

УДК 551.24(4/5)

*Памяти Юрия Степановича Тюпкина  
посвящают авторы эту работу*

## **БЛОКОВАЯ СТРУКТУРА И ГЕОДИНАМИКА КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЛИТОСФЕРЫ НА ГРАНИЦАХ ПЛИТ**

**© 2008 Ю.Г. Гатинский<sup>1</sup>, Д.В. Рундквист<sup>1</sup>, Г.Л. Волова<sup>2</sup>,  
Т.В. Прохорова<sup>2</sup>, Т.В. Романюк<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, Москва, 125009; e-mail: yug@sgm.ru*

<sup>2</sup>*Международный институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва, 117997.*

<sup>3</sup>*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, 123810.*

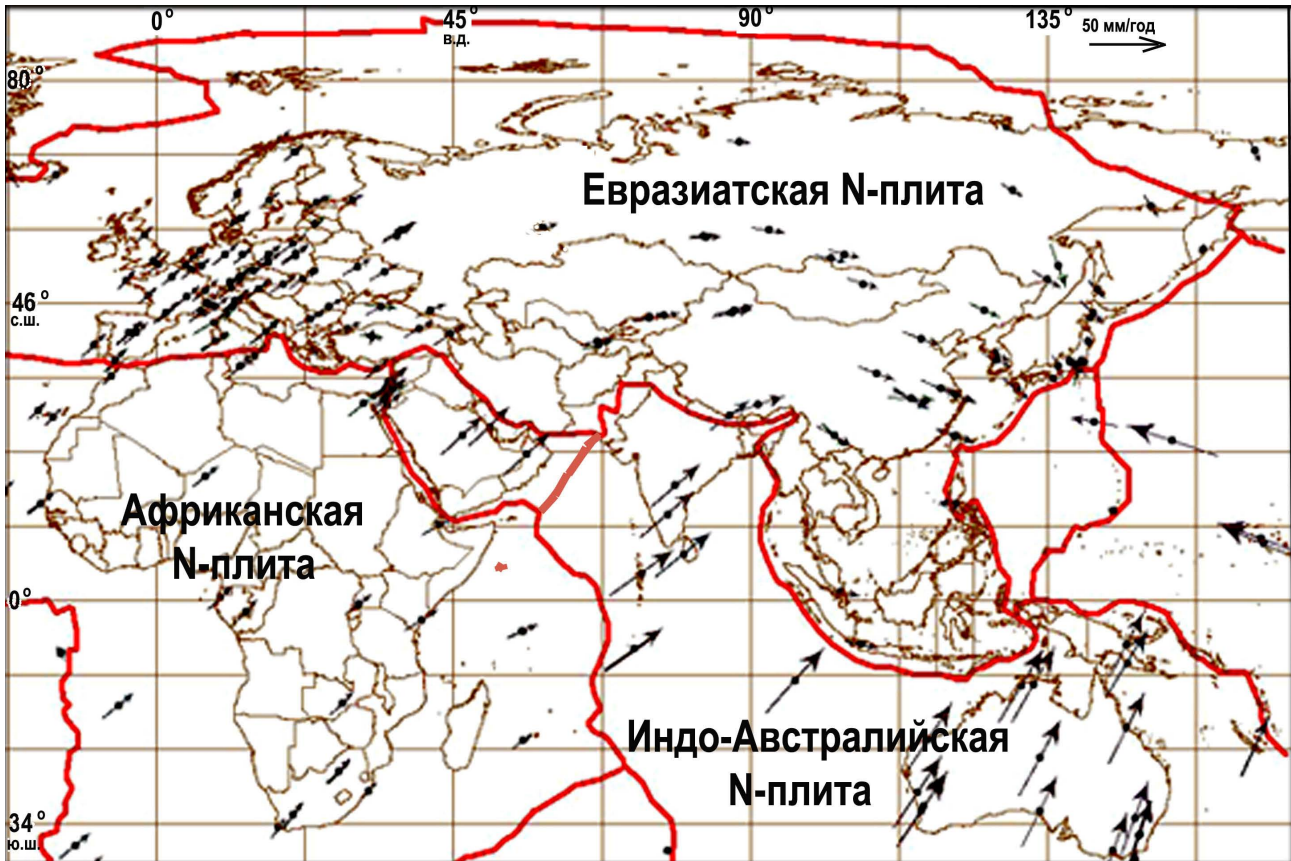
Деление литосферы Земли на крупные плиты должно рассматриваться только как первое и самое общее приближение в иерархии ее структур. На границах литосферных плит располагаются транзитные зоны, в пределах которых передаются и релаксируются возникающие при взаимодействии плит тектонические напряжения. Такие зоны состоят из ограниченных сейсмоактивными разломами блоков, векторы горизонтальных перемещений которых часто не совпадают с векторами главных плит и изменяются с изменением степени жесткости блоков. В целом интенсивность выделения сейсмической энергии на границах плит и транзитных зон убывает линейно с удалением от этих границ и коррелирует с убыванием скоростей горизонтальных перемещений блоков, но иногда максимумы выделения энергии приурочены к внутренним частям транзитных зон (районы Памира и Тянь-Шаня, запад США). В пределах Евразии установлено, что наиболее активными по выделению сейсмической энергии являются относительно узкие межблоковые зоны, ограничивающие блоки Памир, Тянь-Шань, Баян-Хар в Центрально-Азиатской транзитной зоне, северные границы Индийской плиты, блоки Шан и Японско-Корейский в Восточно-Азиатской транзитной зоне. Объемы выделяющейся в них при землетрясениях энергии сопоставимы с энергией Тихоокеанских зон субдукции. Уровни перемещения блоков находятся преимущественно в основании или внутри земной коры, реже в мантийном слое литосферы. Блоки с наиболее мощными литосферными корнями (Юго-Восточного Китая, Амурский) представляют собой наиболее жесткие и слабо деформированные структуры.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Согласно классическому варианту концепции плиттектоники литосфера Земли делится на ряд жестких главных плит, относительно четко ограниченных и перемещающихся по более пластичной астеносфере. Их движение описывается, в частности, одной из наиболее поздних версий известной модели NUVEL – NNR-NUVEL-1A (Jin, Zhu, 2004), рассчитанной по прохождению плит над горячими точками и по линейным магнитным аномалиям. Такие плиты по первой букве упомянутой модели были названы N-плитами (Гатинский и др., 2005а). В то же время полученные в основном за последние 10-15 лет результаты экспериментальных космогеодезических измерений в системе ITRF по отношению к условной точке в

центре масс Земли показывают, что различные участки N-плит перемещаются во многих случаях в неодинаковых направлениях (рис. 1). Выделенные авторами при статистической обработке плотности распределения эпицентров землетрясений пояса, зоны и ареалы их максимального развития не только отчетливо обрисовывают границы главных плит и образуют широкие полосы вдоль них, но нередко проникают далеко во внутренние части N-плит (рис. 2). Подобные зоны развития повышенной сейсмичности оконтуривают выделенную несколько лет назад Ю.Г. Гатинским и Д.В. Рундквистом (2004) Северо-Евразийскую плиту и ряд блоков в центральной и восточной частях континента Евразии.

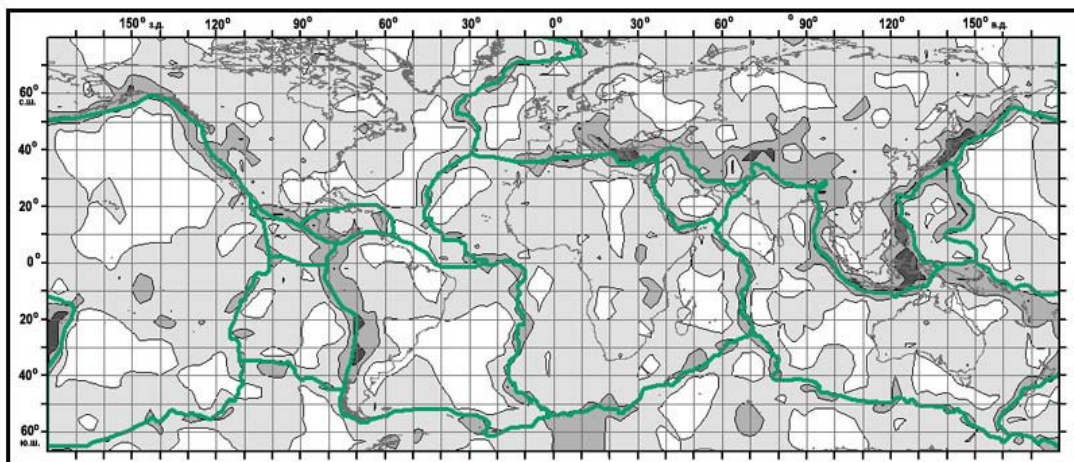
Изучение современной сейсмичности и активных разломов с привлечением различных



**Рис. 1.** Векторы горизонтальных перемещений главных литосферных плит Восточного полушария по результатам измерений в системе ITRF ([http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF\\_solutions/2005/ITRF2005.php](http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2005/ITRF2005.php)). Показаны точки измерений. Даны границы N-плит из Электронного геодинамического глобуса Земли (<http://earth.jssc.ru>).

