

**РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ  
В ВОСТОЧНОЙ АЗИИ ПО МЕХАНИЗМУ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ИХ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ**

**О.А. Кучай, М.Е. Козина**

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,  
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия*

Используя данные механизмов очагов землетрясений, рассчитаны сейсмостектонические деформации объемов земной коры, приведенные к географической системе координат. Земная кора западной части Азии, включающей территорию Тянь-Шаня, Таримского массива, Тибета, Памиро-Каракорума, Кунь-Луна, испытывает деформации преимущественно меридионального укорочения и широтного удлинения. В восточной части наблюдаются меридиональные удлинения и широтные укорочения. Условная граница, разделяющая эти области, определяется в довольно широких диапазонах, между 95-м и 103-м меридианами и, по-видимому, связана с давлением Индийской плиты с юга в северном направлении и Охотоморской и Филиппинской плит с востока в западном направлении. В то же время эта граница может свидетельствовать о предельной зоне влияния Индийской плиты. По характеру изменения сейсмостектонических деформаций в пределах восточной части Азии намечен контур Амурской плиты. Найдены различия в особенностях сейсмостектонического деформирования земной коры в пределах северной части Охотоморской плиты и окружающей территории.

*Землетрясения, сейсмостектонические деформации, механизм очага землетрясения, Азия*

**REGIONAL FEATURES OF SEISMOTECTONIC DEFORMATIONS IN EAST ASIA  
BASED ON EARTHQUAKE FOCAL MECHANISMS AND THEIR USE  
FOR GEODYNAMIC ZONING**

**O.A. Kuchai and M.E. Kozina**

Seismotectonic deformations of crustal volumes related to geographical coordinates were calculated from data on earthquake focal mechanisms. The crust of the western part of Asia, including the Tien Shan, Tarim massif, Tibet, Pamir-Karakorum, and Kun Lun, undergoes predominantly longitudinal shortening and latitudinal extension. In the eastern part, longitudinal extension and latitudinal shortening are observed. The notional boundary separating these parts is determined over a fairly wide range between longitudes 95° and 103° E and is apparently related to the northward compression from the Indian plate in the south and the westward compression from the Okhotsk and Philippine plates in the east. At the same time, this boundary may indicate the maximum zone of influence of the Indian plate. The boundaries of the Amurian plate are inferred from changes in seismotectonic deformations in the eastern part of Asia. Differences in the seismotectonic deformation of the Earth's crust are found within the northern part of the Okhotsk plate and the surrounding area.

*Earthquakes, seismotectonic deformations, earthquake mechanism, Asia*

**ВВЕДЕНИЕ**

Азия давно привлекает внимание геофизиков и геологов разнообразием геодинамических условий и возникновением сильнейших землетрясений. Многочисленные работы как в России, так и за рубежом свидетельствуют о неослабевающем интересе к проблеме напряженно-деформированного состояния земной коры и мантии [Гущенко и др., 1977; Ризниченко и др., 1982; Лукк, Юнга, 1988; Zoback, 1992; Трифионов и др., 2002; Актуальные вопросы..., 2005; Ребецкий, 2007; Петров и др., 2008; Sloan et al., 2011; Ребецкий, Алексеев, 2014]. Известны работы многих зарубежных авторов, получивших об-

ширные материалы по смещению пунктов наблюдения GPS [Ding Guoyu, 1997; Li Yanxing et al., 2001; Calais et al., 2002; Huang Liren et al., 2003; Han Zhujun et al., 2003; Li Qiang et al., 2012] и пересчитавших векторы смещения в поле деформаций [Xie Fu-Ren et al., 2004; Pei-Zhen Zhang, 2004; Liu et al., 2007; Simons et al., 2007]. Наибольший интерес вызвали работы, связанные с выделением Амурской плиты [Steblov et al., 2003; Petit, Fournier, 2005; Apel et al., 2006] и вычислением полюса ее вращения, используя материалы космической геодезии [Тимофеев и др., 2007; Ашурков и др., 2011]. Существует целый ряд статей, где показано, что граница по 105-му меридиану между западной и восточной частями Китая трассируется между областями повышенной и пониженной сейсмичности и выделяется по геологическим критериям [Актуальные вопросы..., 2005; Buslov et al., 2007]. Одним из первых на проблему разделения территории Китая по 105-му меридиану по геофизическим особенностям обратил внимание А.Ф. Грачев с соавторами [1993].

Предлагаемая статья посвящена изменению сейсмоструктурных деформаций по данным параметров механизмов очагов коровых землетрясений по площади и использованию полученных материалов для восстановления границ Амурской плиты. В данной работе несколько по-иному подойдем к анализу деформированного состояния земной коры Азии. Обычно рассматривается ориентация главных осей напряжений и деформаций. Мы же исследуем поля вертикальных, меридиональных и широтных компонент сейсмоструктурных деформаций, рассчитанных в географической системе координат по методу Ю.В. Ризниченко и Б.В. Кострова [Костров, 1975; Ризниченко, 1985]. Такой подход позволит по-новому взглянуть на особенности деформирования объемов горных масс Азии.

