

УДК 550.348.436 (571)

ГЛУБИННЫЕ РАЗЛОМЫ И ЛИНЕАМЕНТЫ И РАЗМЕЩЕНИЕ ЭПИЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА СУШЕ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

© 2008 г. Ю. Я. Ващилов¹, Л. Ю. Калинина²

¹Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, Магадан, 685000

²Северный Международный университет, Магадан, 685000

Поступила в редакцию 28.05.2007 г.

Обобщен существующий геолого-геофизический материал по разломам с позиций их роли в сейсмическом процессе. По совокупности геолого-геофизических признаков выявлены скрытые разломы, имеющие большое значение в пространственном размещении землетрясений, построена схема важнейших сейсмоактивных разломов и линеаментов Северо-Востока России. Наряду с приуроченностью сейсмичности к известным, проявленным на поверхности, разломам, выявлено ее тяготение к выделенным скрытым разломам и линеаментам, а также к узлам пересечения разломов. Проведена количественная оценка связи землетрясений с тектонической раздробленностью земной коры на основании корреляционного анализа плотности и меры дискордантности разломов с показателями сейсмической активности (удельными количеством и энергией землетрясений) для юго-восточного фланга Охотско-Ленского сейсмического района. Полученные в работе результаты позволили выделить особенности пространственного распределения землетрясений на суше Охотско-Ленского сейсмического района: максимальный уровень сейсмической активности соответствует участкам со средними значениями меры дискордантности разломов ($12 < \|D\| \leq 18$), выделенных по гравиметрическим данным, и зонам повышенных горизонтальных градиентов изодискордант. Максимальная вероятность возникновения землетрясений энергетического класса $K \geq 12$ здесь соответствует средним значениям плотности разломов, выходящих на поверхность ($0.12 < \tau \leq 0.16 \text{ км}^{-1}$).

ВВЕДЕНИЕ

Северо-Восток России (без п-ва Камчатка) и омывающие его моря представляют собой одну из наименее изученных в сейсмическом отношении областей России в виду его слабой заселенности и продолжающегося оттока населения. Однако в отдельных районах этого региона сосредоточена важнейшая горнопромышленная, топливно-энергетическая и социальная инфраструктура, включающая в себя золотые и серебряные рудники и прииски, угольные разрезы, гидроэлектростанции, города и другие населенные пункты. При этом отдельные районы Северо-Востока России характеризуются повышенной сейсмической активностью. Здесь происходили сильнейшие землетрясения, например, Артыкское 18 мая 1971 г. с $M = 7.1$. Все это диктует необходимость изучения пространственно-временных особенностей проявления землетрясений на Северо-Востоке России, учитывая те катастрофические последствия, к которым они могут привести в местах проживания людей в условиях одного из самых суровых климатов на Земле. Эта задача решается на основе анализа сейсмологических и геолого-геофизических материалов. И хотя в рамках этой проблемы проведен большой объем исследований, многие вопросы сейсмогеологии Северо-Востока России все еще остаются нерешенными

или требуют более детального качественного и количественного анализа.

Анализ геологических, сейсмических и других геофизических данных показывает, что на территории Северо-Востока России выделяются два сейсмоактивных района – Корякско-Чукотский и Охотско-Ленский [6]. Гипоцентры землетрясений Корякско-Чукотского и Охотско-Ленского сейсмических районов располагаются в пределах земной коры на глубинах не более 25–30 км.

Эпицентры землетрясений Корякско-Чукотского сейсмического района (КЧСР), относительно слабо изученного, располагаются в пределах восточной Чукотской ветви мезозойд Северо-Востока России, а также наложенного на нее северо-восточного звена Охотско-Чукотского вулканогенного пояса и Корякско-Анадырской кайнозойской складчатой области.

Значительно больший по площади и намного лучше изученный Охотско-Ленский сейсмический район (ОЛСР) занимает юго-западный фланг мезозойд Северо-Востока России, охватывая разнородные и разновозрастные структуры Верхояно-Чукотской складчатой области, краевой Охотско-Чукотский вулканогенный пояс, а также часть акватории морей Лаптевых и Охотского. Он протягивается от низовьев р. Лены и северной части Верхоянского

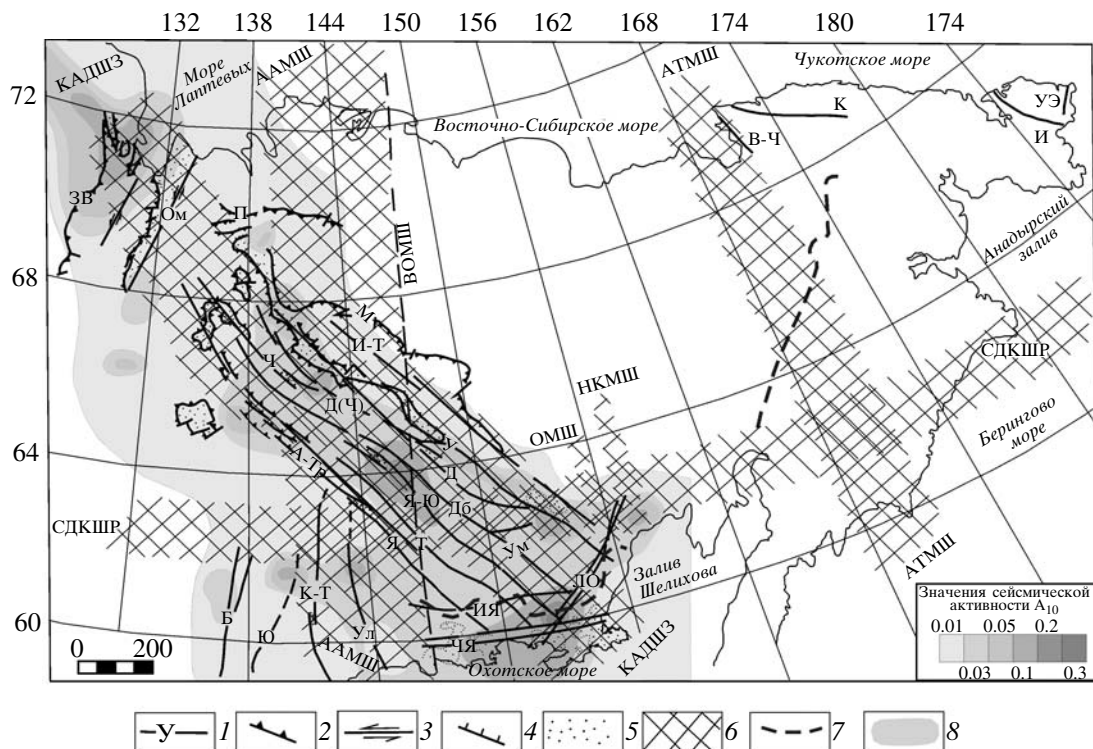


Рис. 1. Схема важнейших сейсмоактивных разрывных дислокаций Северо-Востока России и узлов повышенной сейсмической активности Охотско-Ленского сейсмического района (при построении использованы схемы разломов Г.С. Гусева [10], Ю.Я. Вашилова и др. [6]; В.С. Имаева и др. [13], В.М. Кузнецова [16], В.Н. Смирнова [18]; схема сейсмической активности дана по В.С. Имаеву и др. [24]). 1 – активные разломы (ЗВ – Западно-Верхоянский, Ом – Омолыйский, П – Полоусненский, М – Мятисский, А-Тр – Адыча-Тарынский, Ч – Чималгинский, И-Т – Илин-Тасский, А-Т – Арга-Тасский, Д(Ч) – Догдинский (Чибагалахский), У – Улахан, Д – Дарпир, Дб – Дебинский, Ум – Умарский, Ч-Ю – Чай-Юрьинский, Я – Янский, Т – Тенькинский (Эльгинский), ИЯ – Иня-Ямский, ЧЯ – Челомджа-Ямский, ЛО – Ланково-Омолонский, Ул – Нют-Ульбейский, К-Т – Кетавинский, Ю – Юдомский, Б – Бурхалинский, В-Ч – Восточно-Чаунский, К – Киберовский, УЭ – Уэленский, И – Игельвеемский); 2–4 – разломы с указанием кинематического типа: 2 – надвиги, 3 – сдвиги, 4 – сбросы; 5 – кайнозойские впадины; 6 – зоны глубинных сейсмолинементов (по геофизическим данным); СДКШР – Сетте-Дабанско-Корякский широтный разлом, ААМШ – Азиатско-Австралийский меридиональный шов, ВОМШ – Восточно-Охотский меридиональный шов, НКМШ – Наяхан-Коркодонский меридиональный шов, ОмШ – Омсукчанский меридиональный шов, АТМШ – Азиатско-Тихоокеанский меридиональный шов; КАДШЗ – Колымо-Алеутская дуговая шовная зона; 7 – Генеральный разлом ОЧВП; 8 – распределение сейсмической активности A_{10} (числа толчков, начиная с десятого энергетического класса на единицу площади за год).