геофизических и дистанционных методов показывает неоднородность строения краевых частей литосферных плит с развитием вдоль их границ транзитных (переходных) зон, разделяющих эти плиты и состоящих из мозаики блоков, ограниченных сейсмоактивными разломами. В пределах транзитных зон передаются и релаксируются возникающие при взаимодействии

главных плит тектонические напряжения. Векторы горизонтальных перемещений блоков могут не совпадать с векторами соседних плит и изменяются с изменением степени жесткости блоков. Подобные зоны выделяются в ряде работ также как диффузные границы плит или зоны торошения. Они установлены между Северо-Евразийской плитой и соседними с ней литосферными плитами,



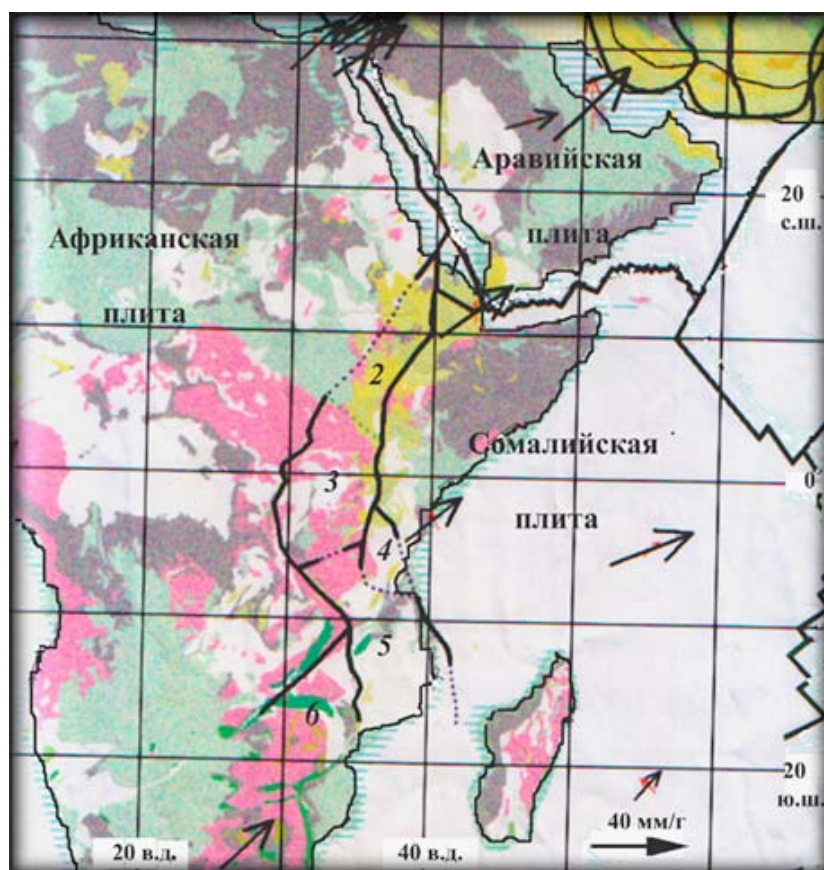
**Рис. 2.** Границы главных литосферных плит из Электронного геодинамического глобуса Земли и плотность распределения эпицентров землетрясений с  $M \geq 4$ , рассчитанная авторами по данным из каталога NEIC (<http://earthquake.usgs.gov/regional/neic>). Показаны площади с количеством землетрясений: белые – меньше 1 в 20 лет, серые – до 1 в 20 лет, темно-серые – до 1 в 5 лет, черные - более 1 в 5 лет.

СТРОЕНИЕ И СОВРЕМЕННАЯ  
ГЕОКИНЕМАТИКА ТРАНЗИТНЫХ ЗОН

между Тихоокеанской и Австралийской, Африканской и Сомалийской плитами, на границах Индийской и на западе Северо-Американской плит, в Карибском регионе и на других участках (Гатинский и др., 2005а, 2007а, 2007б; Bird, 2003; Bohannon, Parson, 1995; Gordon, 1998; Jin et al., 2007; Stein et al., 2002; Wiens et al., 1985).

Ниже будут рассмотрены строение и современная геокинематика отдельных транзитных зон на востоке Африки, в Евразии и на западе Северной Америки, а также сейсмичность на границах входящих в их состав блоков с уделением особого внимания сейсмоэнергетике. В заключение мы остановимся на данных, демонстрирующих различный диапазон глубин уровней, по которым происходит перемещение блоков в транзитных зонах. Этот анализ, как и выделение блоков, был выполнен в разные годы авторами совместно с Ю.С. Тюпкиным. Он базируется на данных из каталога NEIC (<http://earthquake.usgs.gov/regional/neic>), результатах космогеодезических измерений различными методами в системе ITRF ([http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF\\_solutions/2005/ITRF2005.php](http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2005/ITRF2005.php)), сводках по активным разломам (Трифонов, 1999; Трифонов и др., 2002) и других геолого-геофизических материалах, в том числе содержащихся в составленном в Государственном геологическом музее РАН при участии авторов Электронном геодинамическом глобусе Земли (<http://earth.jssc.ru>).

Количественный анализ кинематики транзитных зон, проведенный по данным спутниковой геодезии, позволяет получить представление о поле напряжений, определяющем абсолютные и относительные перемещения и деформацию (степень кинематической свободы) входящих в их состав блоков. Кратко рассмотрим строение и современную активность некоторых из этих зон. В Восточно-Африканской зоне, находящейся на границе Африканской и Сомалийской плит и совпадающей с одноименной рифтовой системой, Ю.Г. Гатинским (<http://earth.jssc.ru>) на основании анализа сдвиговых нарушений, поперечных и диагональных к простиранию рифтов, выделен ряд блоков, ограниченных рифтовыми зонами и активными разломами (рис. 3). По результатам изучения сетей GPS французскими и египетскими исследователями (Nosquet et al., 2006) при раскрытии рифтов преобладает смещение блоков в системе ITRF (International Terrestrial Reference Frame) по восточным и северо-восточным векторам со скоростями 4-6 мм/год. Одной из возможных причин этого могут служить более высокие скорости движения к северо-востоку Сомалийской и Аравийской плит (35- 44 мм/год) по сравнению с восточной частью Африканской плиты (25-32 мм/год).



**Рис. 3.** Схема блокового строения литосферы Восточной Африки между Африканской и Сомалийской литосферными плитами на геологической основе (построена Ю.Г. Гатинским по результатам анализа данных по сейсмичности из каталога NEIC и Электронного геодинамического глобуса Земли). Штриховка около береговой линии – шельфы. Показаны границы плит и блоков (точечный пунктир – предполагаемые) и векторы (стрелки) горизонтальных перемещений в системе ITRF. Цифрами обозначены блоки: 1 – Данакиль, 2 – Западно-Эфиопский, 3 – Виктория, 4 – Додома, 5 – Зомба – Рувума, 6 – Южно-Африканский.



**Рис. 4.** Схема блокового строения литосферы Западной Евразии. Синие линии - границы литосферных плит (пунктирные - предполагаемые границы), зеленые - границы блоков (пунктирные - границы транзитных зон), голубые - главнейшие внутриплитные и внутриблоковые активные разломы. Стрелки - векторы горизонтальных движений: красные - GPS2005 в системе ITRF, черные - относительно принимаемой за стабильную Евразийской N-плиты. Точками даны эпицентры землетрясений с магнитудой: 8.0-8.9 - красные, 7.0-7.9 - черные, 6.0-6.9 - коричневые. Цифрами обозначены блоки: 1 - Западно-Альпийский, 2 - Восточно-Альпийский, 3 - Паннонский, 4 - Апулийский, 5 - Динарский, 6 - Родопо-Синопский, 7 - Эгейский, 8 - Мендерес, 9 - Анатолийский, 10 - Восточно-Понтийский, 11 - Западно-Кавказский, 12 - Восточно-Кавказский, 13 - Малокавказский, 14 - Южно-Каспийский, 15 - Рабатский, 16 - Магрибский, 17 - Центрально-Средиземноморский, 18 - Восточно-Средиземноморский, 19 - Центрально-Иранский. Буквами обозначены структуры: А - Азорская зона трансформных разломов, К - точка тройного сочленения Карлиова в Малой Азии, Р - система разломов Рейнских грабенов.

Северо-Африканско-Апулийская транзитная зона разделяет западную часть Северо-Евразийской и Африканскую плиты (Гатинский и др., 2007а). Входящие в ее состав Апулийский, Центрально-Средиземноморский и Рабатский блоки (4, 17, 15 на рис. 4) смещаются в абсолютных координатах (система ITRF) на восток и северо-восток со скоростями 25-40 мм/год. Два первых из них испытывают вращение против часовой стрелки относительно принимаемой за неподвижную Евразийской N-плиты, что подробно рассмотрено в работе (Nocquet, Calais, 2003). Движения главных плит по обе стороны от Северо-Африканско-Апулийской транзитной зоны различны: Африканская смещается на 40-45° СВ, а Северо-Евразийская на 50-55°.

Еще большую кинематическую самостоятельность имеют блоки в восточной части Альпийско-Иранской транзитной зоны на границах Северо-Евразийской, Африканской и Аравийской плит. Эгейский блок (7 на рис. 4) движется по азимуту 133-165° ЮВ со скоростями 11-30 мм/год. Максимальные значения их наблюдаются на юге, что согласуется с растяжением в Эгейском море в пределах тылового прогиба Эллинской островной дуги. Расположенный севернее Родопо-Синопский блок (6) смещается в абсолютных координатах на восток со скоростью до 41 мм/год вдоль крупнейшего Северо-Анатолийского правостороннего сдвига, который служит границей между ним и расположенным южнее Анатолийским блоком (9). Этот сдвиг

протягивается более чем на 1400 км от точки Карлиова, где происходит тройное сочленение Аравийской плиты, Малокавказского и Анатолийского блоков, до Мраморного моря, в районе которого зона разлома расщепляется на несколько ветвей.