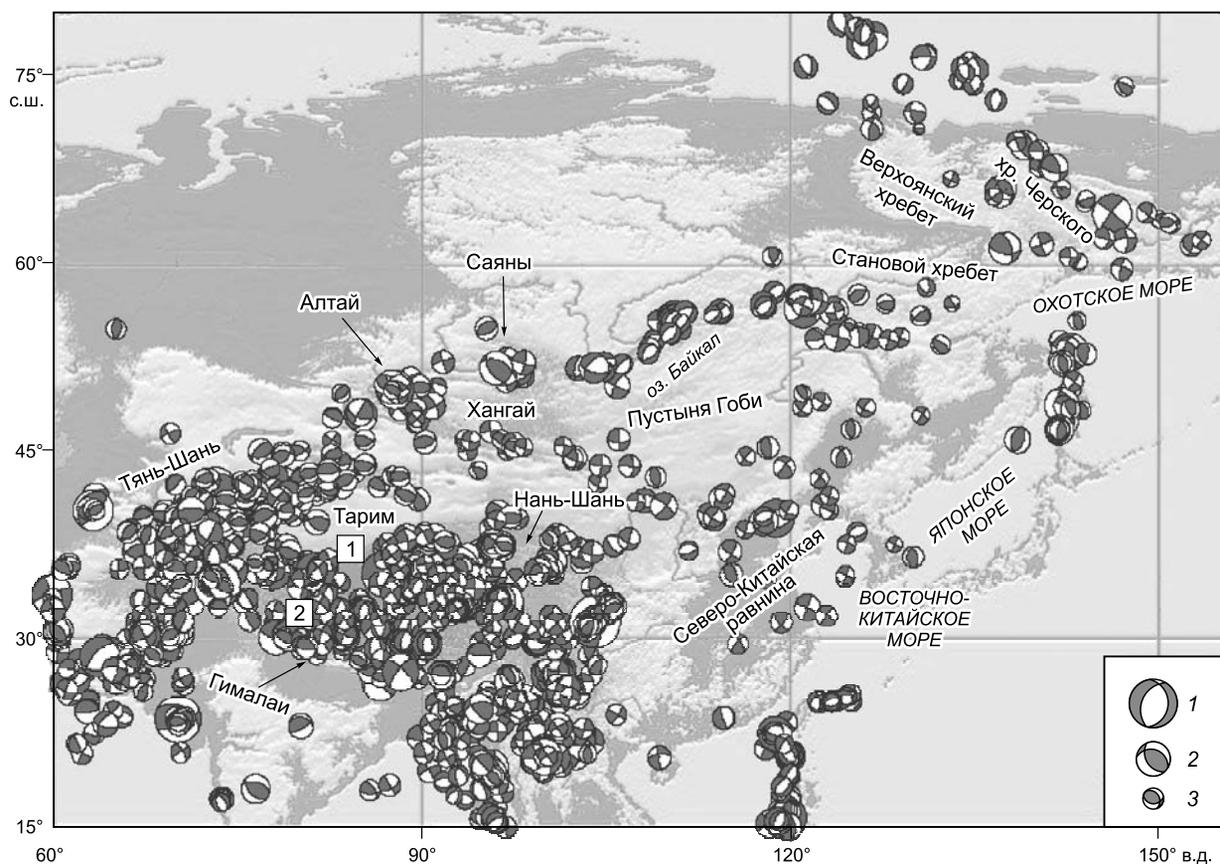
### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Деформирование объемов земной коры при смещениях частиц среды по разноориентированным разрывам в очагах землетрясений принято называть сейсмоструктурной деформацией (СТД). Она характеризуется средним тензором СТД, равным сумме тензоров сейсмических моментов всех землетрясений, возникших в единице объема за определенный промежуток времени  $T$  [Ризниченко, 1985; Костров, 1975]:

$$E_{lm} = \frac{1}{\mu VT} \sum_{n=1}^N M_0^{(n)} Q_{lm}^{(n)},$$

где  $\mu$  — модуль сдвига, принимаемый равным  $3 \times 10^{11}$  дин/см<sup>2</sup>,  $V$  — объем осреднения,  $M_0^{(n)}$  — величина сейсмического момента  $n$ -го землетрясения, определяемая в настоящей работе по известной корреляционной зависимости [Ризниченко, 1985],  $Q_{lm}^{(n)}$  — компоненты единичного тензора сейсмического момента  $n$ -го землетрясения в географической системе координат, выраженные через параметры механизма очага. Компоненты единичного тензора деформаций за счет остаточных явлений в очаге определяются по известным формулам [Ризниченко, 1985]. Величина  $M_0^{(n)}$  служит весовым коэффициентом. Деформация тех участков, где наряду с умеренными землетрясениями возникли и сильные очаги, определяется в основном сильными. Поэтому чаще всего сильные землетрясения определяют направление сейсмического течения на региональном уровне, слабые события на локальном, т.е. на другом масштабном уровне.

Сейсмоструктурные деформации были рассчитаны по данным о 1480 механизмах очагов землетрясений (рис.1) с  $M = 4.6$ — $8.0$ , произошедших в Азии за период с 1976 по 2012 г. Для этого использовались материалы, выбранные из каталога СМТ ([www.globalcmt.org](http://www.globalcmt.org)), публикация которых началась с 1976 г. Из-за невысокой сейсмичности Якутии дополнительно привлекались решения механизмов очагов, полученные Б.М. Козьминым [Солоненко и др., 1993; Имаев и др., 2009] с 1951 г. Неравномерное распределение очагов землетрясений в пределах района с координатами:  $\varphi = 15$ — $77^\circ$  N,  $\lambda = 60$ — $155^\circ$  E, позволило выбрать размер площадок осреднения, которые имели по широте и долготе значения, равные  $1^\circ$ , и глубину 30 км. Расчеты компонент деформаций для ячеек осреднения проводились методом скользящего окна с шагом  $0.5^\circ$ . Из анализа механизмов сильных землетрясений известно [Балакина и др., 1972], что сейсмические события с магнитудами более 4.9, произошедшие на значительных территориях в пределах одной геодинамической зоны, имеют достаточно устойчивые и близкие значения параметров механизмов очагов. Примером могут служить сильные землетрясения Тянь-Шаня [Ghose, Hamburger, 1998], Байкальской рифтовой зоны [Мельникова, Радзиминович, 1998, 2007], Тибета [Copley et al., 2011], Гиндукуша [Roecker et al., 1980], внутренней зоны Памира [Кучай, 1978] и т.д. Поэтому при использовании площадки осреднения в  $1^\circ$  в это окно практически не попадают сейсмические события с противоположной ориентацией осей механизмов очагов землетрясений. Области деформаций элементарных объемов за счет сильнейших землетрясений ( $M > 7.0$ ) могут выходить за рамки одного градуса, но таких событий оказывается около 2 %. Области сейсмоструктурных деформаций за счет остальных землетрясений вписываются в ячейки, так как длина разрыва, например, при магнитуде 6.7 соответству-