хребта через хр. Черского и районы Магаданской области к северному побережью Охотского моря. На северо-западе, охватывая шельф моря Лаптевых, эпицентры землетрясений ОЛСР соединяются с эпицентральной полосой срединно-океанического хр. Гаккеля, на юго-востоке – с эпицентрами Алеутской и Курило-Камчатской островных дуг. Длина эпицентральной полосы ОЛСР составляет более 2000 км, ее ширина на северо-западе около 400 км (дельта р. Лены), а на юго-востоке (северное побережье Охотского моря) равна примерно 600 км [13].

Целью данной работы является комплексный анализ роли разломов и линементов в пространственном контроле землетрясений на Северо-Востоке России.

В КЧСР в Чукотской ветви мезозоид выделяется ряд разломов, к которым тяготеют эпицентры землетрясений. Так, вблизи Восточно-Чаунского разлома (рис. 1), разделяющего Чаунскую складчатую зо-

ну и Раучуанский прогиб, произошли два землетрясения энергетического класса $K = 10$. К юго-восточному окончанию Киберовского разлома (рис. 1) тяготеет целый рой землетрясений энергетического класса $K \leq 11$ [6]. Более интенсивная сейсмичность свойственна разрывам Восточно-Чукотского массива, характеризующегося значительной степенью раздробленности на блоки и дифференцированностью вертикальных движений по оконтуривающим их разломам. Подобные тектонические особенности, возможно, связаны с современным под-нятием прибрежной суши и опусканием дна Чукотского моря. Наиболее сильные землетрясения восточной Чукотки зарегистрированы на юго-западном (Игельвеемский разлом (рис. 1)) и северо-восточном ограничениях Уэленского приподнятого блока. Многие эпицентры землетрясений располагаются в пределах Восточно-Чукотского звена Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП).

Пространственно они тяготеют к генеральному разлому ОЧВП, имеющему, по гравиметрическим данным, сложную конфигурацию [6]. Корякско-Анадырская зона долгое время считалась асейсмичной. Но в последние годы здесь зарегистрирован ряд ощутимых землетрясений до 14 энергетического класса. Наиболее значимыми из них являются два “Корякских” землетрясения 1988 и 1991 гг., приуроченные к центральной части Корякского нагорья. Эпицентры “Корякских” землетрясений находятся в зоне пересечения скрытых, выделяемых по комплексу геолого-геофизических данных, Азиатско-Тихоокеанского меридионального и Сетте-Дабанско-Корякского широтного разломов (рис. 1).

В целом, для КЧСР связь сейсмических явлений с разрывными нарушениями изучена достаточно слабо. Значительно больше подобных исследований проводилось для ОЛСР. Поэтому, в дальнейшем, в своей работе мы ограничимся рассмотрением разрывных нарушений только ОЛСР.

СЕЙСМОАКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ ОХОТСКО-ЛЕНСКОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНА ПО ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Анализ геолого-геофизических условий и признаков возникновения землетрясений на Северо-Востоке России указывает на связь землетрясений как с древними, но подновленными, так и с современными разрывными нарушениями [6, 9, 13, 17, 18, 22, 24 и др.]. Эпицентры землетрясений непосредственно прослеживаются вдоль активных разломов. Отмечается также локализация эпицентров землетрясений около позднемезозойских и кайнозойских впадин, по одному из бортов которых проходит разлом [21]. Существуют признаки тяготения эпицентров землетрясений к гранитным и вообще к интрузивным массивам [12].

Большинство сейсмоактивных разломов Охотско-Ленского сейсмического района являются разломами древнего заложения, активизировавшимися на неотектоническом этапе развития. Наиболее активно развивающимися являются разрывные нарушения северо-западного простирания, отражающие общий структурный план Яно-Колымской складчатой системы (рис. 1). Эти разломы имеют древнее, возможно, позднепротерозойское заложение и длительную геологическую историю развития, поскольку контролируют строение и развитие палеозойских, мезозойских и кайнозойских структур. По плоскостям разломов часто соприкасаются разновозрастные отложения [17].

С их активностью связано возникновение сильнейших землетрясений Северо-Востока России (Артыкского 1971 г., $M = 7.1$, Кулинского 1972 г., $M = 5.6$, Эльгенского, 1974 г., $M = 4.9$, Купкинских 1979 и 1981 гг., $M = 5-5.2$), к ним приурочены крупные тектонические и гравитационные палеосейсмодис-

локации [13, 21]. На взаимосвязь землетрясений с разломами указывают также макросейсмические проявления. Изосейсты землетрясений имеют вид эллипсов, вытянутых в северо-западном направлении, при этом интенсивность сотрясений вкрест простирания разломов уменьшается примерно в 1.6 раза [19].

На северо-западном и юго-западном флангах Охотско-Ленского сейсмического района сейсмоактивны субмеридиональные разломы, а на юго-восточном – субширотные и северо-восточные (рис 1).

На территории северного Верхоянья сейсмоактивными являются Омолойский и сопряженные с ним скрытые разломы, выделяющиеся по комплексу геолого-геофизических данных. Высокая сейсмическая активность северного Верхоянья проявилась пятью Булунскими землетрясениями 1927–1928 гг., $M = 5.8-6.8$. На юго-западном фланге Охотско-Ленского сейсмического района к сейсмогенным структурам относятся меридиональные Кетандинский и Нют-Ульбейский разломы, являющиеся граничными структурными швами Охотского массива. Современную активность данных разломов подтверждают наличие эпицентров слабых землетрясений вдоль их простирания, а также землетрясение 1977 г., $M = 4.7$ [13]. В центральной части Сетте-Дабанского антиклинория сейсмоактивными являются субмеридиональный Бурхалинский и другие глубинные разломы. С Бурхалинским разломом связано Сетте-Дабанское землетрясение 1951 г., $M = 6.5$ [21].

На юго-восточном фланге Охотско-Ленского сейсмического района вдоль побережья Охотского моря протягивается система широтных разломов, играющих важнейшую роль в истории геологического развития региона. Одним из них является Челомджа-Ямский, протягивающийся более чем на 550 км [6], и уходящий под воды залива Шелихова. Вдоль Челомджа-Ямского разлома зафиксирован ряд землетрясений энергетического класса $K = 11-12$, ощущавшихся в Магадане [21].

СЕЙСМОГЕНЕРИРУЮЩИЕ И СЕЙСМОАККУМУЛИРУЮЩИЕ РАЗЛОМЫ И ЛИНЕАМЕНТЫ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Кроме разломов, проявленных на поверхности, важную роль в процессе подготовки и в возникновении землетрясений играют скрытые разломы. Такие разломы практически не обнаруживаются на поверхности и об их существовании судят по результатам интерпретации геофизических данных и косвенным геологическим признакам (изменению простирания складчатых структур, ориентации гранитоидных массивов, морфоструктур и др.).

Еще в 1945 г. А.В. Пейве, рассматривая пространственное расположение глубинных разломов относительно геоида, пришел к выводу, что их ориентировка “по отношению к сторонам света харак-

теризуется известной правильностью, имеющей, возможно, планетарный характер” [20]. Система скрытых, латентных широтных и меридиональных разломов выявляется по геофизическим данным и на Северо-Востоке России. Ю.Я. Ващилов, в результате статистической обработки, пришел к выводу, что разломы Северо-Востока России разного возраста имеют свои характерные простирания [4]. Наиболее древние из них (предположительно протерозойского или более древнего возраста) имеют меридиональную и широтную ориентировку. Отдельные широтные и меридиональные разломы имеют протяженность многие сотни и тысячи километров [6, 14, 15, 23].