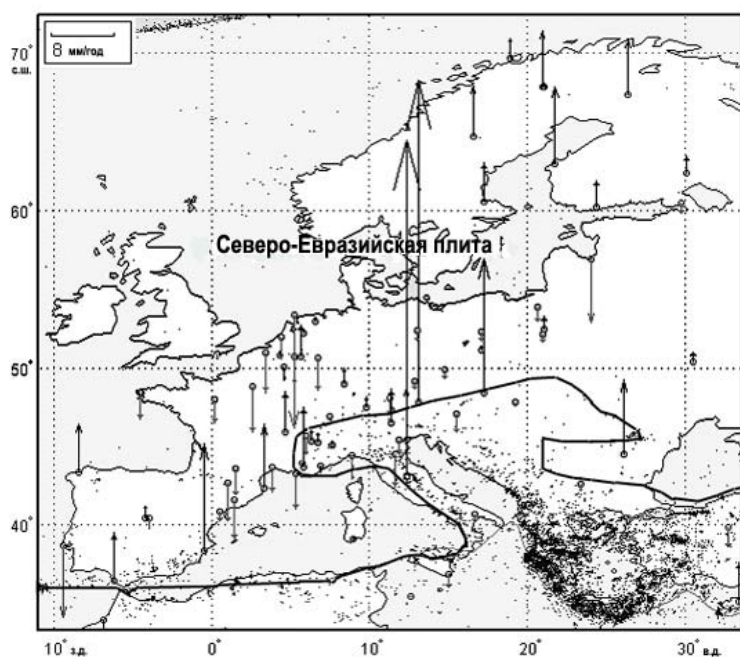
В целом кинематика Восточного Средиземноморья определяется вращением против часовой стрелки по отношению к Евразийской N-плите Аравийской плиты и большинства блоков к югу от Северо-Анатолийского разлома (рис. 4). Повышенные скорости движения и интенсивность растяжения внутри Эгейского блока связываются с откатом (roll-back) слэба в Эллинском желобе (Le Pichon et al., 1995; Wortel, Spakman, 2000). В некоторых работах предполагается, что такой откат происходит под влиянием более интенсивных скоростей движения Аравийской плиты и субдукции в Макране под Евразию по сравнению со скоростью субдукции под Эллинскую дугу (Reilinger et al., 2006). Таким образом, современные относительные перемещения блоков Восточного Средиземноморья контролируются, по крайней мере, двумя процессами: «выдавливанием» их на запад из зоны коллизии Северо-Евразийской и Аравийской литосферных плит и смещением к югу южного края Эгейского блока над отступающим Эллинским желобом.

Изучение современной геодинамики Евразии выявляет во многих случаях относительную жесткость большинства блоков и даже крупных литосферных плит. Под действием взаимных перемещений и особенно при транспрессивной передаче на большие расстояния напряжений от зон субдукции и коллизии их края подвергаются деформациям, хорошо улавливаемым при анализе спутниковых данных. Как видно из рисунка 4,

активные на современном этапе разломы далеко проникают во внутренние части литосферных плит. Примерами могут служить продолжение линии Торнквиста в Центральной Европе, зон разломов Пиренеев, Аквитании, Рейнских грабенов и других.

Свидетельством неоднородного строения различных частей Западной Евразии с разделением их на не полностью замкнутые блоки с относительной подвижностью как внутри транзитных зон, так и за их пределами являются векторы вертикальных движений земной коры по данным GPS (рис. 5). Они указывают на происходящее в настоящее время воздымание Пиренейского полуострова, Скандинавии и Альп со скоростями от 0.7 до 3.5 см/год и более. Одновременно происходит погружение большей части территории Франции, Северной Германии, Северной Италии к югу от Альп, Центрального Средиземноморья, Северо-Западной Румынии (Трансильвании) и Прибалтики со скоростями 0.5-1.5 см/год (Гатинский и др., 2007а; Bennet, Hreinsdóttir, 2007). Точность таких дифференцированных вертикальных подвижек оценивается авторами второй из упомянутых работ для Центрального Средиземноморья на уровне 0.2-0.4 мм/год (по степени соответствия данных GPS и перемещений голоценовых береговых линий).

В то же время во многих последних работах по результатам космогеодезических измерений отмечается относительно слабая подвижность различных частей Европы в горизонтальном направлении. Так, на основании выполнения проекта CERGOP за 1994–2005 гг. по анализу сетей GPS на 60 станциях Центральной Европы скорости горизонтальных перемещений в системе ITRF не



**Рис. 5.** Векторы вертикальных движений земной коры (стрелки, направленные вниз – опускания, вверх – поднятия) по данным GPS и эпицентры землетрясений с  $M \geq 4$  (точки) в Центральной и Западной Европе. Дана схематично южная граница Северо-Евразийской плиты. Эпицентры на юго-востоке Испании, в Пиренеях, вдоль Рейнских грабенов, на отдельных участках по краям Балтийского щита и в Причерноморье приурочены к разломам, ограничивающим не полностью замкнутые внутриплитные блоки (рис. 4), которые характеризуются разнонаправленными вертикальными перемещениями в системе ITRF.

превышают 1-2 мм/год, за исключением индентора Адриа (Апулийского блока), где они увеличиваются до 4-5 мм/год (Carofali et al., 2008).

Дискретность строения литосферы устанавливается также на западе Евразии в пределах ее пассивных окраин с Атлантическим океаном. Здесь Ю.Г. Гатинским и его коллегами (2007а) была предположительно выделена самостоятельная литосферная плита Северо-Восточной Атлантики, расположенная к востоку от рифта Срединно-Атлантического хребта (рис. 4). Ее остальными ограничениями служат: с юга – Азорская зона разломов в Центральной Атлантике, на северо-востоке – трансформный разлом к югу от Шпицбергена, на востоке – сейсмоактивные разломы на внешнем шельфе Норвегии, на крайнем западе Пиренейского п-ова и зоны слабой сейсмичности к северу от Британских островов, в проливах между Великобританией и Ирландией и в Бискайском заливе. Основанием для выделения этой плиты являются, в первую очередь, отличия векторов GPS в системе ITRF на северо-востоке Атлантического океана и на западе Пиренейского п-ова (30-45° СВ) от преобладающих векторов более восточной части Европы (50-55°). Отметим, что к югу от Азорской зоны разломов в пределах Центральной Атлантики и пассивной окраины Северо-Западной Африки итальянские геофизики по данным GPS также выделяют самостоятельную Марокканскую плиту (Mantovani et al., 2006). Все это позволяет предполагать современную геокинематическую неоднородность строения пассивных окраин Европы и Африки в Атлантическом океане.

Западная граница Северо-Евразийской плиты первоначально проводилась в Центральной Европе по зоне разломов Рейнских грабенов, к западу от которой выделялся ряд самостоятельных блоков (Гатинский, Рундквист, 2004). Однако относительно слабая сейсмичность этой зоны, неполная ограниченность блоков Западной Европы сейсмоактивными разломами и близость векторов GPS в системе ITRF на обоих бортах Рейнских грабенов (рис. 4) привели к необходимости пересмотра положения границы плиты и перенесения ее далее на запад к пассивным окраинам континента (Гатинский и др., 2007а).

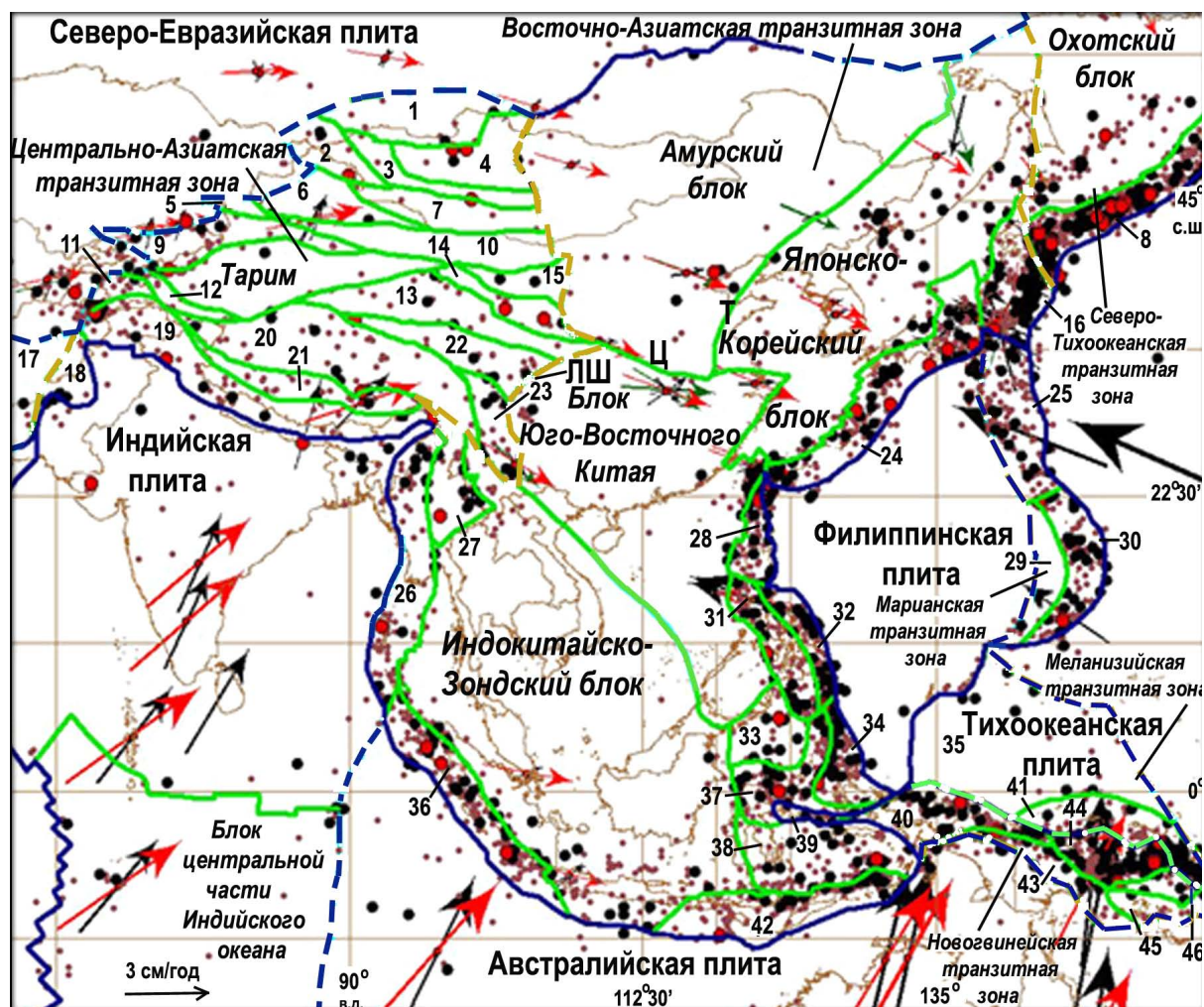
Особенно сложным представляется блоковое строение центральных и восточных районов Евразии. Здесь выделяются две крупные транзитные зоны (рис. 6). Центрально-Азиатская зона расположена между Северо-Евразийской и Индийской литосферными плитами. Она полностью включает в себя треугольник максимальной сейсмической активности Азии (Гатинский, Рундквист, 2004), вершина которого находится в районе оз. Байкал, а основание совпадает с зоной коллизии Индостана и Евразии в Гималаях.

