

ИЕРАРХИЯ ЗОННО-БЛОКОВОЙ СТРУКТУРЫ ЛИТОСФЕРЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ВОСТОЧНОЙ АЗИИ

К.Ж. Семинский

Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

Представлены результаты анализа размеров подвижных зон и блоков, составляющих структуру литосферы в локальном (северо-восточная часть Приольхонья в Зап. Прибайкалье), региональном (Прибайкалье) и глобальном (Центральная и Восточная Азия в целом) масштабах. В связи с единообразным подходом к построению исходных карт уточнена выявленная М.А. Садовским ранговая последовательность для блоков, установлены ранги подвижных зон и на основе их сопоставления выделены и количественно охарактеризованы 11 объективно существующих уровней иерархии в зонно-блоковой структуре литосферы Центральной и Восточной Азии.

Зонно-блоковая структура, подвижная зона, блок, разлом, литосфера, Центральная и Восточная Азия.

HIERARCHY IN THE ZONE-BLOCK LITHOSPHERIC STRUCTURE OF CENTRAL AND EASTERN ASIA

K.Zh. Seminsky

The lithospheric structure in Asia has been analyzed in terms of sizes of blocks and mobile zones between them on local (northeastern Ol'khon area in western Baikal region), regional (Baikal region), and global (Central and Eastern Asia) scales. A single approach to reference mapping was used to update Sadovskii's hierarchy of blocks and to rank the mobile zones. According to the updated model, the lithospheric structure of Central and Eastern Asia includes eleven hierarchic levels.

Zone-block structure, mobile zone, block, fault, lithosphere, Central and Eastern Asia

ВВЕДЕНИЕ

Большинство специалистов, изучающих различные по масштабам объемы литосферы, считают ее иерархической структурированной средой, состоящей из блоков, окруженных зонами пониженной (вследствие раздробленности) вязкости субстрата. Данная модель строения твердой оболочки Земли в наиболее общем виде предложена М.А. Садовским с соавторами [Садовский и др., 1987а], которые, с одной стороны, учли при ее создании представления тектонистов о блоковом (дискретном) строении литосферы, а, с другой, — выдвинули в качестве одной из главных задач дальнейших исследований по проблеме детальное изучение структурированности геофизической среды на разных масштабных уровнях. Вместе с тем последующие разработки показали, что понятия о каждом из двух главных элементов структуры литосферы (блоки и зоны) у отдельных специалистов существенно различаются. Наибольшие разногласия характерны для понимания зон, которые в литературе обозначаются различными терминами (деформационная, деструктивная, контактная, мобильная, межгеоблоковая, разломная и др.), а по поперечным размерам считаются малыми [Гласко, Ранцман, 1995; Shebalin et al., 2002; Кострюченко и др., 2002; Курленя и др., 2005] или, наоборот, имеют значимую или значительную ширину [Красный, 1984; Шерман и др., 1999; Семинский, 2001; Гольдин, 2002; Гатинский, Рундквист, 2004] по отношению к блокам. В связи с этим схемы делимости, составленные даже для одних и тех же сегментов земной коры или литосферы, имеют разный имидж, а проведенные по ним параметрические оценки трудно сопоставимы.

Целью данного исследования было выявить и количественно охарактеризовать объективно существующие уровни иерархии в структуре литосферы Центральной и Восточной Азии, сформировавшиеся в течение последней (новейшей) эпохи тектогенеза. Для этого решались следующие задачи:

на основе единых представлений о главных элементах деструкции литосферы — зонах и блоках — составить схемы ее делимости для трех разных масштабов исследования (глобального, регионального и локального);

провести количественный анализ размеров зон и блоков, оценить соотношения между ними с последующим выделением рангов, а затем — иерархии делимости литосферы Азии.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ КАРТ ЗОННО-БЛОКОВОЙ СТРУКТУРЫ

В рамках проведенного исследования зоны контактирования блоков именовались нейтральным термином «подвижная» ввиду их различной выраженности, обусловленной разнообразием сил и процессов, вызывающих структурообразование. В этой связи принципиальное значение имеет соблюдение единства подхода к выделению границ подвижных зон как методической основы изучения структуры литосферы и земной коры. Очевидно, что в полях проявления упругих, пластических или разрывных деформаций одна и та же зона будет характеризоваться разными размерами. В ходе данного исследования границы подвижных зон устанавливались по высокой плотности разрывов (разломов или трещин) и других проявлений активной деструкции (землетрясения, вулканизм и др.), возникающих при контактировании смежных блоков.

