойная пятигранная призма с наклонными верхним и нижним основаниями [Гайдай, 2011]. Модели, построенные с использованием методов НИГ, отвечают критериям Адамара.

Одним из направлений исследований лаборатории геофизики СВКНИИ ДВО РАН является изучение глубинного строения территории Северо-Востока России. Развитие компьютерных технологий позволяет увеличивать детальность 3D моделей земной коры, что в свою очередь открывает возможность определения новых закономерностей связи между различными процессами.

На сегодняшний день существуют несколько площадей, для которых методами НИГ изучено глубинное строение и построены детальные плотностные модели земной коры. Информация о

глубинном строении, полученная для этих территорий, дает возможность, в частности, наблюдать закономерности в связи распределения гипоцентров и плотностных особенностей глубинного строения.

Объекты исследования

Представленный материал демонстрирует результаты такого исследования для двух различных по своей сейсмической активности районов: активной юго-восточной части зоны сочленения Аян-Юрхского антиклинория и Иньяли-Дебинского синклинория (юго-восточный фланг сейсмического пояса Черского) и пассивной юго-западной части Омолонского массива. На обеих территориях имеются профили ГСЗ: на первой – профиль 3-ДВ (в настоящий момент именно на этом участке ведутся работы), на второй – сейсмический профиль 2-ДВ. Однако данные, полученные вдоль профиля, дают представления о глубинном строении только в узком коридоре. Нами же рассмотрены участки с большей площадью.

Первый участок расположен в южной части зоны сочленения Аян-Юрхского антиклинория и Иньяли-Дебинского синклинория и рассматривается в пределах координат 62° - 63° с.ш. и 148° - 152° в.д., его площадь составляет $23,3 \text{ км}^2$. Территория сложена разнообразными осадочными, осадочно-вулканогенными, вулканогенными, хемогенными, метаморфическими образованиями широкого возрастного диапазона [Геологическая..., 1999]. Максимальную часть занимают юрские отложения. Широко распространены интрузивные и субвулканические образования, преимущественно в виде крупных гранитоидных массивов возраста от позднеюрского до позднемелового.

Территория Южно-Омолонского поднятия рассматривается в пределах координат $63^{\circ}14'$ - 64° с.ш. и 156° - 159° в.д., ее площадь составляет $12,9 \text{ тыс. км}^2$. На территории имеются выступы дорифейского кристаллического фундамента (данная часть Омолонского массива считается максимально гранитизированной). Поднятие сложено породами среднепалеозойского структурного этажа с выступами фундамента и нижнего яруса чехла массива.

Результаты

За период с 1968 по 2013 г. на первой территории зарегистрировано 252 землетрясения с энергетическим классом от 5,6 до 13 [Шарафутдинов, Малиновский, 2011] (землетрясения с меньшим энергетическим классом не рассматривались, т.к. они могли относиться к промышленным взрывам). Средняя плотность землетрясений составила 10,8 событий на 1 тыс. км². Для 70 землетрясений имеется информация о глубине гипоцентров. При этом 66% гипоцентров зафиксированы до глубины 10 км.

На второй территории зафиксировано 31 землетрясение энергетического класса от 7,6 до 10, здесь плотность землетрясений составляет всего 2,4 события на 1 тыс. км². Для 19 землетрясений имеется информация о глубине гипоцентра, которая колеблется в диапазоне от 2 до 10 км.

Для обеих территорий методами НИГ определен рельеф плотностной границы расслоения в земной коре. Данная граница разделяет две области в земной коре: верхнюю часть (в которой наблюдается латеральная плотностная неоднородность – изменение плотности при переходе от одного блока к другому), и нижнюю (в которой отсутствуют различия в плотности соседних блоков, что свидетельствует о плотностной однородности вещества в данной области пространства).

К аномалиям поля силы тяжести были проведены интерпретационные профили и установлены глубины верхней и нижней границы аномалообразующих блоков.

Распределение гипоцентров землетрясений показывает, что и в первом, и во втором случаях подавляющая их часть расположена в зонах повышенных горизонтальных градиентов глубины плотностной границы расслоения, т.е. в областях с резким изменением ее рельефа. Причинами формирования такого рельефа плотностной границы могли быть, в частности, тектоническое движение отдельных блоков земной коры, локальный повышенный тепловой поток, породивший фазовые переходы вещества земной коры. В результате, изменение положения плотностной границы в пространстве могло послужить причиной появления в земной коре механических напряжений, сопровождающихся разрядкой энергии в виде землетрясений.

Факт тяготения землетрясений к участкам с резким изменением рельефа границ расслоения в земной коре согласуется с представлением о высвобождении упругих напряжений в областях, где наблюдается скачкообразное изменение физических свойств вещества (Костров, 1975). Фактически именно эти участки представляют собой контакты между разнородными (по плотности) блоками земной коры. Соответственно, именно на этих контактах наблюдается резкий скачок значений физических параметров вещества (в данном случае плотности), что и приводит к повышению вероятности высвобождения здесь упругих напряжений, а следовательно возникновению землетрясений.

Анализ глубин гипоцентров и положения их относительно плотностной границы показывает, что преимущественно они расположены в верхней части земной коры, находясь выше установленной плотностной границы расслоения. Для первой территории, т.е. для сейсмически активной территории – 74 % гипоцентров расположены в верхней части земной коры. Для второй территории (сейсмически пассивной) – все землетрясения, для которых имеется информация о глубине гипоцентра, зафиксированы на глубинах, не превышающих глубину плотностной границы расслоения. Возможно, повышенный тепловой поток, приведший к образованию плотностной границы, способствовал переводу вещества, находящегося ниже данной границы, в более пластичное состояние, которое в свою очередь, препятствует накоплению в данной области пространства механической энергии.