Восточно-Азиатская зона охватывает активные окраины Евразии на границах с Тихоокеанской, Филиппинской, Индийской и Австралийской плитами и прилегающие к ним части Азиатского материка. В пределах этих зон расположены такие крупные блоки, как Тарим, Северный Тибет, Амурский, Японско-Корейский, блок Юго-Восточного Китая и другие. На указанной территории широко проявлена повышенная сейсмичность, имеются многочисленные станции GPS, достаточно полно изучены активные разломы. Почти по диагонали ее пересекает линия российско-китайского геолого-геофизического трансекта GGT 21 (Yuan et al., 2000), а на юге в Гималаях и Тибете проводились комплексные геофизические исследования по международному проекту INDEPTH (Li et al., 2003).

Данные по решениям фокальных механизмов землетрясений на границах блоков Центрально-Азиатской транзитной зоны позволили уточнить тип и направления относительных перемещений вдоль этих границ. Для примера кратко рассмотрим несколько блоков. Блок Тянь-Шань (9 – здесь и далее по тексту в скобках даны номера блоков на рис. 6), кроме преобладающих надвигов, на севере и на юге ограничен левосторонними сдвигами вдоль его границы с Северо-Евразийской плитой. На западе этого блока преобладают надвиги с сопутствующими правосторонними сдвигами, а на востоке вдоль границы с блоком Бейшань (10) – так же правосторонние сдвиги.

Достаточно полно охарактеризованы в отношении сейсмичности ограничения блока Памир (11). На его южной границе глубина гипоцентров достигает наибольших значений в Центральной Азии – 160-240 км, фиксируя в районе Гиндукуша погружение к северу слэба Индийской литосферной плиты. Фокальные механизмы указывают на преобладание надвижения, которое на западе сопровождается локальными левосторонними сдвигами. На северной границе Памира с Северо-Евразийской плитой гипоцентры землетрясений менее глубокие (до 40-80 км) и также преобладает сжатие, но с поддвижением к югу (или надвижением к северу). Надвиги сопровождаются левыми сдвигами на западе и правыми на востоке. На основании изучения сейсмической томографии и реологического моделирования устанавливается более быстрая и близкая к вертикальной субдукция Индийского слэба с юга и более медленная и пологая Азиатского с севера (Negredo et al., 2007).

Более дифференцированной является картина сейсмичности в Гималаях и Тибете. Вдоль северо-западной границы Индийской плиты с блоком Пенджаб (18) наряду с известными левыми сдвигами отмечены локальные надвиги. Внутри Гималаев (19) и на границе этого блока с



**Рис. 6.** Схема блокового строения литосферы Центральной и Восточной Азии и прилегающих акваторий. Светло-коричневый пунктир - границы транзитных зон, остальные обозначения границ и эпицентров землетрясений приведены на рис. 4. Стрелки - векторы горизонтальных движений: красные - GPS2005 в системе ITRF, зеленые - SLR2005 в системе ITRF, черные - относительно принимаемой за стабильную Евразийской N-плиты (для большинства векторов показано положение пунктов измерения). Цифрами обозначены блоки: 1 - Саянский, 2 - Алтайский, 3 - Западно-Монгольский, 4 - Хангай, 5 - Эби-Нур, 6 - Джунгар, 7 - Южно-Гобийский, 8 - Курило-Восточно-Камчатский, 9 - Тянь-Шань, 10 - Бейшань, 11 - Памир, 12 - Западный Тарим, 13 - Цайдам, 14 - Цилян, 15 - Джартай, 16 - Северо-Японский, 17 - Афганский, 18 - Пенджаб, 19 - Гималайский, 20 - Северный Тибет, 21 - Южный Тибет, 22 - Баян-Хар, 23 - Кам-Юньнань, 24 - Рюкю - Центральный Хонсю, 25 - Идзу-Бонинский, 26 - Андаманы - Западная Мьянма, 27 - Шан, 28 - Северный Лусон, 29 - Западно-Марианский, 30 - Восточно-Марианский, 31 - Западно-Филиппинский, 32 - Восточно-Филиппинский, 33 - море Сулавеси, 34 - Хальмахера, 35 - Каролинский, 36 - Ментавайских островов, 37 - Северный Сулавеси, 38 - море Банда, 39 - "шпора" Сула, 40 - Соронг, 41 - Манус, 42 - Тимор, 43 - Центральное Папуа, 44 - архипелаг Бисмарка, 45 - Вудларк, 46 - Соломоново море. Буквами обозначены структуры: ЛШ - разлом Лонгмен Шань, Т - разлом Танлу, Ц - зона Цинлинь.

Индостаном господствуют сжатия, отражающиеся в крупных надвигах, тогда как на границах Южного и Северного Тибета (21 и 20) отчетливо фиксируются правые сдвиги, ранее установленные по геологическим данным. Решения фокальных механизмов указывают на локальные растяжения внутри центральных частей Тибета, отвечающие узким и коротким субмеридиональным зонам. Они соответствуют молодым рифтам, показанным здесь на последних тектонических карт Китая и отвечающим расползанию горного сооружения по широте в процессе коллизии.

Об этом же говорят векторы GPS, рассчитанные по отношению к Евразийской N-плите, принимаемой за стабильную. Они образуют характерный «развал» с отклонением до  $10^\circ$  СВ -  $345^\circ$  СЗ у западного синтаксиса Гималаев в Северо-Западном Тибете и Тянь-Шане и до  $50-70^\circ$  СВ и более у восточного синтаксиса в Юго-Восточном Тибете, Цайдаме и на западе провинции Сычуань Китая (рис. 6). Такой развал векторов и расползание Тибета могут быть связаны с оттоком к западу и востоку корового материала перед фронтом Индостанского субконтинента (Shen et al., 2000),

в том числе, возможно, под влиянием упора жесткой глыбы Тарима.

Анализ векторов GPS дал возможность откорректировать границы ряда блоков на востоке Азии, в первую очередь, Японско-Корейского и Амурского блоков. При этом использовалась модель движения блока как твердого тела, построенная Ю.С. Тюпкиным (Гатинский и др., 2005а). Совпадение скоростей, рассчитанных по этой модели (в пределах эллипсов экспериментальных ошибок), для большинства пунктов ранее выделявшихся блоков Амурского, Ордос и Северо-Китайского с измеренными скоростями подтверждает предположение о малых перемещениях этих блоков относительно друг друга. Поэтому они были нами объединены с проведением новой южной границы Амурского блока по зоне Цинлинь (рис. 6). Такое предположение, по-видимому, справедливо только для современного геокинематического поля Восточной Евразии, поскольку известны заметные голоценовые перемещения по разломам, разделяющим упомянутые блоки. Отмечаемая в работе (Jin et al., 2007) зона растяжения между Амурским и Северо-Китайским блоками со скоростью до 2.4 мм/год может представлять собой локальное внутриблоковое нарушение.

Наряду с Центрально- и Восточно-Азиатской транзитными зонами на восточной окраине Евразии нами выделен ряд других подобных зон, показанных на рисунке 6. Это Северо-Тихоокеанская зона, включающая Охотский, Курило-Восточно-Камчатский и более северные блоки, не вошедшие в рисунок 6, Марианская транзитная зона между Филиппинской и Тихоокеанской литосферными плитами, Меланезийская и Ново-

Гвинейская зоны между Тихоокеанской и Австралийской плитами.

На западе США транзитная зона шириной до 250-300 км охватывает территорию между побережьем Тихого океана и Провинцией Бассейнов и Хребтов. Система разломов Сан-Андреас маркирует региональную трансформную границу между Тихоокеанской и Северо-Американской плитами (рис. 7). Она заложилась около 29 млн. лет назад над «окном» в слэбе Тихоокеанской плиты, образовавшимся при соприкосновении океанического хребта и желоба (Bohannon, Parson, 1995). Эта система непрерывно менялась во времени и в настоящий момент представляет собой совокупность нарушений различного генезиса, размеров и активности, включая как современные сейсмически активные разломы, так и неактивные палеоразломы. На юге Калифорнии этими разломами ограничены мелкие блоки, входящие в состав транзитной зоны и представляющие собой террейны, в различное время причленившиеся к Северо-Американскому континенту (Howell et al., 1985).