Выбор для выделения подвижных зон «хрупкой» составляющей происходящей в их пределах деформации обусловлен несколькими причинами. Прежде всего она наиболее удобна для сравнительно быстрого оконтуривания подвижных зон, что важно для решения задач данного исследования, когда требуется провести единообразную оценку параметров структурных элементов на разных масштабных уровнях. В качестве основы для анализа могут использоваться карты разломов существенно разных по размерам территорий, детальность составления которых объективно ограничивает интервал рангов подвижных зон, изучаемых в каждом конкретном случае. Анализ в контексте проводимого исследования полей упругой или пластической деформаций представляется в настоящее время трудно выполнимым, так как даже в идеальных условиях лабораторного эксперимента критерии и способы выделения границ их распространения представляют достаточно сложную задачу.

Кроме того, поля распространения разрывов и связанных с ними землетрясений достаточно полно (в параметрическом отношении) представляют объект данного исследования, т.е. подвижные зоны, сформировавшиеся на последнем этапе тектогенеза и, таким образом, отражающие картину делимости литосферы в наименее измененном виде. В пределах, доступных для непосредственного анализа верхних частей земной коры, эти зоны проявляются как полосы распространения разрывов разной ориентировки и протяженности, смещения по которым в совокупности приводят к сжатию, сдвигу и растяжению деформируемого в зоне субстрата. Наиболее крупные из таких структур в зарубежной литературе именуются разломными системами: «thrust system», «strike-slip fault system» и «extensional fault system» [Park, 1997]. У нас для обозначения разноранговых структур подобного типа принят термин «разломная зона», но не в узком (как зона проявления тектонитов), а в его широком тектонофизическом понимании [Шерман и др., 1991; Семинский и др., 2005].

В наиболее общем случае приповерхностную структуру подвижной зоны, развивающейся на новейшем этапе эволюции литосферы, образуют протяженные разломы с оперением, совокупные подвижки по которым составляют большую часть смещения по зоне в целом. При меньшей локализованности возрастет роль псевдопластической деформации, осуществляющейся за счет многочисленных подвижек по сравнительно небольшим разрывам. Следовательно, и в подобной ситуации границы зон проявления существенной деформации (разрывной и псевдопластической) могут быть выделены путем анализа распространения разрывов и связанных с ними землетрясений. Случай низкой локализации деформации, осуществляющейся в протяженной и широкой зоне за счет смещений по густой сети мелких разрывов (которая не может быть изучена по карте разломной тектоники соответствующего для выделения этой зоны масштаба), по-видимому, не очень типичен для условий деструкции в хрупкой, структурно неоднородной коре. По крайней мере, установление в результате представленного здесь исследования строгой иерархичности в структуре литосферы оказалось бы вряд ли возможным, если бы в результате выбранного способа выделения подвижных зон их существенная часть осталась невыявленной.

Исследования проводились на базе трех масштабов (1:15 000 000, 1:2 500 000 и 1:100 000), что позволило охватить единообразными построениями максимально широкий диапазон размеров подвижных зон и блоков. Как показал опыт картирования зон [Семинский, 1994, 2001, 2005; Шерман и др., 2000; Актуальные..., 2005], их поперечные размеры в континентальных условиях деформации значимы по отношению к размерам контактирующих блоков, что послужило основанием считать выявленную структуру не «блоковой» или «разломно-блоковой», а «зонно-блоковой» [Семинский, 2001].