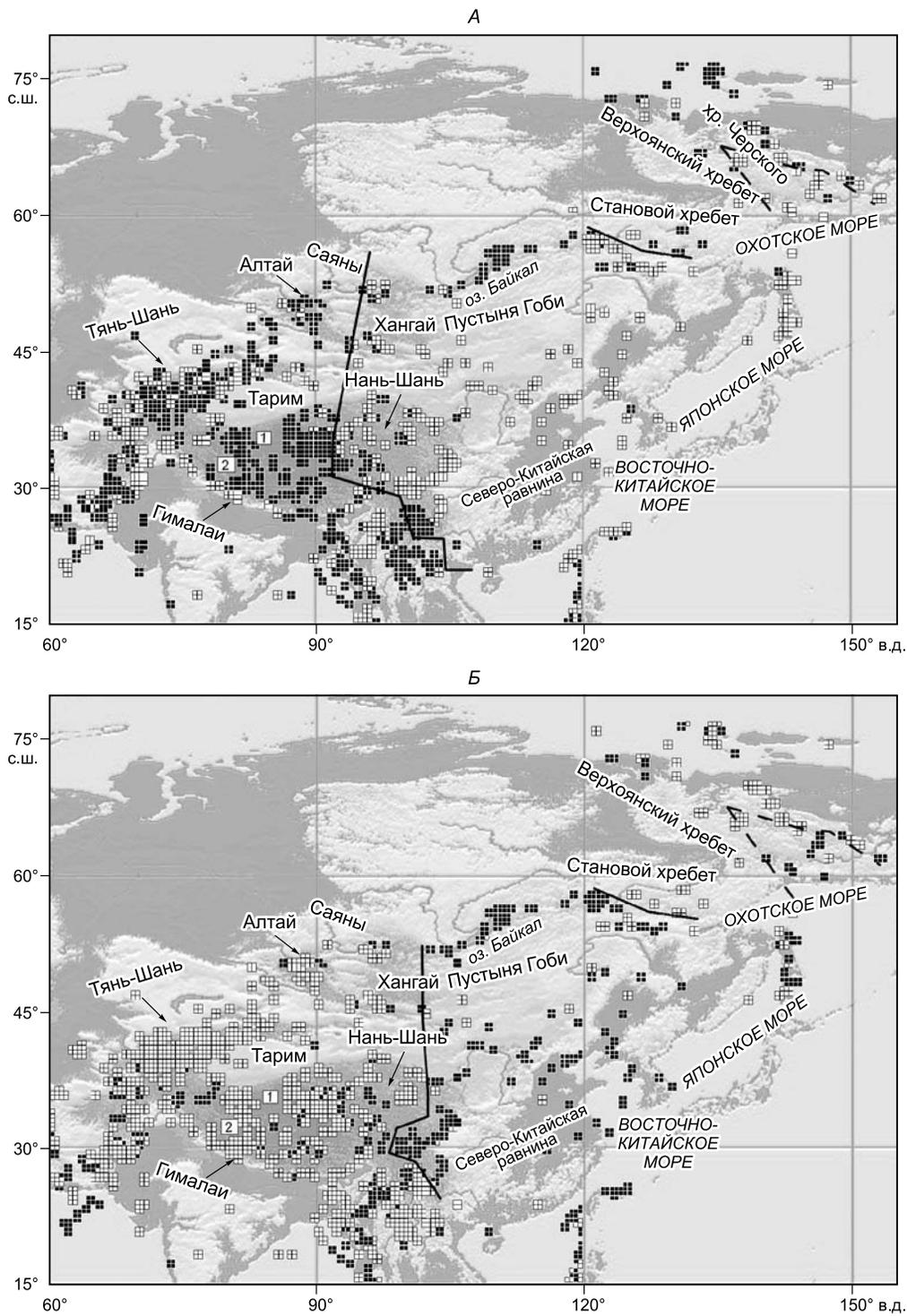
**Рис. 1. Распределение механизмов очагов землетрясений, используемых для расчета сейсмоструктурных деформаций.**

Темным цветом закрашены области волн сжатия, светлым – волн растяжения. Здесь и на рис. 2: цифры в квадратах 1 и 2 указывают местоположение Кунь-Луна и Тибета соответственно. 1 —  $M \geq 7$ ; 2 —  $7 > M > 6$ ; 3 —  $6 > M \geq 4.6$ .

ет 44 км [Ризниченко, 1985], а площадки осреднения по широте и долготе превышают эти значения. Надо отметить, что точность и детальность вычислений для района исследования разная, в зависимости от количества землетрясений, попадающих в окно осреднения. В пределах каждого элементарного объема рассчитывались вертикальная, меридиональная и широтная компоненты деформаций в географической системе координат. При построении полей меридиональной и широтной компонент сейсмоструктурных деформаций (рис. 2) использовались не сами величины деформаций, а их знак, т.е. относительные удлинения и укорочения деформаций за счет землетрясений. В данной работе положительные значения деформаций соответствовали относительному удлинению, отрицательные — относительному укорочению линейных размеров элементарных объемов земной коры в соответствующих направлениях. Наряду с вышеперечисленными картами были построены карты максимальных и минимальных значений сейсмоструктурных деформаций, полученных в географической системе координат. Построение карт состояло в следующем. Из диагональных компонент тензора сейсмоструктурных деформаций ( $E_{xx}$ ,  $E_{yy}$ ,  $E_{zz}$ ) в каждой ячейке выбирались наибольшие значения по абсолютной величине. Строились карты с учетом знака деформации.

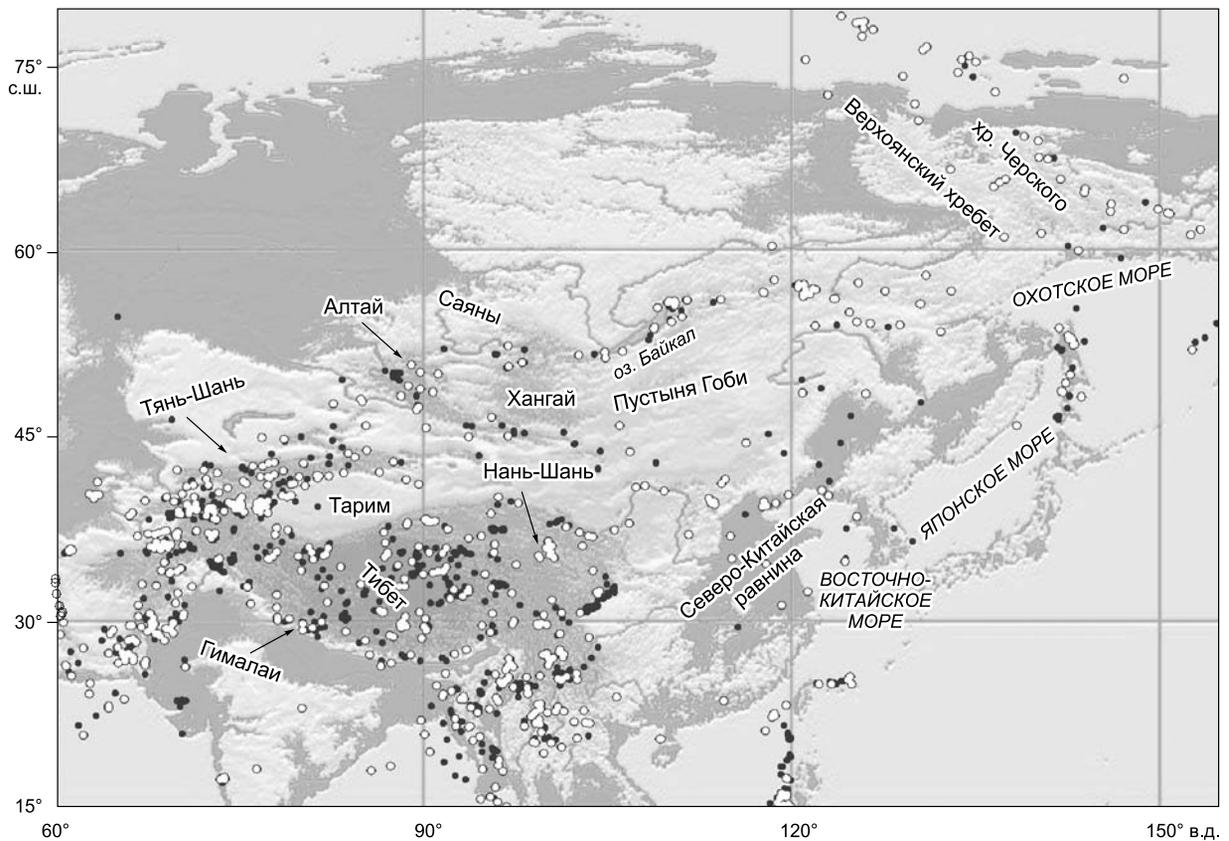
#### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ

При исследовании распределения деформаций, рассчитанных в географической системе координат, были рассмотрены следующие особенности. В поле меридиональной компоненты сейсмоструктурных деформаций, полученной по данным механизмов очагов сильных землетрясений, земная кора западной части района испытывает деформации преимущественно меридионального укорочения (см. рис. 2, Б). В западную часть зоны входит территория Тянь-Шаня, Таримского массива, Тибета, Памира, Кунь-Луна. Земная кора восточной части района характеризуется деформациями преимущественно меридионального удлинения и широтного укорочения. Восточная часть включает Северо-Китайскую рав-



**Рис. 2. Поля широтной (А) и меридиональной (Б) компонент сеймотектонических деформаций по данным механизмов очагов землетрясений.**

Темным цветом показаны области удлинения, светлым – укорочения в соответствующих направлениях. Черной линией отделяются области с разным характером деформаций. Граница на части А разделяет области преимущественного широтного удлинения объемов земной коры на западе и преимущественного широтного укорочения на юго-востоке, на части Б — области преимущественного меридионального укорочения объемов земной коры на западе и преимущественного меридионального удлинения на юго-востоке. Штриховой линией выделена северная граница Охотоморской плиты.

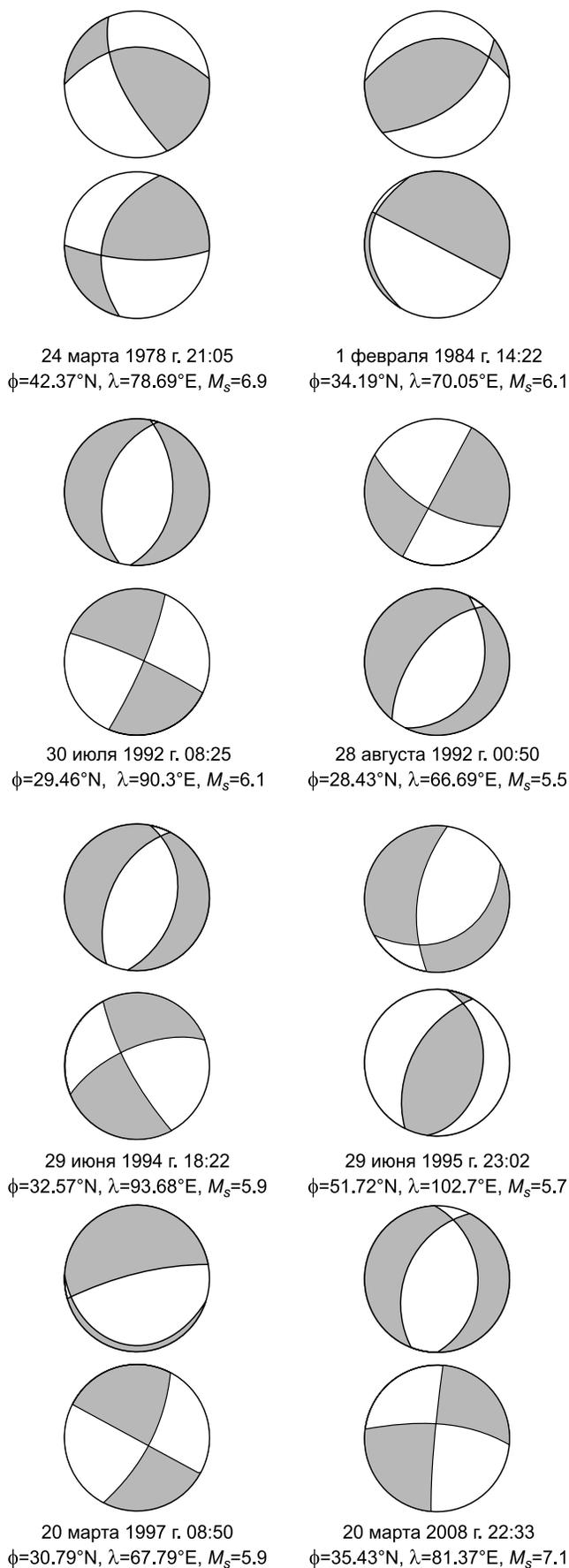


**Рис. 3. Распределение эпицентров землетрясений за временные периоды 1976—2000 гг. (белый кружок) и 2001—2012 гг. (черный кружок).**

нину и прилегающие к ней с запада, севера и юга территории. В поле меридиональной компоненты граница, разделяющая восточную и западную части Азии, проходит по 103-му меридиану, образуя петлю, вклинивающуюся в юго-восточную территорию Тибета и отторгая ее в восточную часть, где наблюдается меридиональное удлинение, что четко прослеживается на рис. 2, Б. В поле широтной компоненты границу удастся провести по 97-му меридиану, далее она огибает Нань-Шань и восточную часть Кунь-Луня (см. рис. 2, А). В этом случае объемы земной коры западной части территории испытывают широтное удлинение, восточной части — широтное укорочение. Условная граница, полученная по результатам расчета сеймотектонических деформаций, в поле широтной компоненты трассируется западнее, чем в поле меридиональной компоненты. Таким образом, возникает зона между условной границей, отображенной в поле  $E_{xx}$  (см. рис. 2, А) и отображенной в поле  $E_{yy}$  (см. рис. 2, Б), в пределах этой территории происходит смена характера деформаций.

В работах, посвященных вращению Амурской плиты, западная граница [Тимофеев и др., 2007; Ашурков и др., 2011] проводится по 105—106-му меридианам, разделяя области повышенной и слабой сейсмичности [Грачев и др., 1993; Актуальные вопросы..., 2005], и располагается восточнее относительно полученных нами результатов. На северо-западе граница Амурской плиты проходит по Байкальской рифтовой зоне, ее положение согласуется с результатами, представленными в вышеупомянутой литературе. Далее на восток граница прослеживается южнее Станового хребта, разделяя объемы земной коры (см. рис. 2) с полями деформаций положительных и отрицательных значений. На юге границу Амурской плиты уточнить не удастся, по нашим материалам она может проходить южнее (см. рис. 2), чем предполагают ряд исследователей [Petit, Fournier, 2005]. Таким образом, удастся выделить условную границу, проходящую в пределах 95—103-го меридианов и разделяющую район исследования на две зоны: западную и восточную. Земная кора западной части района испытывает деформации преимущественно меридионального укорочения и широтного удлинения, юго-восточной части, представляющей Амурскую плиту, — меридионального удлинения и широтного укорочения.