Тектонические реконструкции свидетельствуют о том, что сдвиговая система Сан-Андреас постоянно растет в длину, а плоскость главных движений мигрирует на восток, вглубь континента. На начальной стадии эволюции системы приблизительно 29-23 млн. лет назад главный след скольжения располагался у современного основания континентального склона (McCulloch, 1989). Сейчас это неактивный разлом, погребенный под осадочными комплексами в окрестностях современного деформационного фронта. В раннем миоцене (23 млн. лет назад) началась миграция системы на восток вглубь континента. Амери-

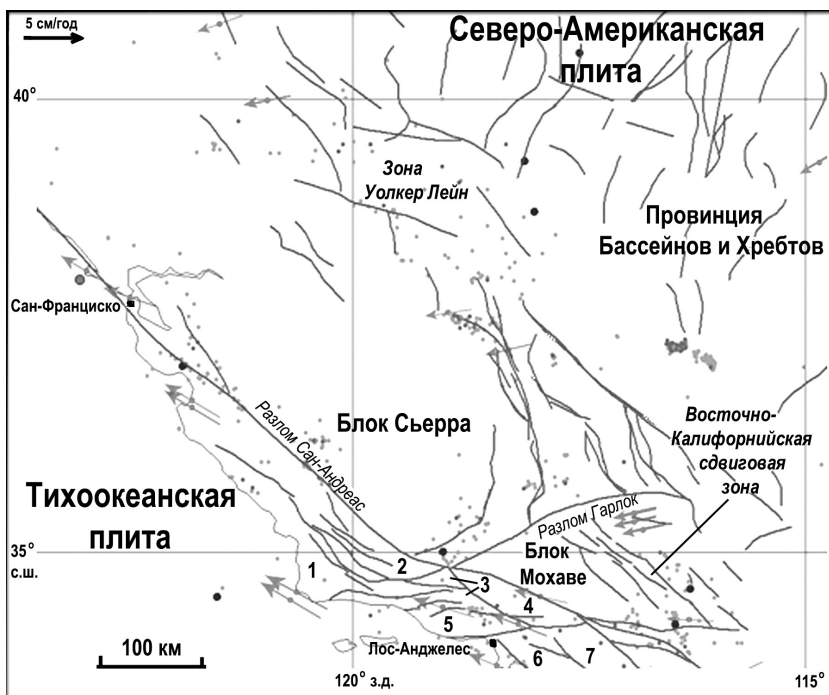


Рис. 7. Схема блокового строения литосферы на западе США по работам (Howell et al., 1985; Jennings et al., 2002). Темно-серые линии – активные разломы. Точками даны эпицентры землетрясений с магнитудой: 8.0-8.9 – серые крупные, 7.0-7.9 – черные, 5.0-6.9 – серые мелкие. Стрелки отвечают векторам горизонтальных движений земной коры по данным GPS в системе ITRF. Цифрами обозначены блоки: 1 – Сан-Симеон, 2 – Салиния, 3 – Стэнли Маунтинз, 4 – Туджунга, 5 – Малибу, 6 – Гуэзеро, 7 – Кортес.



канскими исследователями (Bohannon, Parson, 1995) предполагается следующий механизм, путем которого происходит этот процесс. Около главной плоскости скольжения появляются оперяющие разломы, на которые постепенно переносятся движения, а старые сегменты отмирают. За 29 млн. лет на широте Сан-Франциско миграция разлома на восток составила около 150 км. При этой миграции происходит «захват» блоков континентальной окраины Северо-Американского континента и приращение их к Тихоокеанской плите. Блоки континентальной коры как бы «вовлекаются» в движение подстилающей их океанической Тихоокеанской плиты, присоединяются к ней сверху и становятся ее частью, свидетельством чего служит близость направлений векторов GPS в системе ITRF по обеим сторонам разлома Сан-Андреас при меньших скоростях перемещений к северо-западу на его восточном крыле (рис. 7).

Одной из наиболее крупных оперяющих структур системы Сан-Андреас служит высоко сейсмичная зона активных трансензионных разломов Уолкер Лейн на границе между горами Сьерра-Невада и Провинцией Бассейнов и Хребтов. Растяжение коры в ее пределах проявляется в чередовании хребтов и долин (Wesnousky, 2005). По большинству последних происходят сдвиговые перемещения, сопровождаемые современной гидротермальной и фумарольной активностью, во многих долинах находятся соляные озера. В отличие от находящейся западнее Провинции Бассейнов и Хребтов, где преобладают простые растяжения, хребты в этой зоне изломаны, разбиты на фрагменты, повернутые и смещенные в результате сдвиговых деформаций и вращения мелких блоков.

К югу зона Уолкер Лейн переходит в Восточно-Калифорнийскую сдвиговую зону, с которой связаны недавние сильнейшие землетрясения на западе США – Ландерс, Гектор Майн и другие. По данным GPS, в настоящее время Восточно-Калифорнийская зона перехватывает на себя от 9 до 23% движений, приходящихся на всю систему Сан-Андреас в Южной Калифорнии (Dokka, Travis, 1990). Именно вдоль этой зоны и Уолкер Лейн происходит проработка новой главной плоскости скольжения в обход жесткого блока Сьерра (рис. 7).

### ИНТЕНСИВНОСТЬ СЕЙСМИЧНОСТИ ВНУТРИ ТРАНЗИТНЫХ ЗОН И НА ИХ ГРАНИЦАХ

В пределах Центрально-Азиатской транзитной зоны (рис. 6), как, впрочем, и в большинстве других таких зон, границы между блоками часто выражены не одиночными тектоническими нарушениями, а относительно широкими

межблоковыми зонами, внутри которых происходит интенсивное дробление вмещающих пород. В сейсмогенном отношении межблоковые зоны представляют собой перколяционные структуры, в пределах которых в результате градиента тектонических напряжений, возникающих при процессах деформации, высвобождается значительное количество сейсмической энергии (табл. 1). Относительно неглубокое проникновение этих зон в литосферу подтверждается расположением гипоцентров в подавляющем большинстве случаев на глубине 20–40 км, значительно реже до 80–240 км (Памир). В межблоковых зонах нетрудно видеть определенный аналог транзитных зон, устанавливаемых между крупными плитами, что служит одним из выражений фрактального строения континентальной литосферы.

Анализ сейсмичности, активных разломов и векторов горизонтальных перемещений по данным космогеодезических измерений показал, что в пределах Центрально-Азиатской транзитной зоны количество сейсмической энергии уменьшается с удалением вглубь континента от коллизионного шва между Индостаном и Евразией. Ю.С. Тюпкин выполнил количественный расчет уменьшения плотности энергии землетрясений как функции расстояния от границы Индийской плиты (Гатинский и др., 2005а). При этом было установлено, что с диссипацией энергии коррелирует убывание величины модулей скоростей горизонтальных движений.

Последующее изучение сейсмичности Центрально-Азиатской транзитной зоны выявило, что максимальное количество энергии выделяется в ряде случаев и внутри нее на расстоянии от 500 до 1500 км от коллизионного шва. В этой зоне наиболее активными и, соответственно, потенциально сейсмоопасными, наряду с границами Индийской плиты с блоками Пенджаб (18), Гималаи (19), Андаманы – Западная Мьянма (26), являются межблоковые зоны, ограничивающие блоки Памир (11), Тянь-Шань (9), Баян-Хар (22). Проведенный подсчет высвобождающейся в пределах межблоковых зон Центральной Азии сейсмической энергии подтвердил максимальную активность перечисленных выше структур (табл. 1). Вдоль почти каждой из них выделяется  $\geq 5 \times 10^{22}$  эрг энергии, тогда как для большинства остальных границ эта величина не превышает  $3 \times 10^{19} - 2 \times 10^{22}$  эрг. Подсчет производился по формуле из работы (Kanamori, Anderson, 1975):

$$\log_{10} E_s = a M_s + b, \text{ где } a = 1.5, b = 11.8.$$

Магнитуда ( $M_s$ ) поверхностных сейсмических волн взята из каталога NEIC, начиная с 1966 года, без исключения афтершоков. При этом для каждой межблоковой зоны брались площади, ограниченные линиями примерно по 50 км в обе стороны от границы блоков. Отметим, что эти зоны

БЛОКОВАЯ СТРУКТУРА И ГЕДИНАМИКА КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЛИТОСФЕРЫ

Таблица 1. Сейсмическая энергия межблоковых зон Центральной и Восточной Евразии (в эргах)

№№ п/п	Границы блоков	Энергия	Длина границ, км	Удельная энергия
1.	18 – Индийская плита	<b>6.99689x10**22</b>	1305	<b>5.361x10**19</b>
2.	19 – Индийская плита	<b>2.94412x10**23</b>	3094	<b>9.515x10**19</b>
3.	19 – 21	4.25176x10**22	2120	2.011x10**19
4.	20 – 21	3.60438x10**22	2089	1.731x10**19
5.	11 – 19	<b>5.43111x10**22</b>	532	<b>1.021x10**20</b>
6.	11 – СЕП	<b>7.26692x10**22</b>	504	<b>1.443x10**20</b>
7.	9 – СЕП	<b>5.63879x10**23</b>	1421	<b>3.968x10**20</b>
8.	9 – Тарим	<b>4.84380x10**23</b>	1683	<b>2.877x10**20</b>
9.	12 – 20	5.09880x10**21	560	9.105x10**18
10.	20 - Тарим	6.66723x10**20	377	1.766x10**18
11.	6 – 10	3.77665x10**21	1027	3.638x10**18
12.	1 – СЕП	1.43255x10**22	1212	1.182x10**19
13.	1 – 4	3.85269x10**22	1247	3.088x10**19
14.	14 – 15	2.67997x10**21	909	2.949x10**18
15.	13 – 14	9.83467x10**20	1378	7.139x10**17
16.	13 – 22	<b>6.37592x10**23</b>	1599	<b>3.987x10**20</b>
17.	20 – 22	<b>6.35765x10**23</b>	957	<b>6.642x10**20</b>
18.	22 – 23	<b>9.24193x10**22</b>	540	<b>1.711x10**20</b>
19.	20 - 23	1.02560x10**22	754	1.361x10**19
20.	22 – ЮВ Китай	1.13099x10**22	485	2.334x10**19
21.	23 – ЮВ Китай	5.37525x10**21	680	7.906x10**18
22.	4 - Амурский	1.85598x10**22	636	2.919x10**19
23.	10 – Амурский	1.78121x10**20	247	7.197x10**17
24.	15 – Амурский	6.35668x10**20	504	1.260x10**18
25.	14 – Амурский	<b>2.06124x10**19</b>	414	<b>4.977x10**19</b>
26.	Амурский – Японско-Корейский	<b>6.63646x10**23</b>	3205	<b>2.070x10**20</b>
27.	Амурский – СЕП	3.32561x10**22	2538	1.310x10**19
28.	10 - 15	2.30846x10**20	811	2.847x10**17
29.	9 - 10	7.48248x10**20	767	9.749x10**17
30.	3 - 7	3.72109x10**20	937	3.972x10**17
31.	19 - 26	4.08865x10**21	150	2.726x10**19
32.	26 – Индийская плита	<b>2.44456x10**23</b>	2639	<b>9.262x10**19</b>
33.	26 - 27	<b>4.07267x10**22</b>	886	<b>4.595x10**19</b>
34.	26 – Индокитайско-Зондский	2.74613x10**22	1345	2.042x10**19
35.	26 - 36	<b>1.17155x10**23</b>	297	<b>3.949x10**20</b>
36.	19 - 27	4.47986x19**20	395	1.135x10**18
37.	20 - 27	1.67266x10**20	427	3.920x10**17
38.	27 – Индокитайско-Зондский	<b>8.54442x10**22</b>	1443	<b>5.923x10**19</b>
39.	16 - Японско-Корейский	<b>4.17527x10**23</b>	804	<b>5.193x10**20</b>
40.	24 - Японско-Корейский	<b>1.97364x10**23</b>	2774	<b>7.114x10**19</b>

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения энергии в наиболее сейсмоактивных межблоковых зонах. СЕП – Северо-Евразийская плита. Расшифровка цифровых обозначений блоков приведена в подписи к рис. 6.