На рис. 1, А представлена карта Центральной и Восточной Азии, отражающая зонно-блоковую структуру литосферы в наиболее мелком масштабе исследований. Методика построения карты аналогична реализованной ранее при анализе делимости литосферы в пределах южной части рассматриваемой территории [Семинский, 2001]. В качестве основы для исследований использовалась разломная сеть с «Международной тектонической карты мира» [International..., 1984], анализ которой начинался с выявления наиболее протяженных непрерывных сместителей. В подавляющем большинстве случаев каждый из них сопровождается серией близко расположенных, часто субпараллельных, более коротких сопутствующих разломов, которые и составляют внутреннюю структуру выделяемой подвижной зоны. Проведение внешних границ зон для сейсмически-активных территорий контролировалось по карте

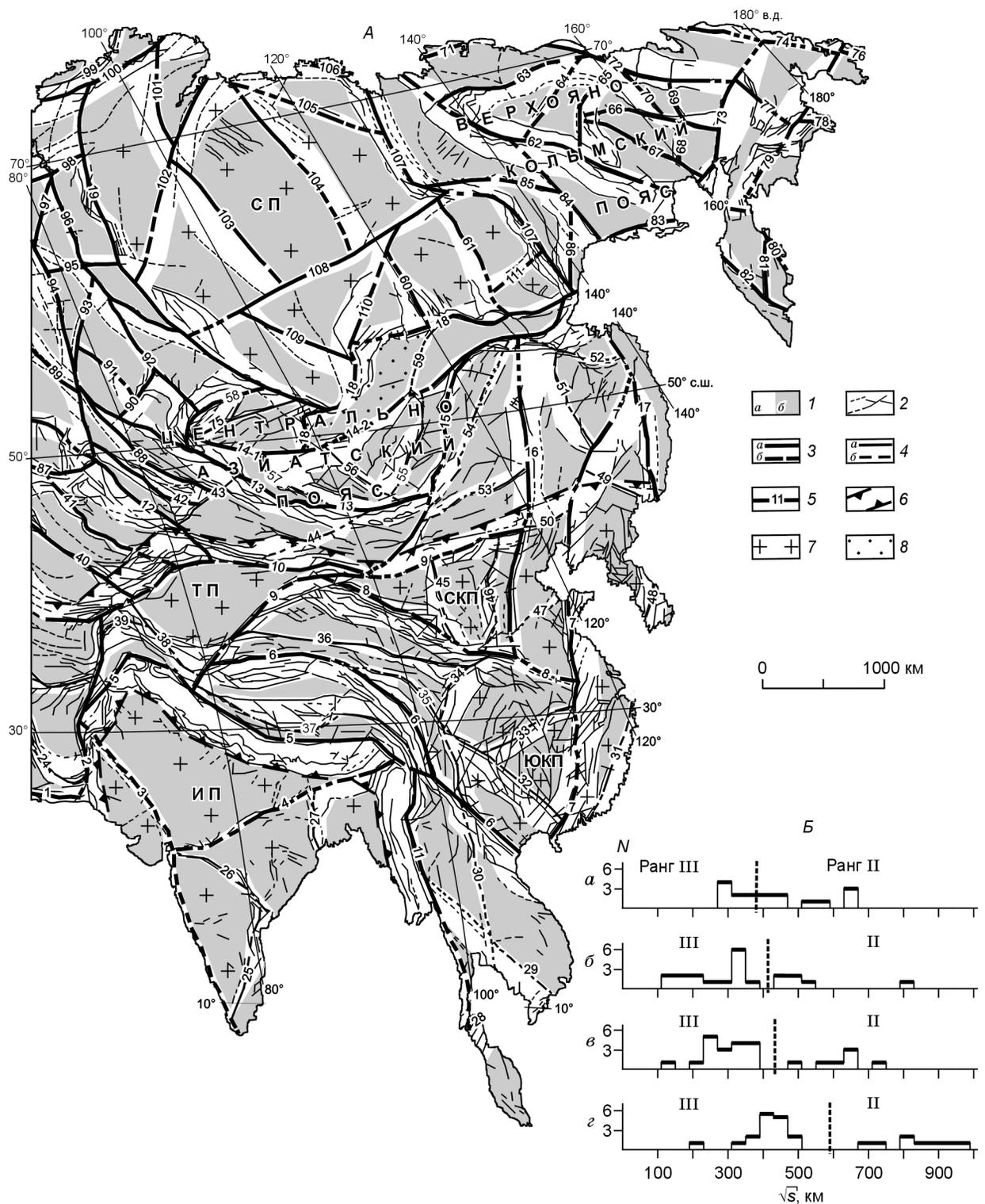


Рис. 1. Характеристика зонно-блоковой структуры литосферы Центральной и Восточной Азии.