К рассмотрению устойчивости во времени сеймотектонических деформаций мы попытались подойти таким образом: разделили землетрясения по принадлежности к временным периодам 1976—2000 гг. и 2001—2012 гг. (рис. 3). При таком разбиении материал для Северо-Китайской равнины с



**Рис. 4.** Примеры решения механизмов очагов землетрясений по каталогу, созданному А.О. Мострюковым и В.А. Петровым [1994] (верхняя строка механизмов) и каталогу СМТ ([www.globalcmt.org](http://www.globalcmt.org)) (нижняя строка).

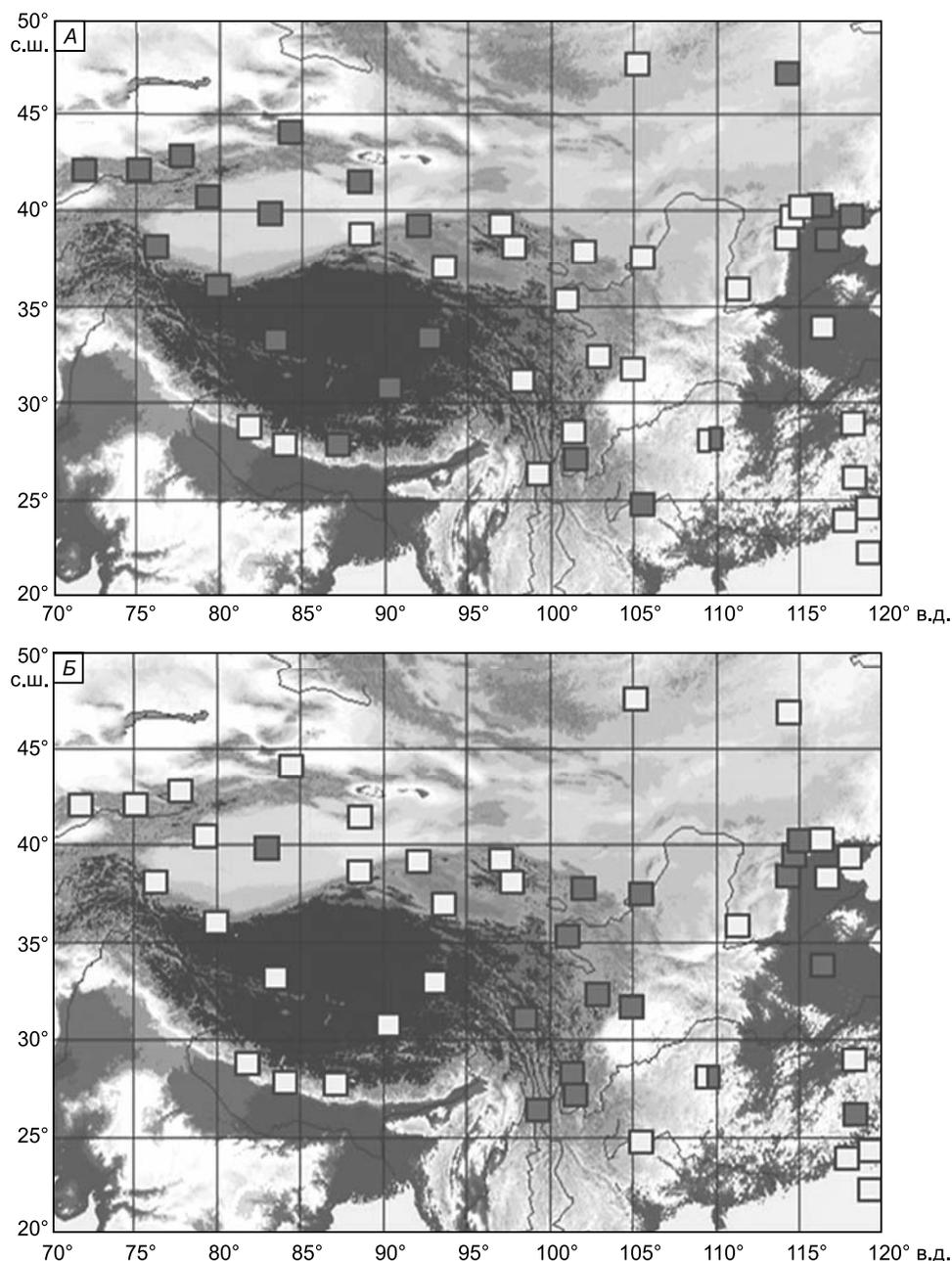
Темным цветом закрашены области распределения волн сжатия, светлым – волн растяжения.

прилегающими территориями оказался статистически не представительным из-за низкого уровня сейсмической активности и, соответственно, малочисленных определений параметров механизмов.

Для того чтобы проверить устойчивость выявленных закономерностей распределения сеймотектонических деформаций, мы использовали каталог по механизмам очагов землетрясений, созданный А.О. Мострюковым и В.А. Петровым [1994] и любезно предоставленный нам. Сравнения параметров механизмов очагов землетрясений из каталога СМТ и каталога А.О. Мострюкова и В.А. Петрова показали, что значения азимутов осей механизмов очагов, углов их падения, а следовательно, и нодальных плоскостей во многих случаях различаются значительно (рис. 4). На рисунке показаны примеры решений механизмов очагов, имеющие наиболее значительные отличия в параметрах. Такое различие связано с методом определения механизмов очагов. Каталог [Мострюков, Петров, 1994] выполнен авторами по данным только о знаках первых вступлений, взятых из сейсмологических бюллетеней Международного сейсмологического центра (International Seismological Center, [www.isc.ac.uk](http://www.isc.ac.uk)). Каталог СМТ ([www.globalcmt.org](http://www.globalcmt.org)) создан с использованием объемных и поверхностных волн, зарегистрированных на сейсмических станциях по каждому землетрясению. В этом случае определение механизма очага осуществлялось в Гарвардском университете по методу [Dziewonski et al., 1981].

Карты широтной и меридиональной компонент сеймотектонических деформаций, построенные для рассматриваемой территории, по данным каталога А.О. Мострюкова и В.А. Петрова, не обладают такой однородной картиной в западной и восточной частях. Наблюдается хаотичное распределение областей удлинений и укорочений и условная граница не выделяется.