выделяются и по максимальной удельной сейсмической энергии на 1 км их длины —  $> 4.5 \times 10^{19}$  эрг (табл. 1). Они же характеризуются максимальным отклонением абсолютных и относительных векторов GPS и других космогеодезических методов (рис. 6) от средних по Евразии (Гатинский и др., 2005а; Саньков и др., 2005). Восточная граница блока Баян-Хар (22), обрамляющегося высоко сейсмичными межблоковыми зонами, совпадает с глобальной структурой - линеаментом 102-103° в.д. (Гатинский и др., 2005б), совпадающим на этом участке с разломом Лонгмен Шань. Этому линеаменту отвечает резкая ступень в коре и во всей литосфере с уменьшением их мощности к востоку, хотя далее на восток под центральной частью блока Юго-Восточного Китая мощность литосферы опять возрастает (рис. 8).

В Восточно-Азиатской транзитной зоне с перечисленными выше границами могут сравниться (кроме Тихоокеанских зон субдукции) только межблоковые зоны, ограничивающие блоки Шан (27) и Японско-Корейский (табл. 1). Западная граница последнего проходит вдоль весьма активного правого сдвига Танлу, входящего в число крупнейших разломов на Земле. Следует подчеркнуть, что общее количество сейсмической энергии межблоковых зон, ограничивающих блок Баян-Хар ( $6.358-6.376 \times 10^{23}$  эрг), практически равно суммарной энергии зоны коллизии на северной границе Индийской плиты ( $\geq 6.096 \times 10^{23}$  эрг) и лишь в 2.5 раза меньше величины энергии одной из самых активных зон субдукции Тихоокеанского кольца — Северо-Японской ( $15.332 \times 10^{23}$  эрг). В то же время оно на порядок превосходит количество энергии менее энергоёмких зон субдукции, например, Южного Рюкю ( $7.913 \times 10^{22}$  эрг). Следовательно, наиболее сейсмоактивные межблоковые зоны Центральной Азии уступают зонам субдукции и коллизии только по глубине своего проникновения в литосферу и подстилающую верхнюю мантию, но весьма близки к ним по величине выделяющейся сейсмической энергии.

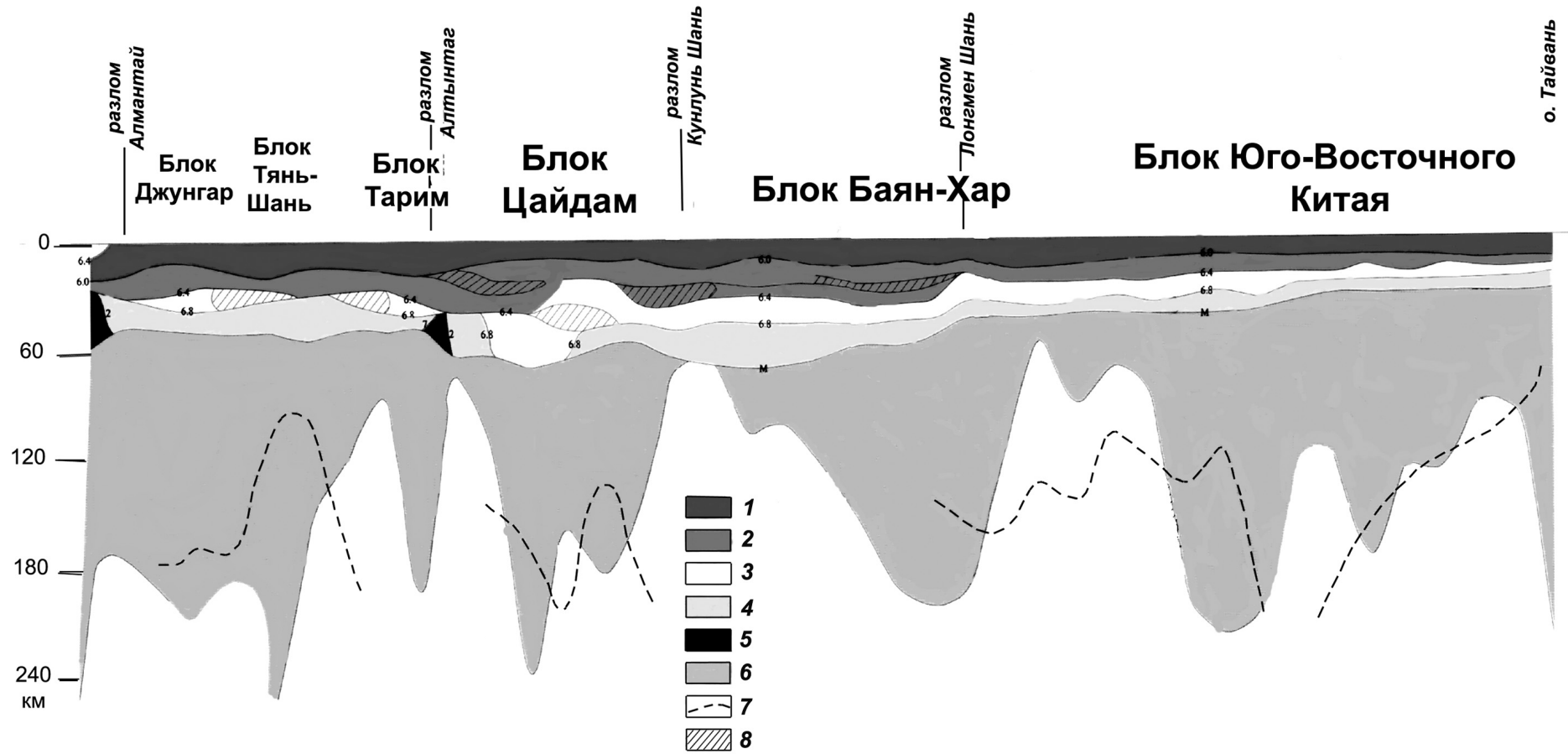
Наряду с перечисленными высокоэнергоёмкими межблоковыми зонами необходимо упомянуть также некоторые другие, удельная сейсмическая энергия которых составляет  $1.0-4.5 \times 10^{19}$  эрг на 1 км. Они расположены на границах блоков Саянского (1), Южного Тибета (21) и вдоль протяженной границы Амурского блока с Северо-Евразийской плитой. Эти зоны, на наш взгляд, также можно считать потенциально сейсмоопасными. Отметим, что в изучаемой части Евразии со многими межблоковыми зонами на территории России, Казахстана, Киргизии, Таджикистана, Монголии, Китая, Индии, Вьетнама и других стран совпадают густона-

селенные районы, многочисленные промышленно важные объекты, пути сообщения и месторождения полезных ископаемых, в том числе крупные и суперкрупные. Это подчеркивает прикладное значение исследований по детализации современной геодинамики транзитных зон Центральной и Восточной Евразии.

## УРОВНИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ БЛОКОВ В ТРАНЗИТНЫХ ЗОНАХ

Геолого-геофизические данные по разным регионам мира свидетельствуют о том, что границы крупных литосферных плит нигде не являются простыми контактами, всегда представляя собой сложно устроенные зоны многоуровневого взаимодействия этих структур. Результаты различных методов геофизического зондирования, включая сейсмотомографию, наряду с изучением мантийных ксенолитов, позволяют предполагать широкий диапазон глубинных уровней, по которым перемещаются блоки в транзитных зонах. Так, в юго-восточной половине геолого-геофизического трансекта GGT 21, пересекающего всю Евразию от Баренцева моря до Тайваня (Yuan et al., 2000), можно видеть, что такие блоки, как Джунгар (6), Тянь-Шань (9) и ряд других имеют, несомненно, коровую природу и не выделяются на литосферном уровне (рис. 8). Поэтому вполне закономерно, что 95% землетрясений Тянь-Шаня происходит в верхних 20 км земной коры. По мнению В.Е. Хаина и Н.А. Яблонской (1997), это подтверждает возрождаемые в последнее время идеи Э. Аргана о тектонических срывах в подошве и внутри коры. В то же время такие блоки, как Тарим, Цайдам (13), Баян-Хар (22) и особенно блок Юго-Восточного Китая, судя по данным GGT 21, обладают отчетливыми мощными литосферными корнями до глубин 180-240 км. Такие же корни (до 170-200 км) устанавливаются для центральных частей Амурского блока (Мальшев и др., 2007; Леви, 2008). Отметим, что именно эти блоки характеризуются повышенной жесткостью и наиболее слабой деформированностью (Гатинский и др., 2005а).

Можно думать, что вещество литосферы в транзитных зонах находится на разных глубинах в квазипластичном состоянии. Об этом говорят результаты исследований по программе INDEPTN в Гималаях и Тибете, где при магнитотеллурическом зондировании выявлены слои высокой электропроводности, отвечающие предположительно частично расплавленным горизонтам на глубинах 20-25 км (Li et al., 2003). С возможными вариациями реологических свойств пород в глубинных зонах надвигов в районе Тибета и Гималаев ряд исследователей связывает



**Рис. 8.** Геофизические характеристики литосферы вдоль юго-восточной половины трансекта GGT 21 Арктика – Евразия – Тихий океан (Yuan et al., 2000): 1 – верхняя часть верхней земной коры, 2 – нижняя часть верхней коры, 3 – средняя кора, 4 – верхняя часть нижней коры, 5 – нижняя часть нижней коры, 6 – термальная литосфера (LID), 7 – электромагнитная литосфера, 8 – низкоскоростные слои в коре. Цифры отвечают скоростям S-волн в км/сек. Вертикальный масштаб увеличен по отношению к горизонтальному примерно в 7 раз. М – раздел Мохо.