А — карта зонно-блоковой структуры. *Б* — гистограммы среднегеометрических размеров (\sqrt{s}) подвижных зон для Сибирской и Индостанской древних платформ (*а*), Верхояно-Колымского (*б*) и Центрально-Азиатского (*в*) складчатых поясов, а также Гималайской зоны взаимодействия Евразийской и Индо-Австралийской литосферных плит (*г*).

1 — площади, занимаемые подвижными зонами (*а*) и блоками (*б*); *2* — разломы по [International..., 1984] (штриховая линия — предполагаемое положение); *3, 4* — оси подвижных зон II (*3*) и III (*4*) рангов, совпадающие (*а*) и несовпадающие (*б*) с разломами; *5* — нумерация подвижных зон; *6* — границы Гималайской зоны взаимодействия Евразийской и Индо-Австралийской литосферных плит; *7* — территории Сибирской (СП), Таримской (ТП), Северо-Китайской (СКП), Южно-Китайской (ЮКП) и Индостанской (ИП) древних платформ; *8* — блок, строение которого изучалось в более крупном масштабе.

М.Л. Зобак [Zoback, 1992] путем анализа площадного распределения сильных землетрясений. В спорных случаях привлекалась дополнительная информация из публикаций, посвященных активным разломам конкретных регионов. В целом отраженная на карте зонно-блоковая структура соответствует последней эпохе тектогенеза, так как при выделении зон анализировалось распределение эпицентров землетрясений, а также разломов, которые в пределах подвижных поясов, согласно [Копп, 1997], были в той или иной степени активизированы в новейшее время. В меньшей степени это, по понятным причинам, относится к платформенным регионам (Сибирская, Южно-Китайская платформы), где достоверность выделения зон снижена, что, как будет показано далее, отражается и на количественных параметрах зонно-блоковой структуры.

Блоки контактируют по достаточно широким зонам (см. рис. 1, А), внутренняя структура которых находится на разных стадиях развития [Семинский, 2003], т.е. представлена серией сравнительно коротких разломов, которые либо развиваются самостоятельно (ранние стадии разломообразования), либо опережают единый сместитель (Инд-Цангпо, Айлао-Шан, Алтын-Таг, Гиссаро-Кокшаальский, Тань-Лу, Чаман-Мокур и др.), являющийся в этом случае реальной границей блока (поздние стадии разломообразования). Тщательный анализ сочленений подвижных зон (в свете их различной выраженности на разных стадиях развития), проведенный для рассматриваемой карты и представленных ниже схем, позволил заключить, что они образуют замкнутую сеть. Об этом свидетельствуют пересечения разломов, составляющих взаимодействующие зоны в наиболее изученных участках и непрерывные сети полос проявления землетрясений в самых активных регионах. Объективность подобного отображения делимости геофизической среды согласуется с ранее полученными данными по блоковому строению земной коры [Красный, 1984, 2003; Садовский и др., 1987а; Гласко, Ранцман, 1995; Шерман и др., 1999; Гольдин, 2002; Черемных, 2003; Гатинский, Рундквист, 2004; Актуальные..., 2005; Семинский и др., 2005] и структуре деформированных эквивалентных материалов [Красный, 1984; Кондратьев и др., 1985; Родионов и др., 1986; Соболев, Асатрян, 1990; Пономарев и др., 1995; Макаров, 2007]. Кроме того, не вызывает сомнений, с одной