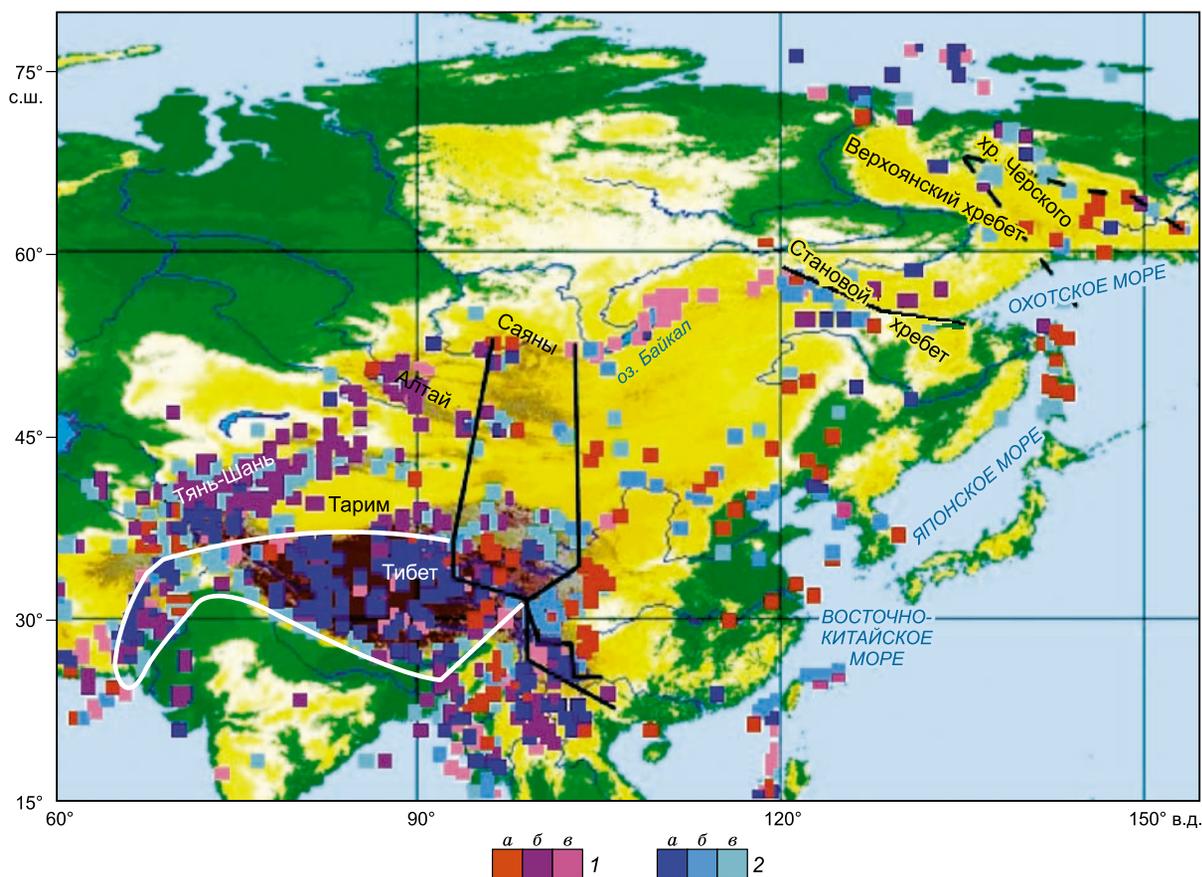
Данные, полученные по расчету сеймотектонических деформаций, в пределах координат  $\phi = 20-50^{\circ}$  по широте и  $\lambda = 70-120^{\circ}$  по долготы (включая Тибет, Нань-Шань, Тянь-Шань, Северо-Китайскую равнину с прилегающими территориями) сопоставлялись с широтными и меридиональными компонентами, определенными по материалам космической геодезии и



**Рис. 5. Поля широтной (А) и меридиональной (Б) компонент деформаций, рассчитанные по GPS-измерениям для блоков земной коры Азии, из статьи [Li Yanxing et al., 2001].**

Темным цветом показаны области удлинения, светлым – укорочения в соответствующих направлениях.

приведенными в статье [Li Yanxing et al., 2001] (рис. 5). Авторы статьи разделили район исследования на блоки, оконтуренные крупными разломами. В пределах каждого блока рассчитывались компоненты плоского тензора деформаций [Li Yanxing et al., 2001]. Предварительно было снято жесткотельное вращение плиты. Результаты по данным GPS показывают, что приповерхностные территории западной части района характеризуются широтным удлинением и меридиональным сокращением и согласуются с сейсмологическими материалами (см. рис. 2, Б; 5). Для восточной части исследуемой области также обнаруживается совпадение в деформировании поверхностных и глубинных объемов земной коры: широтного укорочения и меридионального удлинения (см. рис. 2, А; 5). Таким образом, выделенная по сейсмологическим данным условная субмеридиональная граница подтверждается и на материалах, рассчитанных по GPS. Наиболее отчетливо выделяются область Гималаев и Тибет (рис. 6) как области преобладающего сжатия, т.е. типичные коллизионные зоны.



**Рис. 6.** Карта максимальных значений (по абсолютной величине) одной из трех линейных компонент тензора сейсмоструктурных деформаций, полученных в географической системе координат.

1 — максимальные отрицательные значения:  $a$  —  $E_{xx}$ ,  $b$  —  $E_{yy}$ ,  $v$  —  $E_{zz}$ ; 2 — максимальные положительные значения:  $a$  —  $E_{xx}$ ,  $b$  —  $E_{yy}$ ,  $v$  —  $E_{zz}$ . Белой линией околнурены области максимального широтного и вертикального удлинения.

Хочется обратить внимание и на работу [Шерман, 2013, с. 105], посвященную деформационным волнам и показывающую, что «анализ схемы деформационных волн в сейсмических зонах Центральной Азии выявляет намечающуюся субмеридиональную границу, разделяющую преобладающие направления их векторов». Граница, откартированная С.И. Шерманом и протягивающаяся с севера на юг, несколько отклоняется к западу от полученной авторами этой статьи.