расхождения в оценке скоростей перемещения блоков по этим разломам (Ismail-Zadeh et al., 2007).

По данным сейсмотомографии низко-скоростные волноводы установлены на отдельных участках под блоками Тарим и Баян-Хар на глубинах 20-30 км и под Джунгаром и Тянь-Шанем на 35-45 км. Под Цайдамом такие волноводы, в пределах которых предполагается частичное плавление пород коры, присутствуют на обоих упомянутых уровнях (см. рис. 8). Косвенным свидетельством квазипластичного состояния вещества в транзитных зонах служит также установление вихреобразных структур в литосфере Евразии (Мирлин, 2006), подтверждаемых данными GPS в Альпах, на севере Эгейского блока, на Аравийском полуострове и в районах обоих синтаксисов Гималаев (Гатинский и др., 2005а, 2007а).

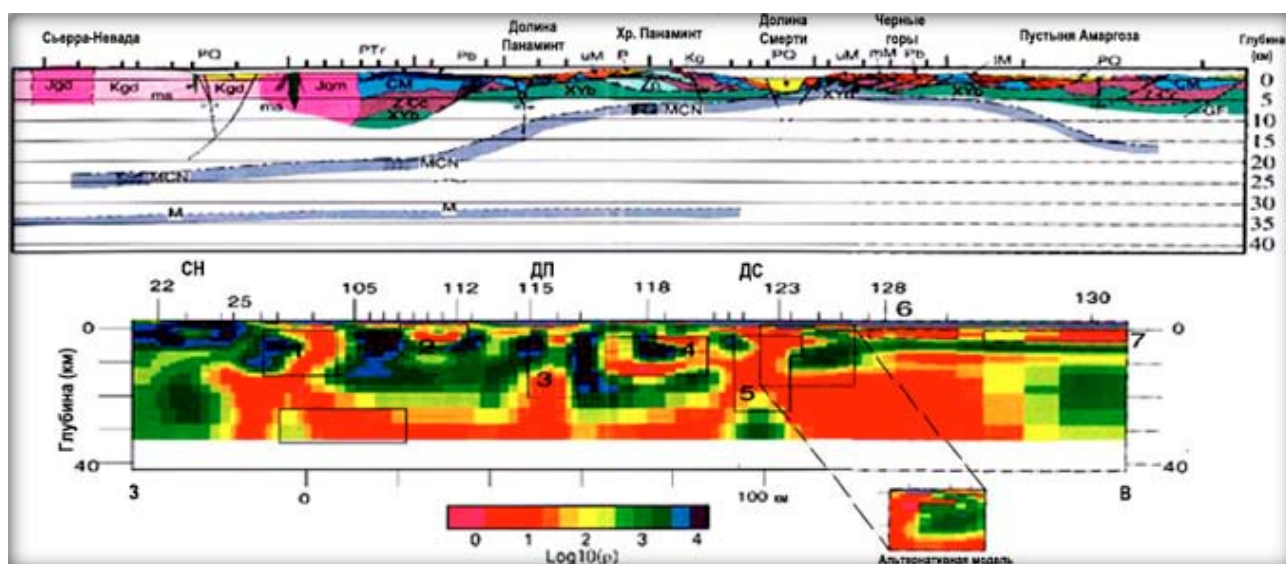
Плотностные, сейсмо- и электрогеологические сечения вкрест системы разломов Сан-Андреас (Fuis, 1998; Park, Wernicke, 2003; Romanuyk et al., 2007) показывают, что ни в одном из них контакт между Тихоокеанской и Северо-Американской плитами не представляет собой единой близ вертикальной разломной зоны, пересекающей всю литосферу. Такая зона с хрупкой реологией прослеживается по комплексу геофизических данных только до глубин 15-20 км, упираясь далее в вязкий слой, который отделен от хрупкого верхнего слоя тектоническим срывом (детachment). Детachment определяется по специфическим зонам сильных отражений на монтажах сейсми-

ческих волн и низких сопротивлений на геоэлектрических разрезах (рис. 9), совпадающих с нижней границей современной сейсмичности и зоной выполаживания коровых листрических разломов. Иногда он проходит по подошве коры, но чаще располагается внутри нее. Выше detachment коровые деформации в транзитной зоне реализуются преимущественно в виде сдвигового проскальзывания блоков коры различных размеров, тогда как под ним осуществляются в пластической или вязкой моде и имеют диффузный рассредоточенный по объему характер.

Таким образом, уровни перемещения блоков в транзитных зонах на границах главных литосферных плит имеют различную глубину и характеризуют расслоенность континентальной литосферы, впервые установленную в работах А.В. Пейве (1980) и его коллег в ГИН РАН.

## ВЫВОДЫ

Разнообразие участков проявления дискретности континентальной литосферы в краевых частях главных плит можно охарактеризовать несколькими параметрами (табл. 2). К ним относятся геодинамические обстановки, мощность коры, характеристики ее сейсмичности и латеральной подвижности по данным космогеодезических измерений. Наиболее высокие скорости горизонтальных перемещений блоков присущи транзитным зонам на конвергентных и трансформных границах литосферных плит (30-60 мм/год и более, особенно на активных окраинах). Примерами являются



**Рис. 9.** Геолого-геофизический разрез (вверху) и геоэлектрическая модель строения зоны Уолкер Лейн на сочленении хр. Сьерра-Невада и Провинции Бассейнов и Хребтов по (Park, Wernicke, 2003). Участки пониженных сопротивлений ( $\rho \leq 2$ ) отвечают наклонным detachment в коре (MCN на верхнем разрезе), выше которых кора имеет хрупкие свойства и проявлены вращения блоков. Ниже detachment преобладают вязкие и пластические деформации. М – раздел Мохо. На геоэлектрической модели СН – Сьерра-Невада, ДП – Долина Панаминт, ДС – Долина Смерти. Буквенные аббревиатуры на верхнем разрезе отвечают геологическим индексам разновозрастных комплексов и различных блоков в коре по данным сейсмического зондирования.

Таблица 2. Основные участки развития современной дискретности континентальной литосферы

Геодинамическая позиция	Мощность земной коры (км)	Сейсмичность	Скорости горизонтальных перемещений блоков (мм/год)	Примеры
Конвергентные границы плит на активных окраинах	25-40	Весьма высокая	30-60	Восточная активная окраина Евразии
То же в зонах коллизии	50-70	Высокая	20-40	Средиземноморский – Гималайский пояс
Дивергентные границы плит в пределах континентов	20-35	Умеренная	4-20	Восточно-Африканская рифтовая система
Трансформные границы плит	25-55	Весьма высокая	20-60	Западная окраина Северной Америки
«Пассивные» окраины континентов	16-23	Низкая	10-25	Северо-Восточная Атлантика

Восточно-Азиатская транзитная зона на активной окраине Евразии и транзитная зона вдоль разлома Сан-Андреас на западной окраине Северо-Американской плиты. Они характеризуются примерно одинаковой мощностью коры (25-40, реже до 55 км) и высокой сейсмичностью.

Большей шириной и раздробленностью на более мелкие блоки отличаются транзитные зоны в областях коллизии континентов (Центрально-Азиатская и Альпийско-Иранская зоны), но для них при более высокой мощности коры (до 70 км) отмечены меньшие скорости современных горизонтальных перемещений (20-40 мм/год). Сейсмичность здесь несколько слабее по сравнению с предыдущими зонами. Еще более умеренная сейсмичность и низкие скорости движения блоков (4-12 мм/год) характерны для дивергентных границ плит в пределах континентов, примером которых служит Восточно-Африканская рифтовая система. По-видимому, наименее активными и энергоёмкими являются транзитные зоны, проходящие вдоль пассивных окраин литосферных плит, в частности, на европейской окраине Северо-Восточной Атлантики (Гатинский и др., 2007а, Мирлин, 2006) и на побережье моря Лаптевых, где Ю.Г. Гатинским и его коллегами (2005а) была выделена Усть-Ленская транзитная зона. На таких окраинах преобладают внутриплитные нарушения, ограничивающие не полностью замкнутые блоки.

Для Центральной и Восточной Азии установлено повышенное выделение сейсмической энергии в относительно узких межблоковых зонах, находящихся на относительно удалении от современных зон коллизии и субдукции. Мы полагаем, что это связано со значительной жесткостью и особенностями глубинного строения отдельных блоков, что вызывает их неадекватную

реакцию на воздействие тектонических напряжений в транзитных зонах. Блоки с наиболее мощными литосферными корнями (Юго-Восточного Китая, Амурский) представляют собой наиболее жесткие и слабо деформированные структуры. Эта проблема требует дальнейшего рассмотрения, как и более детальное определение глубинных уровней, по которым происходит перемещение блоков.