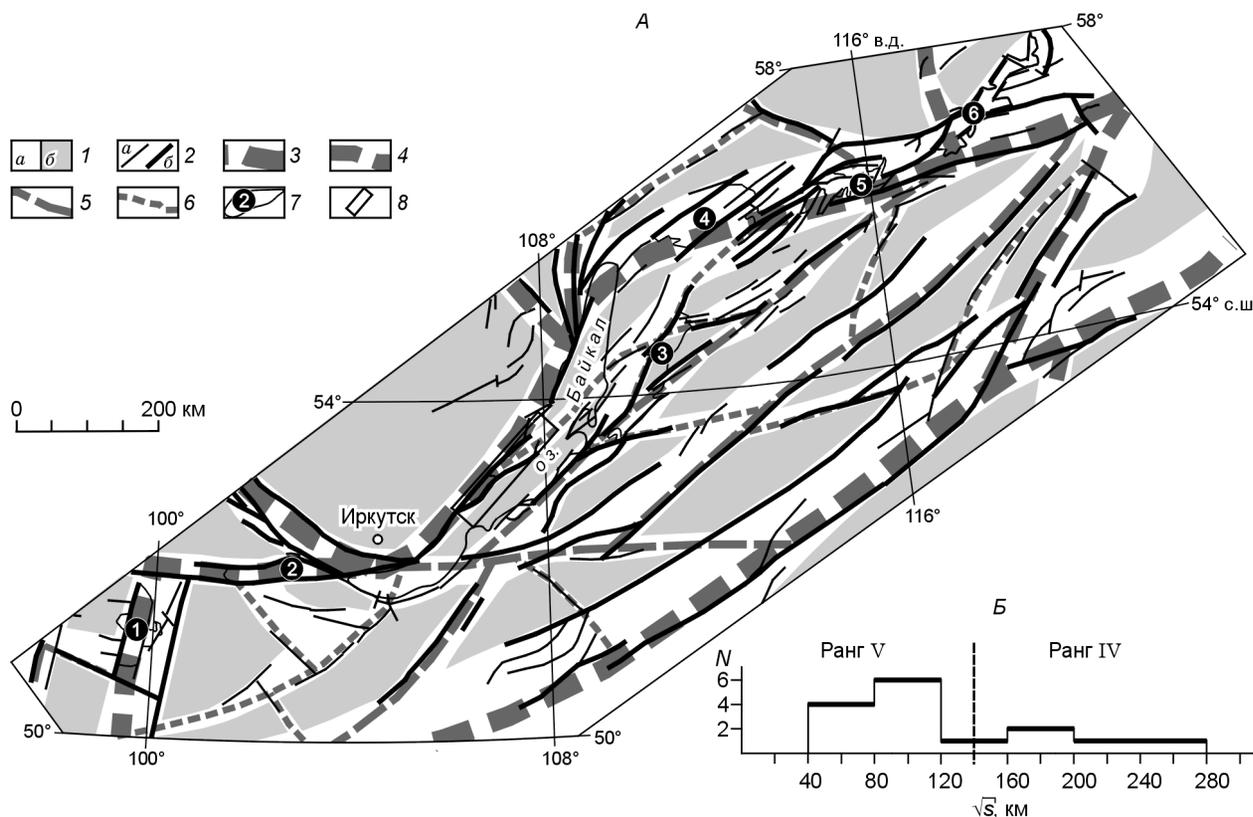


Рис. 2. Характеристика зонно-блоковой структуры земной коры Прибайкалья и прилегающей части Забайкалья.

А — схема зонно-блоковой структуры. Б — гистограмма среднегеометрических размеров (\sqrt{S}) подвижных зон.

1 — площади, занимаемые подвижными зонами (а) и блоками (б); 2 — региональные (а) и генеральные (б) разломы по [Карта..., 1983]; 3—6 — оси подвижных зон II (3), III (4), IV (5) и V (6) рангов; 7 — рифтовые впадины: Хубсугульская (1), Тункинская (2), Баргузинская (3), Верхнеангарская (4), Муйская (5) и Чарская (6); 8 — территория, строение которой изучалось в более крупном масштабе.

стороны, автономность существования главных плит литосферы Земли, а, с другой, — замкнутость разломных сетей, детально откартированных, например, в связи с разведкой и эксплуатацией месторождений полезных ископаемых.