В системе меридиональных линеаментов на территории Охотско-Ленского сейсмического района крупнейшим является Азиатско-Австралийский (Арктическо-Антарктический) меридиональный суперлинеament (ААМШ) – планетарный меридиональный шов, который прослеживается на расстоянии 18 тыс. км от Северного полюса до Антарктиды (рис. 1) [4, 6, 15]. Морфологически ААМШ фиксируется между 140° и 150° в.д. линейными меридионально ориентированными элементами рельефа. Наиболее крупными из этих линейных морфоструктур являются: подводный хр. Ломоносова в Северном Ледовитом океане, Новосибирские острова, система хр. Кухтуйского, Юдомского и др., рек Кухтуй, Ульбея, Иня и т.д., протяженные участки р. Индигирки в ее нижнем и среднем течении, о-ва Сахалин, Хоккайдо, северное звено о. Хонсю, острова и подводные цепи Идзу, Шичито-Иводжимо, Огасавара, Западно-Марианская, подводное поднятие Эаурипик, центральная часть о. Новая Гвинея, восточная Австралия от м. Йорк до о. Тасмания включительно, картируемые в рельефе дна океана разломы Тасманский, Баллени.

Отдельные участки ААМШ прослеживаются по зонам повышенных горизонтальных градиентов поля силы тяжести, по меридионально искаженным и линейно вытянутым в меридиональном направлении элементам поля. В [5] приводятся результаты глубинной гравиметрической томографии Северо-Востока России в виде плотностных схем-срезов на глубинах 10, 20, 30, 40 и 60 км. На срезе 30 км Северо-Восток России разделяется на две различные по плотности и, следовательно, по составу пород территории (рис. 2). Восточная часть сложена породами базит-гипербазитового состава с плотностями $3\text{--}3.15\text{ г/см}^3$, западная – породами основного состава с плотностями $2.9\text{--}2.99\text{ г/см}^3$. Граница между ними проходит приблизительно вдоль меридиана 144° в.д., подтверждая существование Азиатско-Австралийского суперлинеамента.

На территории Охотско-Ленского сейсмического района приблизительно вдоль $146^{\circ} 20'$ в.д. протягивается Восточно-Охотский меридиональный шов (ВОМШ), являющийся восточным ограничением

Азиатско-Австралийского меридионального шва на территории Северо-Востока России (рис. 1) [6].

Хотя ВОМШ относится к категории скрытых, тем не менее, разлом иногда проявляется в особенностях геологического строения территории. Целый ряд активных разломов – Чай-Юрьинский, Улахан, Дебинский, Илин-Тасский – затухает вблизи меридианов $145^{\circ}\text{--}146^{\circ}$ в.д. А в пределах самого суперлинеамента ААМШ разломы прослеживаются в виде отдельных отрезков. Наличие поперечных Яно-Колымской складчатой области меридиональных структур подчеркивается также квазимеридиональной ориентировкой некоторых гранитных массивов, например, Охотско-Кухтуйского. Иньяли-Дебинский синклиниорий северо-западного простирания в зоне пересечения его ВОМШ меняет свою ориентировку на квазиширотную, а структуры Аян-Юряхского антиклинория на меридиане $146^{\circ} 20'$ изменяют простирание и затухают.

В сейсмическом отношении меридиональные разломы и линеаменты представляют собой “сейсмоаккумулирующие” структуры [6]. Имея большую глубину заложения, они обычно играют пассивную роль жестких, “заякоренных структур”, оказывающих сопротивление движению блоков диагонального и широтного направлений. Так, меридионально вытянутый Охотский массив в районе Восточно-Охотского меридионального шва играет роль жесткого упора для структурных элементов Яно-Колымской складчатой системы и Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, испытывающих горизонтальные подвижки [6]. Разрядка возникающих напряжений осуществляется в виде мощных землетрясений. Когда диссипация напряжений происходит в виде пластических деформаций, возникают виргации структур. Вероятно, подобные условия наблюдаются в зоне Аян-Юряхского антиклинория, где отмечается относительное увеличение роли складчатых дислокаций в сравнении с разрывными, а также в районе внутренней, по В.Ф. Белому, (приокеанической, по Ю.Я. Ващилу), зоны Охотско-Чукотского пояса, где земная кора характеризуется сокращенной мощностью “гранитного” слоя [3].

Влияние древнего дискордантного структурного плана на распространение эпицентров землетрясений подтверждается, в частности, тем, что Артыкское землетрясение (64.0° с.ш., 146.1° в.д.) и его афтершоки тяготеют именно к 146° в.д. Эпицентр землетрясения располагается в зоне пересечения Чай-Юрьинского разлома с Восточно-Охотским меридиональным разрывом.

Аналогичную роль в сейсмических процессах Охотско-Ленского сейсмического района, но значительно меньшего масштаба, играют Омсукчанский (Бальгычано-Сугойский) меридиональный линеament рифтогенной природы (ОМШ) и Наяхан-Коркодонская квазимеридиональная цепь гранитоидных массивов (НКМШ) (рис. 1). На поверх-

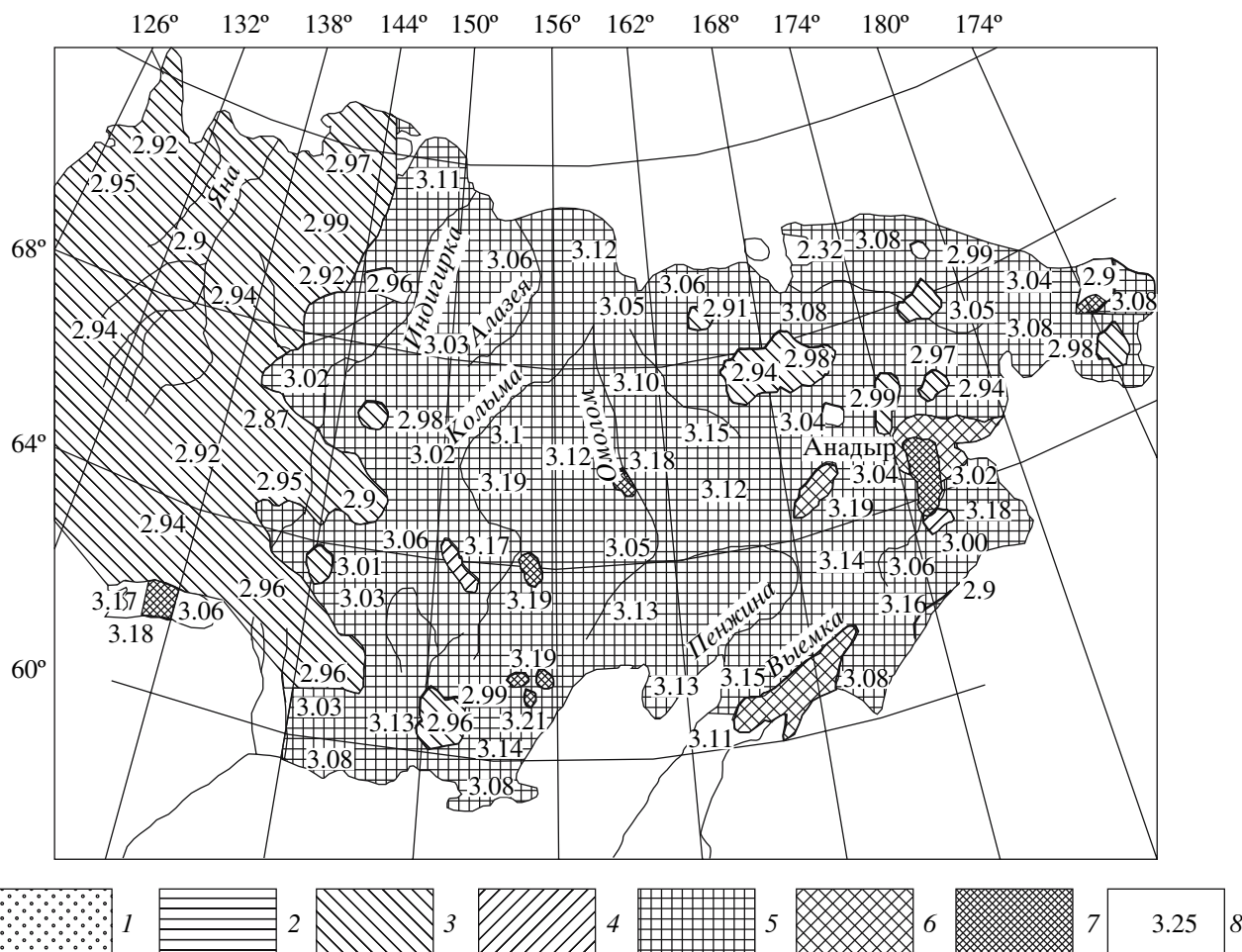


Рис. 2. Плотностной срез Северо-Востока России на глубине 30 км (по Ю.Я. Ващилу [5]). Породы имеющие плотность (г/см^3): 1 – <2.69 – гранитного состава, 2 – $2.70\text{--}2.77$ – гранодиоритового состава, 3 – $2.78\text{--}2.85$ – диоритового состава, 4 – $2.86\text{--}2.99$ – основного состава, 5 – $3.00\text{--}3.15$ – базит-гипербазитового состава, 6 – $3.16\text{--}3.32$ – гипербазитового состава, 7 – >3.32 – эклогитизированные; 8 – расчетные значения плотности.