В пользу контура условной границы Амурской плиты может свидетельствовать и распределение величин максимальных значений (по абсолютной величине) (рис. 6) из трех диагональных компонент тензора сейсмоструктурных деформаций ( $E_{xx}$ ,  $E_{yy}$ ,  $E_{zz}$ ) в каждой ячейке осреднения с учетом знака деформации. В западной части до 103-го меридиана на рассматриваемой территории характерным является чередование областей максимального меридионального укорочения и максимального вертикального удлинения для Тянь-Шаня, на Западном Тибете — преимущественного максимального широтного удлинения и небольших районов максимального вертикального укорочения (слово «максимальное» в дальнейшем опустим, чтобы не повторяться). Восточный Тибет представляет собой территорию меридионального удлинения и широтного укорочения. Далее вся восточная часть зоны за пределами 103-го меридиана характеризуется чередованием областей с широтным укорочением и меридиональным удлинением вплоть до Станового хребта на севере. На территории Станового хребта и севернее проявляются меридиональные укорочения, на Байкале — максимальные вертикальные укорочения. Из анализа следует, что на востоке и западе исследуемой области максимальные значения по абсолютной величине из трех диагональных компонент тензоров СТД различаются. Граница между ними проводится по тем же меридианам, что и по данным полей широтной (см. рис. 2, А) и меридиональной (см. рис. 2, Б) компонент сейсмоструктурных деформаций. Проявление максимального широтного укорочения либо максимального меридионального удлинения в объемах горных масс в юго-восточной части позволяет вы-

делить эту область, контур которой соответствует границе Амурской плиты, установленной нами ранее по положительным и отрицательным значениям деформаций.

Для подтверждения северной границы Охотоморской плиты на северо-востоке Азии применим такой же подход, что использовали для нахождения контура Амурской плиты. Для этого рассмотрим поля меридиональной и широтной компонент сейсмотектонических деформаций и максимальные значения из трех диагональных компонент тензоров СТД. Граница Охотоморской плиты показана в статье [Родников и др., 2010]. Расчет сейсмотектонических деформаций земной коры, по данным землетрясений с  $M > 4.6$ , показал, что поле меридиональной компоненты в пределах Охотоморской плиты отличается от деформаций окружающей территории: наблюдается внутриплитное меридиональное удлинение при широтном укорочении. Окружающая плиту территория деформируется иначе (см. рис. 2). Максимальные величины по абсолютной величине (из трех компонент линейных деформаций) соответствуют широтному укорочению на рассматриваемом участке плиты (см. рис. 6). Таким образом, северная часть плиты, где фиксируются землетрясения, выделяется не только по геологическим материалам, но и сейсмологическим.

## ВЫВОДЫ

Сейсмотектонические деформации земной коры, рассчитанные по данным механизмов очагов сильных и умеренных землетрясений и приведенные к географической системе координат, обнаруживают следующие особенности.

Для западной части Центральной Азии характерны преимущественно меридиональные укорочения и широтные удлинения объемов земной коры; в юго-восточной части, представляющей Амурскую плиту, наблюдаются меридиональные удлинения и широтные укорочения. Полученное разделение находит подтверждение при анализе преобладающих максимальных величин (по абсолютной величине) линейных компонент тензора сейсмотектонических деформаций.

Результаты, полученные по сейсмотектоническим деформациям, при сопоставлении с широтными и меридиональными компонентами, определенными по материалам космической геодезии [Li Yanxing et al., 2001], согласуются.

Условная граница, разделяя западную и восточную территории, проходит в довольно широких пределах 95—103-го меридианов и, по-видимому, связана с давлением Индийской плиты с юга в северном направлении и Охотоморской и Филиппинской плит с востока в западном направлении. Эта условная граница является зоной контакта двух основных направлений горизонтального давления на азиатский континент [Грачев и др., 1993]. В то же время эта граница может свидетельствовать о предельной зоне влияния Индийской плиты.

Особенности распределения в пространстве сейсмотектонических деформаций объемов земной коры для северной части Охотоморской плиты подтвердили контур ее границы, полученный геологическими методами.

Авторы выражают благодарность А.Ф. Еманову за сделанные замечания, которые способствовали улучшению данной работы.

Работа выполнена в рамках интеграционных проектов СО РАН № 76 и № 90.

## ЛИТЕРАТУРА

**Актуальные** вопросы современной геодинамики Центральной Азии / Под. ред. К.Г. Леви, С.И. Шермана. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2005, 297 с.

**Ашурков С.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Лухнев А.В., Сорокин А.П., Серов М.А., Бызов Л.М.** Кинематика Амурской плиты по данным GPS-геодезии // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (2), с. 299—311.

**Балакина Л.М., Введенская А.В., Голубева И.В., Мишарина Л.А., Широкова Е.И.** Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясений. М., Наука, 1972, 192 с.

**Грачев А.Ф., Калашникова И.В., Магницкий В.А.** Современная и новейшая геодинамика и сейсмичность Китая // Физика Земли, 1993, № 10, с. 3—13.

**Гущенко О.И., Степанов В.В., Сим Л.А.** Направление действия современных мегарегиональных тектонических напряжений сейсмоактивных областей юга Евразии // Докл. АН СССР, 1977, т. 234, № 3, с. 556—559.

**Имаев В.С., Имаева Л.П., Маккей К., Козьмин Б.М.** Геодинамика отдельных сегментов литосферных плит на северо-востоке Азии // Геофизические исследования, 2009, т. 10, № 1, с. 44—63.

**Костров Б.В.** Механика очага тектонического землетрясения. М., Наука, 1975, 174 с.

**Кучай О.А.** Механизм очагов землетрясений и некоторые особенности тектонических движений земной коры Памира и южной части Таджикской депрессии // Результаты комплексных геофизических исследований в сейсмоопасных зонах. М., Наука, 1978, с. 159—180.