Для проведения исследований в региональном масштабе была составлена схема зонно-блоковой структуры земной коры Байкальской рифтовой системы и прилегающей территории (рис. 2, *А*), входящей в границы блока, отмеченного точками на рис. 1, *А*. В качестве основы для построений использовалась карта неотектоники [Карта..., 1983] с сетью разломов, активность которых в новейшее время была установлена комплексом методов. Анализ пространственного распределения этих тектонических нарушений позволил установить, что практически все они составляют внутреннюю структуру подвижных зон, разделяющих рассматриваемый сегмент земной коры на серию более мелких блоков. При этом подвижные зоны включают в себя сравнительно небольшие межгорные впадины Байкальской рифтовой системы (Хубсугульская, Тункинская, Кичерская, Верхнеангарская, Муйская, Чарская) или представляют плечи наиболее крупных депрессий (Южно-Байкальская, Северо-Байкальская).

Исследования в локальном масштабе осуществлялись для одного из участков Зап. Прибайкалья (Приольхонье), располагающегося между двумя крупными рифтообразующими разломами: Приморским и Ольхонским (рис. 3, *А*). На базе применения комплекса полевых структурно-геологических методов и линейного анализа рельефа была составлена карта разломной тектоники северо-восточной части Приольхонья. Все детали проведенной для данного участка структурной съемки представлены в специальных публикациях [Семинский, 2005; Семинский и др., 2005]. Была создана сеть из 133 точек наблюдения, в каждой из которых проведен массовый замер элементов залегания трещин, а также изучены зеркала скольжения со штрихами, разломные сместители, зоны повышенной трещиноватости и другие, встреченные в обнажении, структурные элементы. Анализ дистанционных материалов (топокарты, космоснимки с высоким разрешением) заключался в выявлении линейных уступов рельефа, линейно-эрозионных форм и т.п., что имеет первостепенное значение для установления наличия разломов, активных в позднем кайнозое.

Массовый характер наблюдений за трещиноватостью позволил на этапе обработки фактического материала, исходя из принципов спецкартирования [Семинский и др., 2005], поставить в соответствие зафиксированному в коренном выходе разрывному нарушению определенным образом организованную трещинную сеть, а затем проследить ее наличие в смежных обнажениях, где нет прямых признаков существования сместителя. При отсутствии пригодных для документации коренных выходов вопрос о разломном сместителе решался путем анализа особенностей распространения и ориентировок линейных элементов, выявленных для конкретного участка. Выделенные в ходе структурной съемки разломные структуры (см. рис. 3, *Б*) отличаются активностью на новейшем этапе развития, поскольку выражены в современном рельефе, а также трассируются полосами распространения парагенезисов открытых трещин, генетически связанных с формированием сместителей (пары сопряженных сколов, тройки примерно перпендикулярных друг другу систем трещин и др.).

Подвижные зоны, представленные на рис. 3, *Б* полосами белого цвета, были выявлены путем генерализации составленной карты разломов. В их границы включались близко располагающиеся субпараллельные сместители с аналогичным типом подвижек, характер которых определялся путем применения известных тектонофизических методик (М.В. Гзовского, П.Н. Николаева, В.Д. Парфенова и др.) к массовым замерам трещин и штрихов скольжения на их поверхностях. Наиболее крупные зоны имеют северо-восточное простирание и обуславливают современные очертания береговой линии пролива Ольхонские Ворота, т. е. положение заливов Мухор, Куркут, Базарская Губа, Тутайский. Последние образовались вследствие обстановки растяжения, характерной для рассматриваемых зон, включающих продольные сбросы, сбрососдвиги и реже сдвиги.

Таким образом, применение единых принципов к анализу разломной структуры природных регионов обеспечило возможность составить три разномасштабные карты зонно-блоковой структуры, сформировавшейся в новейшее время. Следовательно, размеры главных элементов делимости должны отражать характер процесса структурообразования, что позволяет рассчитывать на выявление реально существующего иерархического ряда от разломных зон и блоков Приольхонья к подвижным зонам и блокам Прибайкалья, а затем — Центральной и Восточной Азии в целом.

РЕЗУЛЬТАТЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА ДЕЛИМОСТИ ЛИТОСФЕРЫ

Анализ представленных на рис. 1—3 карт на качественном уровне свидетельствует, что, несмотря на региональные особенности, подвижные зоны в каждом из масштабов исследования образуют законченную картину блоковой делимости. В пределах многих зон можно выделить главный разломный сместитель, являющийся реальной границей блока. В других случаях ограничением блока является линия, лишь на отдельных отрезках совпадающая с частными сместителями, повышенная плотность которых послужила основанием для выделения соответствующей подвижной зоны.