Настоящая работа выполнена при поддержке грантов ОНЗ РАН (программа № 6 «Геодинамика и механизмы деформирования литосферы») и РФФИ (№ 06-05-64866). Авторы признательны В.А. Рашидову, В.А. Санькову и Г.А. Соболеву за полезные советы и замечания при подготовке рукописи к печати.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В. Геодинамика Евразии – тектоника плит и тектоника блоков // Геотектоника. 2004. № 1. С. 3-20.
- Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В., Тюпкин Ю.С. Блоковая структура и кинематика Восточной и Центральной Азии по данным GPS // Геотектоника. 2005а. № 5. С. 3-19.
- Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В., Черкасов С.В. Геораздел 102-103° на востоке Азии: структурные и металлогенические признаки // Материалы 38-го Тектонического совещания. М.: ГЕОС. 2005б. Т. 1. С. 127-130.
- Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В., Тюпкин Ю.С. Блоковые структуры и кинематика Западной Евразии по данным GPS // Геотектоника. 2007а. № 1. С. 30-42.
- Гатинский Ю.Г., Булов С.В., Владова Г.Л. и др. Дискретность строения литосферы континентов на границах плит // Материалы 40-го

- Тектонического совещания. М.: ГЕОС. 2007б. Т. 1. С. 160-163.
- Леви К.Г.* Карта неотектоники северо-восточного сектора Азии. Иркутск: Институт земной коры СО РАН. 2008.
- Мальшев Ю.Ф., Подгорный В.Я., Горнов П.Ю.* Трехмерная модель Амурской литосферной плиты // Материалы 40-го Тектонического совещания. М.: ГЕОС. 2007. Т. 2. С. 3-5.
- Мирлин Е.Г.* Проблема вихревых движений в «твердых» оболочках Земли и их роли в геотектонике // Геотектоника. 2006. № 4. С. 43-60.
- Пейве А.В.* Глубинные разломы // Тектоника в исследованиях Геологического института АН СССР. 1980. М.: Наука. С. 95-122.
- Саньков В.А., Леви К.Г., Лухнев А.В., Мирошниченко А.И.* Современные движения литосферных блоков Центральной Азии по данным GPS-геодезии // Актуальные вопросы современной геодинамики Центральной Азии / Под ред. Леви К.Г., Шермана С.И. 2005. Новосибирск: изд-во СО РАН. С. 165-179.
- Трифонов В.Г.* Неотектоника Евразии. М.: Научный мир, 1999. 252 с.
- Трифонов В.Г., Соболева О.В., Трифонов Р.В., Востриков Г.А.* Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизионного пояса. М.: ГЕОС, 2002. 225 с.
- Хаин В.Е., Яблонская Н.А.* Структурный анализ рисунков Альпийско-Гималайского и Центрально-Азиатского горных поясов как отражение верхнекоровых упруго-пластических деформаций // Докл. РАН. 1997. Т. 353. № 5. С. 655-658.
- Bennet R.A., Hreinsdóttir S.* Constraints on vertical crustal motion for long baselines in the central Mediterranean region using continuous GPS // Earth and Planet. Sci. Lett. 2007. V. 257. № 3-4. P. 419-434.
- Bird P.* An Updated Digital Model of Plate Boundaries // Geochem. Geophys. Geosystems. 2003. № 4 (3). 1027; doi: 10.1029/2001GC000252.
- Bohannon R.G., Parson T.* Tectonic implications of post-30 Ma Pacific and North American relative plate motion // Bull. Geol. Soc. Amer. 1995. V. 107. № 8. P. 937-959.
- Caporali A., Aichhorn C., Becker M. et al.* Geokinematics of Central Europe: New insights from the CERGOP-2/Environment Project // J. Geodynamics. 2008. V. 45. № 4-5. P. 246-256; doi:10.1016/j.jog.2008.01.004.
- Dokka R.K., Travis C.J.* Role of the eastern California shear zone in accommodating Pacific – North American plate motion // Geophys. Res. Lett. 1990. № 17. P. 1323-1326.
- Fuis G.S.* West margin of North America – A synthesis of recent seismic transects // Tectonophysics. 1998. V. 288. P. 265 – 292.
- Gordon R.G.* The plate tectonic approximation: plate nonrigidity, diffuse plate boundaries, and global plate motions // Ann. Revs. Earth Planet. Sci. 1998. V. 26. P. 615–642.
- Howell D.G., Jones D.L., Schermer E.R.* Tectonostratigraphic terranes of the Circum-Pacific Region // Tectonostratigraphic terranes of the Circum-Pacific Region / Ed. Howell D.G. 1985. Houston, U.S.A.: Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Science Series, 1. P. 3-30.
- Ismail-Zadeh A., Le Mouél J.-L., Soloviev A. et al.* Numerical modeling of crustal block-and-fault dynamics and slip rates in the Tibet – Himalayan region // Earth and Planet. Sci. Lett. 2007. V. 258. № 3-4, P. 465-485.
- Jennings C. W., Saucedo G. J., Topozada T., Branum D.* Simplified fault activity map of California // 2002. California Geological Survey. Map Sheet 54.
- Jin S., Zhu W.* A revision of the parameters of the NNR-NUVEL-1A plate velocity model // J. Geodynamics. 2004. V. 38. P. 85–92.
- Jin S., Park P.-H., Zhu W.* Micro-plate tectonics and kinematics in Northeast Asia inferred from a dense set of GPS observations // Earth and Planet. Sci. Lett. 2007. V. 257. № 3-4. P. 486-496.
- Kanamori H., Anderson D.L.* Theoretical basis of some empirical relations in seismology // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1975. V. 65. P. 1073-1095.
- Le Pichon X., Chamot-Rooke N., Lallemand S. et al.* Geodetic determination of the kinematics of central Greece with respect to Europe: implications for eastern Mediterranean tectonics // J. Geophys. Res. 1995. V. 100. P. 12675-12690.
- Li S., Unsworth M.J., Booker J.R. et al.* Partial melt or aqueous fluid in the mid-crust of Southern Tibet? Constraints from INDEPTH magnetotelluric data // Geophys. J. Intern. 2003. V. 153. № 2. P. 289-304.
- Mantovani E., Viti M., Babbucci D. et al.* Recent/Present Africa – Eurasia kinematics: different approaches and different results. Why? // WEGENER 2006, Geodesy of the Mediterranean, 4-7 Sept. 2006, Nice, France. CD-ROM.
- McCulloch D.S.* Evolution of the offshore central California margin // The eastern Pacific Ocean and Hawaii / Eds. Winterer E.L., Hussong D.M., Decker R.W. 1989. Boulder, Colo., U.S.A.: The Geology of North America, Geological Society of America. P. 439-470.
- Negredo A.M., Replumaz A., Villaseñor A., Guillot S.* Modeling the evolution of continental subduction processes in the Pamir – Hindu Kush region // Earth and Planet. Sci. Lett. 2007. V. 259. № 1-2. P. 212-225.
- Nocquet J.-M., Calais E.* Crustal velocity field of Western Europe from permanent GPS array solutions 1996–2001 // Geophys. J. Int. 2003. V. 154. P. 72–88.

- Nocquet J.-M., Willis P., Garcia S.* Plate kinematics of Nubia – Somalia using a combined DORIS and GPS solution // WEGENER 2006, Geodesy of the Mediterranean, 4-7 Sept. 2006, Nice, France. CD-ROM.
- Park S.K., Wernicke B.* Electrical conductivity images of Quaternary faults and Tertiary detachment in the California Basin and Range // *Tectonics*. 2003. V. 22. № 4. 1030; doi: 10.1029/2001TC001324.
- Reilinger R., McGlusky S., Vernant P.* Active tectonics of the Africa – Arabia – Eurasia continental collision zone // WEGENER 2006, Geodesy of the Mediterranean, 4-7 Sept. 2006, Nice, France. CD-ROM.
- Romanyuk T.V., Mooney W.D., Detweiler S.* Two lithospheric profiles across southern California derived from gravity and seismic data // *J. Geodynamics*. 2007. V. 43. P. 274-307.
- Shen Z., Zhao C., Yin A. et al.* Contemporary crustal deformation in East Asia constrained by Global Positioning System measurements // *J. Geophys. Res.* 2000. V. 105. № B3. P. 5721–5734.
- Stein S., Sella G.F., Okal E.A.* The January 26, 2001 Bhuj earthquake and the diffuse western boundary of the Indian Plate // *Plate Boundary Zones* / Eds. Stein S., Freymueller J.T. 2002. Washington, D.C.: Am. Geophys. Union, Geodynamics Series, 30. P. 243–254.
- Wesnowsky S.G.* The San Andreas and Walker Lane fault systems, western North America: transpression, transtension, cumulative slip and the structural evolution of a major transform plate boundary // *J. Structural Geology*. 2005. V. 27. P. 1505-1512.
- Wiens D. A., DeMets C., Gordon R. G. et al.* A diffuse plate boundary model for Indian Ocean tectonics // *Geophys. Res. Lett.* 1985. V. 12. P. 429-432.
- Wortel M.J.R., Spakman W.* Subduction and slab detachment in the Mediterranean – Carpathian Region // *Science*. 2000. V. 290. P. 1910-1917.
- Yuan Xuecheng, Egorov A.S., GEMOC.* A short introduction to Global Geoscience Transect 21: Arctic Ocean – Eurasia – Pacific Ocean // *Science Press*. 2000. 32 p.

## BLOCK STRUCTURE AND GEODYNAMICS OF CONTINENTAL LITHOSPHERE IN PLATE BOUNDARIES

**Yu.G. Gatinsky<sup>1</sup>, D.V. Rundquist<sup>1</sup>, G.L. Vladova<sup>2</sup>, T.V. Prokhorova<sup>2</sup>, T.V. Romanyuk<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Vernadsky State Geological Museum, Russian Academy of Sciences, Moscow, 125009*

<sup>2</sup>*International Institute of Earthquake Forecast and Mathematic Geophysics, Russian Academy of Sciences, Moscow, 117997*

<sup>3</sup>*Shmidt Institute of the Earth Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, 123810*

Division of the Earth lithosphere on large plates must be considered only as the first and most general approximation in its structure hierarchy. Some transit zones take place in lithosphere plate boundaries. The tectonic tension of plate interaction is transferred and relaxed within these zones, which consist of blocks limited by seismoactive faults. Vectors of block horizontal displacements often don't coincide with vectors of main plates and change together with changing block rigidity. As a rule the intensity the seismic energy at plate and transit zone boundaries decreases linearly with distancing from these boundaries and correlates with decreasing of velocities of block horizontal displacements. But sometimes the maximum of the energy manifestation takes place in inner parts of transit zones (Pamir, Tien Shan, and the west part of U.S.A.). Some relatively tight interblock zones established in central and east Asia are the most seismically active. They limited such blocks as Pamir, Tien Shan, Bayanhar, Shan, Japanese-Korean, as well as the north boundary of the Indian Plate. A seismic energy intensity of these zones can be compared with the energy of Pacific subduction zones. A level of block displacement is situated mainly in the bottom or inside the Earth crust, more rare in the lithosphere mantle. Blocks with the most thick lithosphere roots (SE China, Amurian) are the most rigid and weakly deformed.