ности зона ОМШ частично фиксируется меловыми эффузивно-осадочными образованиями Бальгычано-Сугойской впадины. В поле силы тяжести ОМШ выделяется как относительная отрицательная аномалия со средней амплитудой $25\text{--}30$ мГал, которая на 230-километровом отрезке от залива Шелихова протягивается на север почти точно между меридианами 155° и 156° в.д. Расчетная глубина заложения ОМШ не менее 50 км. В пределах влияния ОМШ возможны землетрясения среднего и более высокого классов [6].

НКМШ имеет аналогичные характеристики в поле силы тяжести. Он протягивается на север от Гижигинской губы между 157° и 158° в.д. до пересечения с Сетте-Дабанско-Корякским широтным разломом ($62^\circ 10'$ с.ш.). Далее по рисунку пониженных значений аномалий Δg , видно, как он отклоняется к северо-западу, что интерпретируется как левый сдвиг по Сете-Дабанско-Корякскому разлому. Сейсмическая роль этой структуры проявилась в Омсукчанском землетрясении 1987 г., $M = 4.8$ (62.79° с.ш., 156.9° в.д.).

Кроме системы меридиональных, по гравиметрическим данным выделяется ряд линеаментов широтного направления. Широтные и диагональные разломы являются активными “сейсмогенерирующими” структурами, подвиги вдоль которых вызывают возникновение землетрясений [6].

Самым крупным в системе широтных линеаментов является Сетте-Дабанско-Корякский широтный разлом (СДКШР), протягивающийся на расстояние 1500 км от хребта Сетте-Дабан до Берингова моря приблизительно на широтах $61.5^\circ\text{--}62.5^\circ$ с.ш. (рис. 1). Элементы СДКШР выделяются по гравиметрическим данным. Однако разлом проявляется и по ряду геологических признаков. Северные границы Куйдусунского вулканического поля [8] и Гижигинской впадины [7] вытянуты в широтном направлении в зоне влияния СДКШР, а структуры Сугойского и Иньяли-Дебинского синклиналиев изменяют свое простирание на квазиширотное. Некоторые выделяемые по комплексу геолого-геофизических данных разломы являются элементами СДКШР, например, Паутовский и Право-Оротуканский.

К зоне СДКШР приурочены землетрясения: Сетте-Дабанское 1951 г., $M = 6.5$ (61.3° с.ш., 137.4° в.д.), Юдомское 1971 г., $M = 5.6$ (61.6° с.ш., 140.4° в.д.), Кулинское 1972 г., $M = 5.7$ (61.9° с.ш., 147.1° в.д.), Купкинские землетрясения 1979, 1981 и 1992 гг., $M = 5-5.2$ (62.3° с.ш., 153.9° в.д.; 61.91° с.ш., 153.56° в.д.; 62.1° с.ш., 153.9° в.д.).

Крупнейшей дуговой дислокацией, выделяемой по геофизическим данным, является Колымо-Алеутский сверхглубокий разлом, идея существования которого была выдвинута в 1963 г. Ю.Я. Вашиловым [3]. Располагаясь на продолжении хребта Гаккеля, Колымо-Алеутская дуговая шовная зона (КАДШЗ) совпадает с сейсмическим поясом хребта Черского на северо-западе и с Алеутской зоной сейсмичности на востоке. На представленном в работе [5] плотностном срезе на глубине 40 км вся территория Северо-Востока России разделяется на две области. Северо-восточная сложена гипербазитами и эклогитизированными образованиями, юго-западная – породами базит-гипербазитового состава. Граница между этими областями проходит под центральной частью Иньяли-Дебинского синклинория, а на юго-востоке вблизи устья р. Дебин поворачивает в широтном направлении, достигая истоков р. Омолон. Данная граница пространственно приблизительно совпадает с КАДШЗ, подтверждая реальность существования этого линеамента.

Характерными чертами КАДШЗ являются повышенная мощность земной коры и пониженные значения аномалий силы тяжести в редукции Буге. Как рифтообразная структура она характеризуется повышенным потоком тепла (88 мВт/м^2 в скважинах хр. Черского) и, следовательно, повышенным энергетическим потенциалом в период максимальной активизации тектоно-магматической деятельности. Возможно, КАДШЗ предположительно палеозойского или более раннего возраста заложения, предопределила пространственное положение Охотско-Ленского сейсмического района [6, 19].

К дугообразным разломам можно было бы отнести Генеральный разлом Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Однако в южной части Наяхан-Коркодонского меридионального шва Генеральный разлом ОЧВП уходит под воды залива Шелихова. Здесь он затухает, чтобы снова появиться в районе южной оконечности Мургалянского антиклинория. К Генеральному разлому ОЧВП приурочен эпицентр 8-балльного Ямского землетрясения 1851 г. [21].

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ РАЗРЫВНЫМИ СТРУКТУРАМИ

Для качественного анализа пространственной связи землетрясений с разрывными дислокациями,

выделенными по геолого-геофизическим данным, на схему сейсмоактивных разломов и линеаментов Охотско-Ленского сейсмического района нанесены узлы повышенной сейсмической активности A_{10} [24] (рис. 1).

На схеме достаточно отчетливо выявляются две полосы узлов повышенной сейсмичности. Первая протягивается в юго-восточном направлении от Хараулахского хребта и губы Буор-Хая вдоль хребта Черского к побережью Охотского моря. Это северо-западный фланг Колымо-Алеутской дуги или граница Северо-Американской и Евразийской плит [13]. Сейсмические узлы этой полосы на северо-западном фланге Охотско-Ленского сейсмического района приурочены к Западно-Верхоянскому и Омолонскому разломам, на юго-восточном фланге – к широтному Челомджа-Ямскому разлому. В центральной части Охотско-Ленского сейсмического района сейсмические узлы связаны с активностью разломов северо-западного простирания – Чай-Юрьинским, Улахан, Дебинским, Тенькинским и др.

Вторая полоса узлов повышенной сейсмической активности субширотного простирания протягивается приблизительно вдоль 62° с.ш. от хребта Сетте-Дабан до северного побережья залива Шелихова. Данная группа сейсмических узлов фиксирует положение скрытого Сетте-Дабанско-Корякского широтного разлома.

Анализ рассматриваемой схемы (рис. 1) позволяет сделать следующие выводы:

1. Различные участки одного и того же разлома характеризуются различной сейсмичностью. Высокой сейсмической активностью характеризуется северо-западный фланг Чай-Юрьинского глубинного разлома ($A_{10} = 0.05-0.3$), в то время, как активность в пределах его центральной части не превышает величину $A_{10} = 0.03$. Существенно меняется сейсмическая активность и по простиранию разломов Улахан, Дебинский, Ульбейский и др.

2. Ряд сейсмоактивных узлов располагается в зонах пересечения разнонаправленных разломов и линеаментов. Пять узлов повышенной сейсмичности ($A_{10} = 0.05-0.1$), протягивающиеся приблизительно вдоль 62° с.ш., приурочены к зонам пересечения Сетте-Дабанско-Корякского широтного разлома с меридиональными Бурхалинским, Юдомским, Нют-Ульбейским разломами, с разломом северо-западного простирания Улахан и с меридиональными Омсукчанским и Наяхан-Коркодонским линеаментами. Сейсмические узлы с максимальными значениями сейсмической активности ($A_{10} = 0.05-0.3$) – Делян-кирско-Артыкский (64° с.ш., 146° в.д.) и Средне-Ямский (60° с.ш., 156° в.д.) располагаются в зонах максимальной дискордантности разрывных нарушений [6]. Первый располагается в зоне пересечения меридионального Восточно-Охотского линеамента с Чай-Юрьинским разломом северо-западной ориентировки, а также с разрывами широтного простира-

ния, второй – в зоне пересечения широтного Челомджа-Ямского с разрывами северо-западного и северо-восточного направлений.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЙ “ПЛОТНОСТЬ” И “МЕРА ДИСКОРДАНТНОСТИ” РАЗЛОМОВ

Таким образом, проведенный качественный анализ связи землетрясений с разрывными нарушениями показывает, что в Охотско-Ленском сейсмическом районе наблюдается несомненная связь сейсмических процессов с разрывными нарушениями. Для повышения точности пространственного прогноза землетрясений можно использовать установленную связь сейсмических явлений с разрывами и узлами их пересечения. Однако карты разломов позволяют сделать заключение о большей или меньшей степени раздробленности земной коры только качественно и не содержат количественных показателей такой раздробленности. Авторами предлагается методика, позволяющая установить корреляционные связи землетрясений с разрывными структурами и узлами их пересечения на количественной основе. Для этого использовались следующие характеристики.