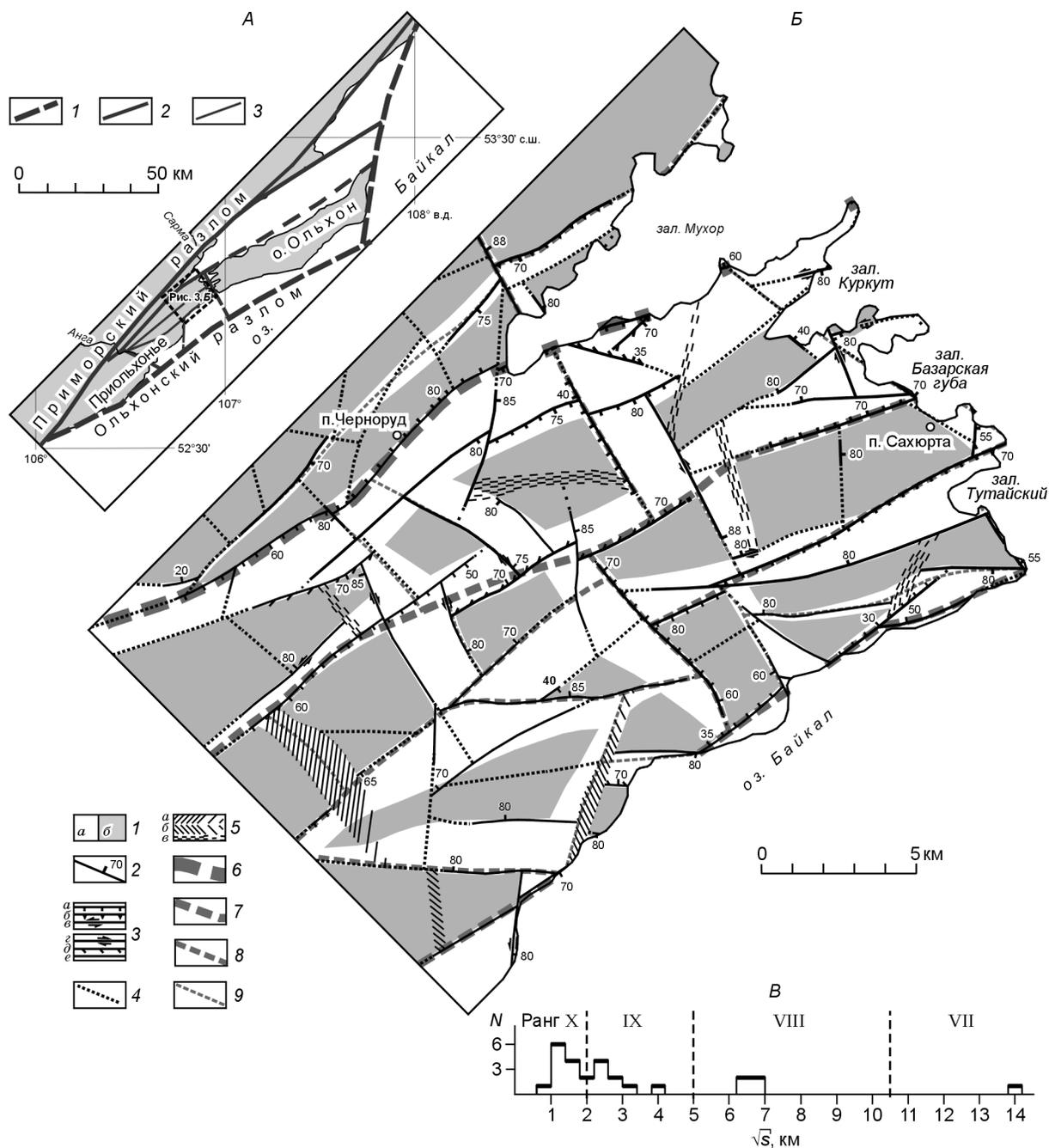


Рис. 3. Характеристика зонно-блоковой структуры земной коры Приольхонья.