- Лукк А.А., Юнга С.Л.** Геодинамика и напряженно-деформированное состояние литосферы Средней Азии. Душанбе, Дониш, 1988, 230 с.
- Мельникова В.И., Радзиминович Н.А.** Механизм очагов землетрясений Байкальского региона за 1991—1996 годы // Геология и геофизика, 1998, т. 39 (11), с. 1598—1607.
- Мельникова В.И., Радзиминович Н.А.** Параметры сейсмотектонических деформаций земной коры Байкальской рифтовой зоны по сейсмологическим данным // ДАН, 2007, т. 416, № 4, с. 543—545.
- Мострюков А.О., Петров В.А.** Каталог механизмов очагов землетрясений, 1964—1990. Материалы мирового центра данных Б. М., 1994, 87 с.
- Петров В.А., Niu Anfu, Смирнов В.Б., Мострюков А.О., Li Zhixiong, Пономарев А.В., Jiang Zaisen, Shen Xuhui.** Поле тектонических напряжений по механизмам очагов землетрясений и современные движения земной коры по данным GPS-измерений для территории Китая // Физика Земли, 2008, № 10, с. 101—112.
- Ребецкий Ю.Л.** Тектонические напряжения и прочность природных массивов. М., Академкнига, 2007, 406 с.
- Ребецкий Ю.Л., Алексеев Р.С.** Поле современных тектонических напряжений Средней и Юго-Восточной Азии. 2014, //gt.crust.irk.ru/images/upload/tblarticle138/magazin138.pdf.
- Ризниченко Ю.В.** Проблемы сейсмологии. М., Наука, 1985, 407с.
- Ризниченко Ю.В., Соболева О.В., Кучай О.А., Михайлова Р., Васильева О.Н.** Сейсмотектоническая деформация земной коры юга Средней Азии // Физика Земли, 1982, № 10, с. 90—102.
- Родников А.Г., Сегеев Н.А., Забаринская Л.П.** Применение междисциплинарной базы данных для построения геодинамических моделей глубинного строения регионов природных катакстов // Российский журнал наук о Земле, 2010, т. 11, <http://elpub.wdcb.ru/journals/rjes/doi/2009ES000357.html>.
- Солоненко А.В., Солоненко Н.В., Мельникова В.И., Козьмин Б.М., Кучай О.А., Суханова С.С.** Напряжения и подвижки в очагах землетрясений Сибири и Монголии. Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. М., ИФЗ РАН, 1993, вып. 1, с. 113—122.
- Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.А., Горнов П.Ю., Шевченко Б.Ф., Бойко Е.В.** Внутриплитные современные движения по GPS данным // Материалы совещания «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса». Вып. 5, Т. 2. Иркутск, ИЗК СО РАН, 2007, с. 121—122.
- Трифонов В.Г., Соболева О.В., Трифонов Р.В., Востриков Г.А.** Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизионного пояса. М., ГЕОС, 2002, 220 с.
- Шерман С.И.** Деформационные волны как триггерный механизм сейсмической активности в сейсмических зонах континентальной литосферы // Геодинамика и тектонофизика, 2013, т. 4, № 2, с. 83—117.
- Apel E.V., Bürgmann R., Steblöv G., Vasilenko N., King R., and Prytkov A.** Independent active microplate tectonics of northeast Asia from GPS velocities and block modeling // Geophys. Res. Lett., 2006, v. 33, № 11, doi: 10.1029/2006GL026077.
- Buslov M.M., De Grave J., Bataleva E.A., Batalev V.Yu.** Cenozoic tectonic and geodynamics in the Nian Shan: Synthesis of geology and geophysical data // J. Asian Earth Sci., 2007, v. 29, p. 205—214.
- Calais E., Vergnolle M., San'kov V., Luknev A., Miroshnitchenko A., Amarjargal S., Déverchère J.** GPS measurements of crustal deformation in the Baikal-Mongolia area (1994—2002): Implications for current kinematics of Asia // J. Geophys. Res., 2002, v. 108, doi:10.1029/2002JB002373.
- Copley A., Avouac J.-P., Wernicke B.P.** Evidence for mechanical coupling and strong Indian lower crust beneath southern Tibet // Nature, 2011, v. 472, p. 79—81.
- Ding Guoyu.** Seismotectonic research in China // Episodes, 1997, v. 20, № 2, p. 79—83.
- Dziewonski A.M., Chou T.-A., Woodhouse J.H.** Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity // J. Geophys. Res., 1981, v. 86, p. 2825-2852, doi:10.1029/JB086iB04p02825.
- Ghose S., Hamburger M.** Source parameters of moderate-sized earthquakes in the Tien Shan, central Asia from regional moment tensor inversion // Geophys. Res. Lett., 1998, v. 25, № 16, p. 3181—3184.
- Han Zhujun, Xu Jie, Ran Yongkang, Chen Lichun, Yang Xiaoping.** Active blocks and strong seismic activity in North China region // Science in China (Series D), 2003, v. 46, p. 153—167.
- Huang Liren, Fu Yang, Duan Wuxing, Ma Qing, Ma Xin.** Active tectonic boundaries of the China mainland inferred from GPS observations chinese // J. Geophys., 2003, v. 46, № 5, p. 874—882.
- Li Qiang, You Xinzhaoyang, Yang Shaomin, Du Ruilin, Qiao Xuejun, Zou Rong, Wang Qi.** A precise velocity field of tectonic deformation in China as inferred from intensive GPS observations // Sci. China Earth Sci., 2012, v. 55, p. 695—698.

**Li Yanxing, Hu Xikang, Shui Ping, Ge Liangquan, Hudng Cheng, Zhu Wenyao, Hu Xiaogong.** The current strain fields in the continent of China and its adjacent areas from GPS measurement results // Proceeding of the Fourth Workshop, 14—19 May 2001. 2001, p. 113—123.

**Liu M., Yang Y., Shen Z., Wang S., Wang M., Wan Y.** Active tectonics and intracontinental earthquakes in China: the kinematics and geodynamics // Geol. Soc. Amer. Special, Paper 425, 2007, p. 299—318, doi: 10.1130/2007.2425.

**Pei-Zhen Zhang, Zhengkang Shen, Min Wang, Weijun Gan, Roland Bürgmann, Peter Molnar, Qi Wang, Zhijun Niu, Jianzhong Sun, Jianchun Wu, Sun Hanrong, You Xinzhao.** Continuous deformation of the Tibetan Plateau from global positioning system data // Geology, 2004, v. 32, № 9, p. 809—812.

**Petit C., Fournier M.** Present-day velocity and stress fields of the Amurian Plate from thin-shell finite-element modelling // Geophys. J. Int., 2005, v. 160, p. 357—369.

**Roecker S.W., Soboleva O.V., Nersesov I.L., Lukk A.A., Hatzfeld D., Chatelain J.L., Molnar P.** Seismicity and fault plane solutions of intermediate depth earthquakes in the Pamir-Hindu Kush region // J. Geophys. Res., 1980, v. 85, p. 1358—1364.

**Simons W.J.F., Socquet A., Vigny C., Ambrosius B.A.C., Abu S.H., Promthong C., Subarya C., Sarsito D.A., Matheussen S., Morgan P., Spakman W.** A decade of GPS in Southeast Asia: Resolving Sundaland motion and boundaries // J. Geophys. Res., 2007, v. 112, № B06420, doi:10.1029/2005JB003868.

**Sloan R.A., Jackson J.A., McKenzie D., Priestley K.** Earthquake depth distributions in central Asia, and their relations with lithosphere thickness, shortening and extension // Geophys. J. Int., 2011, v. 185, p. 1—29.

**Steblov G.M., Kogan M.G., King R.W., Scholz C.H., Burgmann R., Frolov D.I.** Imprint of the North American plate in Siberia revealed by GPS // Geophys. Res. Lett., 2003, v. 30, № 18, doi:10.1029/2003GL017805.

**Xie Fu-Ren, Cui Xiao-Feng, Zhao Jian-Tao, Chen Qun-Ce, Li Hong** Regionalization of the recent tectonic stress field in China and adjacent regions // Chinese J. Geophys., 2004, v. 47, № 4, p. 745—754.

**Zoback M.** First- and second-order patterns of stress in the lithosphere: The World Stress Map Project // J. Geophys. Res., 1992, v. 97, № 8, p. 11703—11728.

*Рекомендована к печати 8 декабря 2014 г.  
В.С. Селезневым*

*Поступила в редакцию  
29 мая 2014 г.*