Следует отметить также, что энергетический класс всех землетрясений с гипоцентрами, расположенными ниже плотностной границы расслоения, не превышает 9. Это также возможно объяснить особенностями физических свойств вещества на данных глубинах – его пластическое состояние препятствует накоплению большого количества энергии, а соответственно и разрядке ее в виде мощных землетрясений.

Таким образом, закономерности распределения гипоцентров землетрясений в земной коре совпадают для участков с высокой и низкой сейсмической активностью, и фактически определяются только особенностями глубинного строения.

Работа выполнена в рамках НИР „Исследование связи землетрясений с разрывными структурами, выделенными по геолого-геофизическим данным, и полями напряжений в земной коре юго-восточной части сейсмического пояса Черского (Магаданская область)” (№ госрегистрации 01201151451), выполняемой в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ, и НИР СВГУ „Построение трехмерной модели земной коры Северо-Востока России вдоль профилей МТЗ” (№ госрегистрации 01201253471).

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 Все-

- российского совещания "Геодинамика, магматизм и минерагения континентальных окраин Севера Пацифики". – Магадан, 2003. – Т. 1. – С. 229-232.
- Гайдай Н.К. Геоинформационные технологии в интерпретации геофизических данных методами новой интерпретационной гравиметрии (НИГ) // Геодинаміка. – № 2(11). – Львів. 2011. – С. 55-57.
- 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.
- Геологическая карта и карта полезных ископаемых Охотско-Кольмского региона. Масштаб 1:500 000. Объяснительная записка в 4-х книгах. Кн.1. Геологическое описание. Полезные ископаемые, минерагеническое районирование и прогнозная оценка территории // Под ред. Г.М. Сосунова. – Магадан: ГП "Магадангеология", 1999. – 181 с.
- 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.
- Новейшая тектоника, геодинамика и сейсмичность Северной Евразии. Под ред. Грачева А. Ф. – М., 2000. – 475 с.
- Петрищевский А.М. Новый метод оценки жесткости тектонических сред по гравиметрическим данным и его использование при анализе сейсмичности // Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе: Материалы Всероссийского совещания и молодежной школы по современной геодинамике – Иркутск, ИЗК СО РАН, 2012. – Т.1. – С.53-56.
- Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) // под ред. Парфенова Л. М., Кузьмина М.И. – М.: МАИК "Наука", – 2001. – 571 с.
- Третьяков М.Ф. Особенности строения земной коры сейсмического пояса Черского: Автор. дис. канд. геол.-мин. наук // Российский государственный геологоразведочный ун-т им. С.Орджоникидзе. – М., 2009. – 27 с.
- Смирнов В.Н. Активные структуры и сейсмичность Охотско-Кольмского региона // Строение, геодинамика и металлогения Охотского региона и прилегающих частей Северо-Западной Тихоокеанской плиты: Материалы международного симпозиума. – Южно-Сахалинск, 2002. – С. 236-240.
- Шарафутдинов В.М., Малиновский С.Б. Геоинформационная система „Сейсмичность Магаданской области” //Свидетельство о государственной регистрации Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам № 2011615022 от 24.06.2011.
- Шарафутдинов В.М., Мишин С.В. Сейсмичность Северо-Востока России // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. – Владивосток: Дальнаука, 2006. , – Книга 1.
- Шарафутдинов В.М., Хасанов И.М. Глубинное строение Кулинского сейсмогенного узла (Верхнее-Кольмское нагорье) по геофизическим данным // Вулканология и сейсмология, 2010, – №5. – С.55-66.

**ПРО ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ГІПОЦЕНТРІВ ЗЕМЛЕТРУСІВ ВІДНОСНО ГУСТИННОЇ ГРАНИЦІ РОЗШАРУВАННЯ В ЗЕМНІЙ КОРІ
(на прикладі окремих ділянок північно-східної Росії)**

Н.К. Гайдай

3D моделі земної кори, побудовані гравіметричними методами для окремих ділянок Північного Сходу Росії дали змогу на кількісній основі простежити закономірності в розподілі гіпоцентрів землетрусів відносно густинної межі розшарування. Встановлені закономірності мають аналогічний характер для територій з різною сейсмічною активністю: гіпоцентри тяжіють до зон різкої зміни рельєфу густинної межі розшарування, розташовуючись переважно вище цієї межі. Землетруси, зафіксовані глибше цієї межі, мають енергетичний клас $K \leq 9$.

Ключові слова: гравіметрія, модель густини, земна кора, густинна границя розшарування, гіпоцентр.

**ON DISTRIBUTION OF EARTHQUAKES RELATIVE TO THE DENSITY BOUNDARY
IN STRATIFICATION OF EARTH'S CRUST
(case study in selected areas of the north-east of Russia)**

N.K. Gayday

3D models of the Earth's crust in some areas of the North-East of Russia built using gravimetric methods have enabled to analyze, on a quantitative basis, a pattern of earthquake distribution relative to the density boundary in stratification of crust. It was found out that distribution of hypocenters was similar in areas with different seismic activity: the hypocenters tend to concentrate in the areas with sharp changes in density boundary relief, mostly above the boundary. Earthquakes, registered below the boundary, have energy classes $K \leq 9$.

Key words: gravimetry, density model, the earth's crust, the boundary of a density stratification, hypocenter.

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт
им. Академика Н.А. Шило ДВО РАН, Северо-Восточный государственный
университет, г. Магадан, Россия*

Надійшла 22.07.2013