1. Оценка пространственной связи землетрясений с разломами проводилась на основании расчета плотности разломов. Плотность (удельная длина) разломов – это величина, характеризующая распределение интенсивности тектонической раздробленности земной коры по площади. На возможность применения подобного количественного показателя для выявления связи землетрясений с разломами указывают в своих работах Б.М. Богачкин, Е.А. Рогожин и др., В.С. Имаев и др., В.Н. Смирнов и другие исследователи [1, 13, 22].

Значение плотности (удельной длины) разломов определялось по формуле:

$$\tau = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^m l_i, \quad (1)$$

где l_i – длина разлома; m – общее число разломов в квадрате палетки; S – площадь квадрата палетки, для которого вычисляется значение плотности разломов.

2. Исследования пространственной связи землетрясений с разрывными структурами и узлами их пересечения проводились на основании расчета величины, введенной Ю.Я. Ващиловым и называемой мерой дискордантности разломов [5, 6]. Мера дискордантности – это величина, характеризующая степень раздробленности поверхностей различных объектов разнонаправленными разломами, трещинами. Мера дискордантности может быть ненормированной D и нормированной по площади $\|D\|$. Значение меры дискордантности определяется суммой

модулей попарных векторных произведений прямолинейных отрезков разломов:

$$D = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{m-i} [\vec{l}_i \times \vec{l}_{i+k}] = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{m-i} |l_i \cdot l_{i+k} \cdot \sin(\alpha_{i+k} - \alpha_i)|, \quad (2)$$

$$\|D\| = \frac{1}{S} \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{m-i} [\vec{l}_i \times \vec{l}_{i+k}] = \frac{1}{S} \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{m-i} |l_i \cdot l_{i+k} \cdot \sin(\alpha_{i+k} - \alpha_i)|, \quad (3)$$

где \vec{l}_i – вектор-разлом, m – общее число разломов, $(\alpha_{i+k} - \alpha_i)$ – угол между направлениями простираний разломов, S – площадь, для которой вычисляется D и $\|D\|$.

3. Определение количественных корреляционных связей землетрясений с разломами и узлами их пересечения проводилось на основании введенных авторами показателей сейсмической активности – удельного количества землетрясений δN и удельной энергии землетрясений δE .

Значения данных величин определялись по формулам:

$$\delta N = \frac{N}{S}; \quad \delta E = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^N E_i, \quad (4)$$

где N , E_i – соответственно, число и энергия землетрясений, эпицентры которых расположены в пределах участков с определенными значениями плотности или меры дискордантности разломов, S – площадь данных участков.

ДИСКОРДАНТНОСТЬ, ПЛОТНОСТЬ РАЗЛОМОВ И СЕЙСМИЧНОСТЬ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА ОХОТСКО-ЛЕНСКОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНА

Для дальнейшего исследования был выбран район юго-восточного фланга Охотско-Ленского сейсмического района (где сосредоточены важнейшие золотые и серебряные рудники и прииски, угольные разрезы, ГЭС, дороги, города, поселки и другие объекты инфраструктуры Магаданской области).

Сейсмическая активность района анализировалась на основании схемы пространственного распределения эпицентров землетрясений. Для построения схемы использованы данные каталога землетрясений Магаданской области и отчетов Магаданской опытно-методической сейсмологической партии

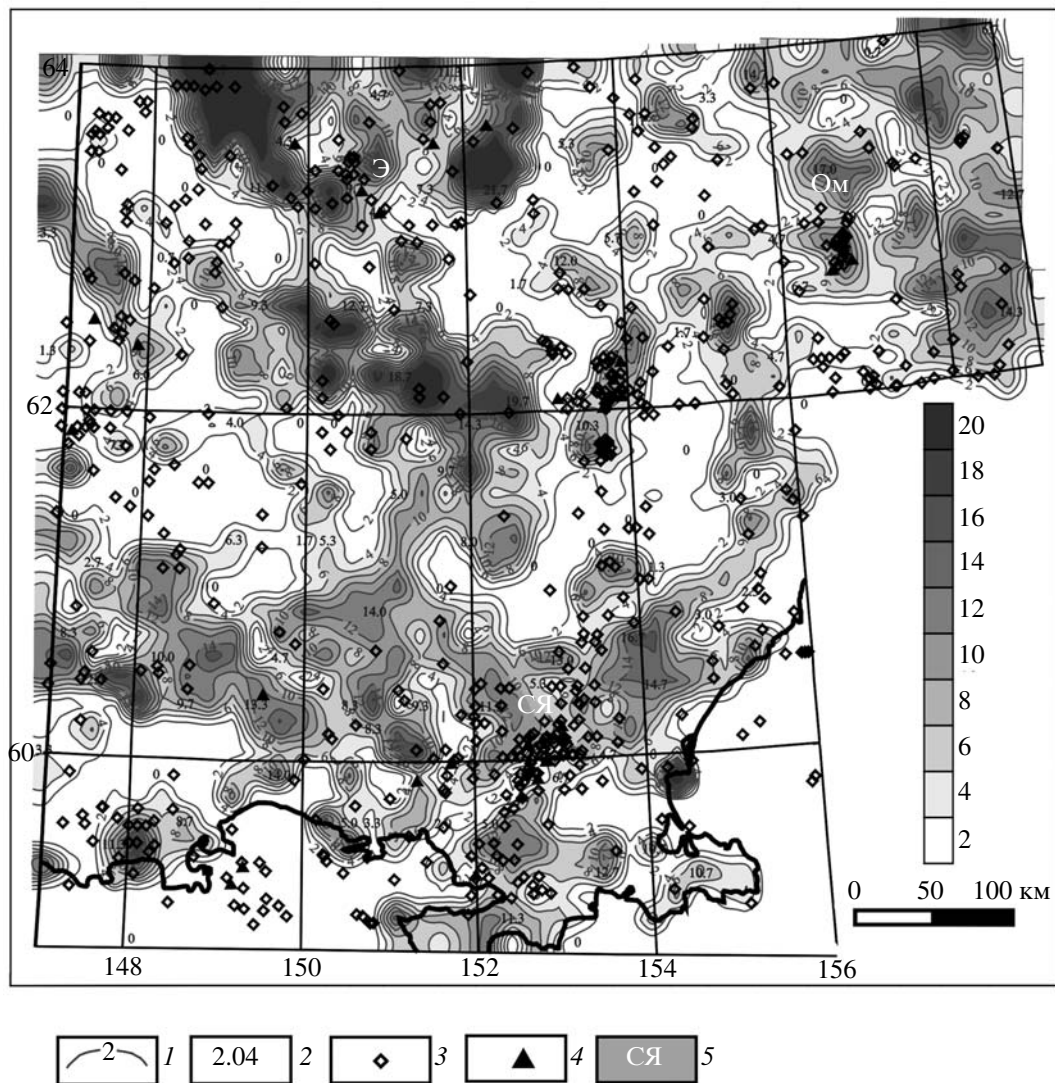


Рис. 3. Схема изолиний плотности разломов, проявленных на поверхности, и пространственного распределения эпицентров землетрясений юго-восточного фланга Охотско-Ленского сейсмического района. 1 – изолинии плотности разломов; 2 – расчетные значения плотности разломов; 3–4 – эпицентры землетрясений энергетического класса: 3 – $8.5 \leq K < 12$; 4 – $K \geq 12$; 5 – сейсмические узлы: СЯ – Средне-Ямский, Э – Эльгенский, Ом – Омсукчанский, К – Купинский.

Геофизической службы РАН. При этом рассматривались землетрясения, зарегистрированные на суше с 1963 по 1997 гг. За этот период на данной территории зарегистрировано более полутора тысяч землетрясений различных энергетических классов. Часть этих событий является промышленными взрывами, другая часть с энергетическим классом $K \leq 8.5$ определена с большими погрешностями [2]. Поэтому при статистическом анализе связи землетрясений с разломами учитывались только землетрясения с $K \geq 8.5$.

Для выявления связи землетрясений с разрывными нарушениями юго-восточного фланга Охотско-Ленского сейсмического района построена схема изолиний плотности разломов (т. е. тектонической раздробленности земной коры), проявленных

на поверхности, и пространственного распределения эпицентров землетрясений (рис. 3). В качестве основы использовалась схема разломов, показанных на геологической карте Северо-Востока СССР (масштаб 1 : 1500000, под редакцией М.Е. Городинского) [8]. Значения плотности разломов рассчитывались по формуле (1) в центре окна 15×15 км, полученные значения для исследуемого региона равны $0 \leq \tau \leq 0.4$ км⁻¹. Для выбора размера окна при определении плотности разломов руководствовались методикой В.Н. Смирнова [22]. По ней размеры окна равны 1 см на карте, т.е. в нашем случае, 15 км. Для дальнейшего количественного анализа построены диаграммы зависимостей показателей сейсмической активности $\delta N(\text{км}^{-1})$ и $\delta E(\text{Дж/км}^2)$ от

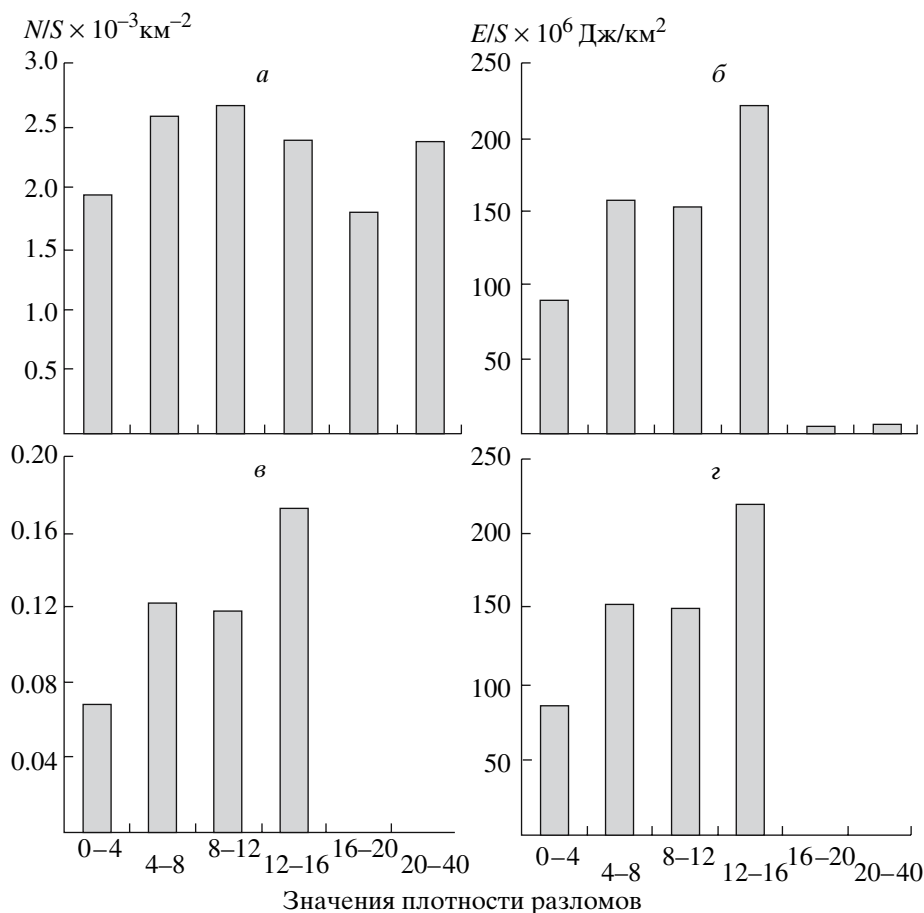


Рис. 4. Результаты анализа степени корреляции плотности разломов, проявленных на поверхности, с показателями сейсмической активности юго-восточного фланга Охотско-Ленского сейсмического района. *а* – зависимость удельного количества землетрясений ($N/S \cdot 10^{-3} \text{ км}^{-2}$) энергетического класса $8.5 \leq K \leq 14$ от значений плотности разломов. *б* – зависимость удельной энергии землетрясений ($E/S \cdot 10^6 \text{ Дж/км}^2$) энергетического класса $8.5 \leq K \leq 14$ от значений плотности разломов. *в* – зависимость удельного количества землетрясений ($N/S \cdot 10^{-3} \text{ км}^{-2}$) энергетического класса $K \geq 12$ от значений плотности разломов. *г* – зависимость удельной энергии землетрясений ($E/S \cdot 10^6 \text{ Дж/км}^2$) энергетического класса $K \geq 12$ от значений плотности разломов.

значений плотности разломов (рис. 4). Для этого весь исследуемый район был разбит на участки, ограниченные двумя изолиниями плотности разломов (сечение изолиний равно 4). Для данных участков определялись количество землетрясений N , суммарная энергия этих землетрясений E , площадь данных участков, далее рассчитывались показатели сейсмической активности $\delta N(\text{км}^{-1})$ и $\delta E(\text{Дж/км}^2)$ по формулам (4).

Результаты проведенного исследования позволили установить следующие зависимости пространственного распределения землетрясений от уровня тектонической раздробленности земной коры:

– максимальной сейсмической активностью характеризуются участки со средними значениями тектонической раздробленности земной коры; так три сейсмоактивных узла (Омсукчанский, Купкинский, Средне-Ямский) приурочены к площадям со

средними значениями плотности разломов ($0.06 < \tau \leq 0.2 \text{ км}^{-1}$) (рис. 3).

– максимальное удельное количество землетрясений энергетического класса $K \geq 12$ и, соответственно, максимальная удельная энергия землетрясений соответствуют областям со средними значениями раздробленности земной коры (рис. 4). То есть наибольшая вероятность возникновения землетрясений энергетического класса $K \geq 12$ также соответствует областям со средними значениями плотности разломов ($0.12 < \tau \leq 0.16 \text{ км}^{-1}$).

Таким образом, анализ степени корреляции плотности разрывов, проявленных на поверхности, и пространственного распределения эпицентров землетрясений показал, что наибольшая сейсмическая активность и вероятность возникновения землетрясений энергетического класса $K \geq 12$ свойственна участкам земной коры со средними значениями плотности разломов.

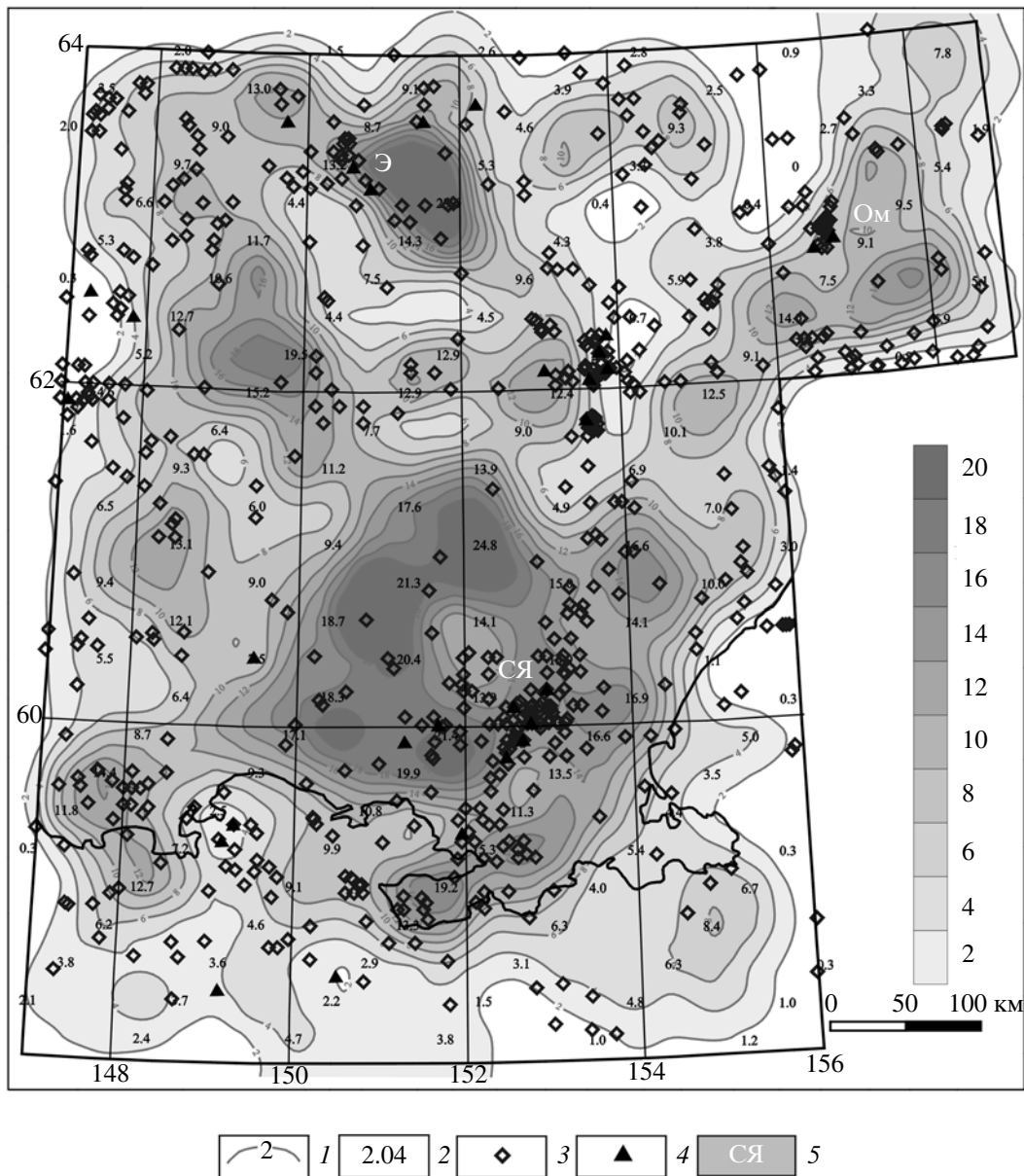


Рис. 5. Схема изодискордант разломов, выделенных по гравиметрическим данным, и данным пространственного распределения эпицентров землетрясений юго-восточного фланга Охотско-Ленского сейсмического района. 1 – изодискорданты; 2 – расчетные значения меры дискордантности разломов; 3–4 – эпицентры землетрясений энергетического класса: 3 – $8.5 \leq K < 12$; 4 – $K \geq 12$; 5 – сейсмические узлы: СЯ – Средне-Ямский, Э – Эльгенский, Ом – Омсукчанский, К-Купкинский.

Для исследования пространственной связи землетрясений с узлами пересечения разломов составлена схема изодискордант разломов, выделенных по гравиметрическим данным, и пространственного распределения эпицентров землетрясений юго-восточного фланга Охотско-Ленского сейсмического района (рис. 5). Основой работы является схема разломов, выделенных по картам аномалий силы тяжести в редукции Буге (полосам максимальных горизонтальных градиентов поля силы тяжести). Значения нормированной меры дискордантности $\|D\|$

разломов определялись по формуле (3) в центре скользящего окна 50×50 км с шагом 25 км, полученные значения равны $0 \leq \|D\| \leq 30.9$. Размер окна зависел от величины единичного объема зоны динамического влияния разлома (ЗДВР). ЗДВР – это объем массива горных пород, в котором после возникновения магистрального разлома продолжают формироваться сопутствующие пластические и упругие деформации, затрагивающие весь указанный объем [13]. Единичный объем ЗДВР оценивался с учетом средней глубины очагов землетрясений и равнялся

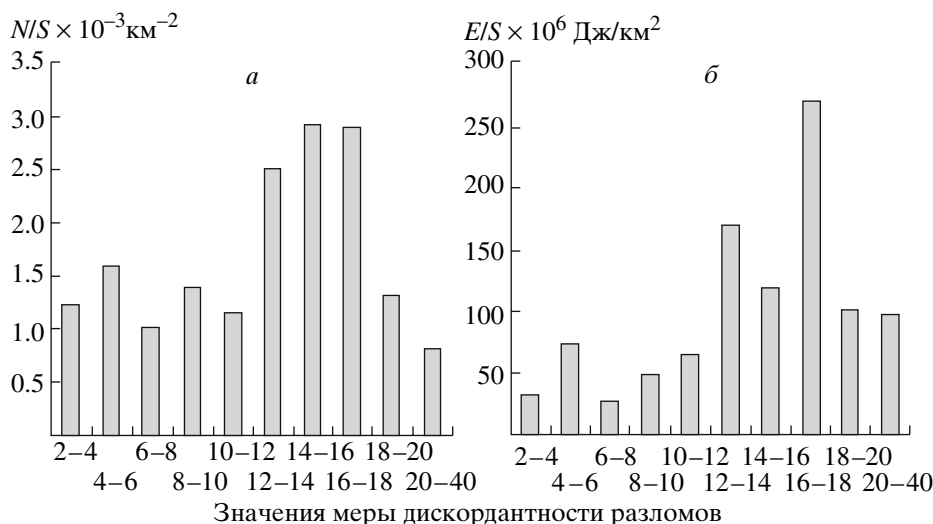


Рис. 6. Результаты анализа степени корреляции меры дискордантности разломов, выделенных по гравиметрическим данным, с показателями сейсмической активности юго-восточного фланга Охотско-Ленского сейсмического района. *а* – зависимость удельного количества землетрясений ($N/S \cdot 10^{-3} \text{ км}^{-2}$) от значений меры дискордантности разломов. *б* – зависимость удельной энергии землетрясений ($E/S \cdot 10^6 \text{ Дж/км}^2$) от значений меры дискордантности разломов.

25 км. Для дальнейшего количественного анализа построены диаграммы зависимостей показателей сейсмической активности $\delta N(\text{км}^{-1})$ и $\delta E(\text{Дж/км}^2)$ от значений меры дискордантности разломов (рис. 6).

Проведенное исследование позволило выявить следующие зависимости пространственного распределения землетрясений от разломов, выделенных по гравиметрическим данным, и узлов их пересечения:

- Узлы максимальной сейсмической активности приурочены не к центру аномалий повышенных значений меры дискордантности разломов, как показали ранее построенные мелкомасштабные карты [6], а тяготеют к границам таких аномалий (рис. 5).

- Эпицентры землетрясений Омсукчанского, Купкинского и Эльгенского сейсмических узлов приурочены к зонам повышенных горизонтальных градиентов изодискордант (рис. 5).

- Максимальное удельное количество землетрясений и максимальная удельная энергия землетрясений соответствуют участкам со средними значениями нормированной меры дискордантности разломов ($12 < \|D\| \leq 18$) (рис. 6).

Таким образом, максимальная сейсмическая активность и максимальная удельная энергия землетрясений на суше соответствуют краевым участкам изометричных зон повышенной раздробленности земной коры разнонаправленными разломами. Вероятно, именно в процессе дробления этих участков происходит выделение сейсмической энергии.

Объяснить данные, полученные на основании комплексного анализа пространственной связи землетрясений с разломами и узлами их пересечения

можно опираясь на представления о том, что происходит в земной коре во время землетрясений.

По модели лавинно-неустойчивого трещинообразования процесс протекает следующим образом [11]. Под действием растущих напряжений образуется зона растрескавшейся породы – очаговая зона. С течением времени объем и форма очаговой зоны медленно изменяются, внутри области происходит сложный процесс возникновения, роста, заживления, слияния и перераспределения трещин. На определенном этапе объем очаговой области, концентрация и размеры трещин достигают таких значений, когда очаговая зона становится неустойчивой. Неустойчивая деформация стягивается в узкую зону, которая представляет собой поверхность будущего магистрального разрыва. Процесс разрыва, сопровождающегося землетрясением, происходит путем вспарывания перемычек.

Таким образом, вероятность возникновения достаточно сильных землетрясений именно в зонах со средней степенью раздробленности земной коры должна быть наибольшей. Напряжения в зонах максимальной раздробленности, не успевая накапливаться, разряжаются в виде слабых землетрясений. При этом для образования очаговой зоны необходима определенная концентрация трещин и разломов, в силу чего вероятность возникновения сильных землетрясений на участках с минимальным уровнем поля тектонической раздробленности также небольшая. Тем не менее, возможное “сейсмическое затишье” в этих структурах временное, связанное с “подготовкой” землетрясений. Возможно, в настоящее время указанные зоны представляют собой “сейсмические бреши” (по С.А. Федотову [25, 26]),

в которых ныне накапливаются напряжения и энергия будущего землетрясения.

ВЫВОДЫ

1. На Северо-Востоке России подтверждается связь сейсмических явлений с разрывными нарушениями. Количественный анализ связи землетрясений с разрывными нарушениями на юго-восточном фланге Охотско-Ленского сейсмического района, проведенный на основании расчета плотности разломов, проявленных на поверхности, показал, что зоны максимальной сейсмической активности тяготеют к участкам со средними значениями поля тектонической раздробленности земной коры. К этим участкам также приурочено максимальное число землетрясений энергетического класса $K \geq 12$.

2. Наряду с приуроченностью землетрясений к известным, проявленным на поверхности активным разломам, выявляется их тяготение к скрытым разломам, выделяемым по комплексу геолого-геофизических данных, а также к зонам пересечения разломов. Наиболее важную роль играют Азиатско-Австралийский меридиональный суперлинеамент, восточным ограничением которого на территории Северо-Востока России является Восточно-Охотский меридиональный разлом, и Сетте-Дабанско-Корякский широтный разлом. Меридиональные линеаменты представляют собой "сейсмоаккумулирующие" структуры, в зонах их пересечения с сейсмоактивными разломами широтной и диагональной ориентировки накапливаются напряжения, разрядка которых приводит к возникновению землетрясений. Широтные и диагональные разломы являются активными "сейсмогенными" структурами. Подвижки вдоль них вызывают возникновение землетрясений.

3. Детальный количественный анализ связи землетрясений с узлами пересечения разломов юго-восточного фланга Охотско-Ленского сейсмического района, проведенный на основании расчета меры дискордантности разломов, выделенных по гравиметрическим данным, показал, что в пределах участков, интенсивно раздробленных разнонаправленными разрывами, напряжения, не успевая накапливаться, разрешаются в виде слабых землетрясений. При этом сейсмические узлы тяготеют к границам таких участков (т. е. к зонам со средними значениями меры дискордантности разломов), а также к участкам повышенных горизонтальных градиентов изодискордант.

Статья написана при поддержке РФФИ № 02-05-64010

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богачкин Б.М., Нечаев Ю.В., Рогожин Е.А. и др. Результаты совместного анализа наземной и аэрокосмической информации при изучении эпицен-

- тральных зон сильных землетрясений // Геоморфология. 1993. № 4. С. 48–60.
2. Важенин Б.П., Мишин С.В., Шарафутдинова Л.В. Землетрясения Магаданской области. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1997. 43 с.
3. Ващилов Ю.Я. Глубинные разломы Яно-Колымской складчатой области и Охотско-Чукотского вулканического пояса и их роль в образовании магнитных интрузий и формировании структур (по геофизическим данным) // Сов. геология. 1963. № 4. С. 54–72.
4. Ващилов Ю.Я. Геофизические исследования глубинных разломов крайнего Северо-Востока СССР. Диссерт. на соискание уч. степени канд. г.-м. наук. М.: 1966. 396 с.
5. Ващилов Ю.Я. Глубинная структура, геодинамика и геокинематика Северо-Востока России // Структура и геокинематика литосферы Востока России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1993. С. 19–43.
6. Ващилов Ю.Я., Сахно О.В., Калинина Л.Ю. Геолого-геофизические условия возникновения землетрясений на Северо-Востоке России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1996. 90 с.
7. Геологическая карта и карта полезных ископаемых Колымо-Омолонского региона. М = 1 : 500000. Под ред. К.В. Симакова. Авторы-составители: Кузнецов В.М., Гагиев М.Х., Дылевский Е.Ф. и др. Объяснительная записка. Магадан: ГП "Магадангеология", 1998. 207 с.
8. Геологическая карта и карта полезных ископаемых Охотско-Колымского региона. М = 1 : 500000. Объяснительная записка в 4-х книгах. Книга 1. Геологическое описание. Полезные ископаемые, минерагегическое районирование и прогнозная оценка территории. Под ред. Г.М. Сосунова. Авторы-составители: Вознесенский С.Д., Огородов В.А., Манафов Н.Г. и др. Магадан: ГП "Магадангеология", 1999. 181 с.
9. Геологическая карта Северо-Востока СССР м-б 1 : 1 500 000. 1980.
10. Гусев Г.С. Складчатые структуры и разломы Верхояно-Колымской системы мезозойд. М.: Наука, 1979. 207 с.
11. Добровольский И.П. Механика подготовки тектонического землетрясения. М.: ИФЗ АН СССР, 1984. 188 с.
12. Имаев В.С. Взаимосвязь распределения гранитоидных интрузий и сейсмической активности Северо-Востока Якутии // Современная геодинамика, активные разломы и сейсмическое районирование. М.: ГИН АН СССР, 1990. С. 5–7.
13. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Активные разломы и сеймотектоника Северо-Восточной Якутии. Якутск. 1990. 131 с.
14. Каскевич Г.Э. Трансорогенные разломы Восточной Якутии и сопредельных территорий // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 6. С. 76–81.
15. Каттерфельд Г.Н. Лик Земли и его происхождение. М.: Географгиз, 1962. 152 с.
16. Кузнецов В.М. Глубинные разломы и закономерности их размещения на Колымо-Омолонском междуречье // Колыма. 1994. № 6. С. 7–11.
17. Мокшанцев К.Б., Гусев Г.С., Петров А.Ф. Геологические критерии сейсмичности территории Якут-

- ской АССР // Сейсмическое районирование территории Якутии и сопредельных территорий. Якутск. 1975. С. 47–63.
18. Новейшая тектоника, геодинамика и сейсмичность Северной Евразии / Под ред. Грачева А.Ф. М.: 2000. 475 с.
 19. Парфенов Л.М., Козьмин Б.М., Гриненко О.В. и др. Сейсмичность и геодинамика Восточной Сибири // Современная тектоническая активность Земли и сейсмичность. М.: Наука, 1987. С. 108–129.
 20. Лейве А.В. Глубинные разломы в геосинклинальных областях // Изв. АН СССР. Сер. геологическая. 1945. № 5. С. 23–45.
 21. Сейсмическое районирование территории СССР. Методические основы и региональное описание карты 1978 г / Под ред. Бунэ В.И., Горшкова Г.П. М.: Наука, 1980. 307 с.
 22. Смирнов В.Н. Морфотектоника областей горообразования Северо-Востока Азии. Автореф. докт. дисс. М.: МГУ, 1995. 41 с.
 23. Стовас М.В. Некоторые вопросы тектогенеза // Проблемы планетарной геологии. М.: 1963. С. 222–274.
 24. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Под ред. Парфенова Л.М., Кузьмина М.И. М.: Наука, 2001. 571 с.
 25. Федотов С.А. Закономерности распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и Северо-Восточной Японии // Тр. Ин-та физики Земли АН СССР. М.: 1965. № 36 (203). С. 66–93.
 26. Федотов С.А. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. С. 121–150.

Deep-Seated Faults and Lineaments: The Location of Earthquake Epicenters in the Russian Northeast on Land

Yu.Ya. Vashchillov¹, L.Yu. Kalinina²

¹*Northeast Multidisciplinary Research Institute, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Magadan, 685000, Russia*

²*North International University, Magadan, 685000, Russia*

This paper summarizes the available and geological and geophysical material for faults as regards their role in the seismic process. The whole of geological and geophysical evidence is used to reveal hidden faults that are important in influencing the spatial distribution of earthquakes and to produce a map of major earthquake-generating faults and lineaments in the Russian Northeast. Besides the occurrence of earthquakes at known faults that have surface expression, we find that the seismicity tends to occur at the hidden faults and lineaments we have identified, as well as at intersections of faults. We made a quantitative assessment of the relationship of seismicity to tectonic fragmentation of the crust based, correlating the density and discordance measure for faults to indicators of seismic activity (rate and energy release of earthquakes per unit area) for the southeastern flank of the Okhotsk-Lena seismic region. The results obtained in this study revealed some features in the spatial distribution of earthquakes occurring on land in the Okhotsk-Lena seismic region: the maximum level of seismic activity occurs in areas with average values of the discordance measure for faults ($12 < ||D|| \leq 18$) as identified from gravity data and in zones of increased horizontal gradients of the lines of equal discordance. The greatest probability of earthquake occurrence for events of energy class $K \geq 12$ corresponds there to the average values of the density of faults visible at the surface ($0.12 < \tau \leq 0.16 \text{ km}^{-1}$).