A — расположение участка исследований и главные разломы территории: 1—3 — разломы, принадлежащие к VI (1), VII (2) и VIII (3) рангам.

B — схема зонно-блоковой структуры, составленная на основе карты разломной тектоники [Семинский, 2005]: 1 — площади, занимаемые подвижными зонами (*a*) и блоками (*б*); 2 — разломы и элементы залегания их сместителей; 3 — сместители разломных зон сбросового (*a*), взбросового или надвигового (*б*), левосдвигового (*в*), правосдвигового (*г*), сбрососдвигового (*д*) или неустойчивого (*е*) типов; 4 — сместитель разломной зоны, наличие которого предполагается по геоморфологическим и другим косвенным признакам; 5 — разломные зоны левого сдвига (*a*), правого сдвига (*б*) или растяжения (*в*), в пределах которых не установлено наличие магистрального сместителя (разрядка в штриховке свидетельствует о предполагаемом продолжении зоны); 6—9 — оси подвижных зон VII (*б*), VIII (*в*), IX (*г*) и X (*д*) рангов.

B — гистограмма среднегеометрических размеров (\sqrt{s}) подвижных зон.

Для определения иерархической соподчиненности в картине делимости литосферы была проведена оценка размеров основных элементов деструкции в соответствии с подходом М.А. Садовского и его последователей [Садовский и др., 1987а; Шерман и др., 1999; Черемных, 2003]: для зон определялась длина, а для блоков — среднегеометрический размер (L , км) по формуле $L = \sqrt{S}$ (где S — площадь блока, км²). Однако характер распределений этих величин, построенных для изучаемых регионов, не позволил выявить устойчивых максимумов, соответствующих отдельным рангам анализируемых элементов зонно-блоковой структуры. Тогда был использован опыт наших предыдущих исследований [Актуальные..., 2005], показавших, что длина разломных зон может иметь корреляционную связь с шириной и, таким образом, определять ранг дизъюнктива только для вновь образующейся структуры. В условиях блоковых взаимодействий устойчивая связь рассмотренного типа отсутствует, и для характеристики масштаба деструктивного процесса, происходящего в зонах, необходимо оценивать их объем или, за неимением информации о глубине проникновения, — площадь на поверхности. В связи с этим для каждой из карт были проанализированы распределения (см. рис. 1, *Б*; 2, *Б*; 3, *В*) среднегеометрических размеров подвижных зон ($l = \sqrt{s}$, где l — среднегеометрический размер зоны, км; s — площадь зоны, км²). Поскольку зоны при расчетах аппроксимировались прямоугольниками, определяемая величина учитывает как длину, так и ширину этих структурных элементов, хотя и не дает представления о их реальных соотношениях.

Судя по полимодальности распределений (см. рис. 2, *Б* и 3, *В*), среди подвижных зон Прибайкалья (включая рассматриваемую часть Забайкалья) и Приольхонья выделяются соответственно 2 и 4 ранга этих структурных элементов. Деление имеет высокую достоверность, так как, во-первых, сохраняется при существенном изменении интервала осреднения, а, во-вторых, подтверждается закономерным расположением разноранговых зон на местности. Действительно (см. рис. 2, *А* и 3, *Б*), блок обычно ограничивается сравнительно крупными зонами и делится на мелкие блоки зонами, относящимися к более высокому рангу.

В противоположность этому анализ распределения среднегеометрических размеров подвижных зон, представленных на рис. 1, *А* для Центральной и Восточной Азии в целом, не привел к однозначному результату ранжирования. Следует заметить, что ранее [Семинский, 2001] для южной половины рассматриваемой территории при аналогичном подходе было успешно выделено два ранга подвижных зон, характеризующихся закономерными (см. выше) пространственными взаимоотношениями. Это позволило предположить, что 1) выявленная закономерность делимости имеет место в различных по масштабам объемах литосферы на качественном уровне, но 2) ее количественное выражение может быть различным для регионов, отличающихся режимами развития и, следовательно, «компетентностью» деформируемого субстрата.

В связи с этим по карте зонно-блоковой структуры Центральной и Восточной Азии было построено 4 распределения среднегеометрических размеров зон (см. рис. 1, *Б*), соответствующих древним неактивизированным платформам (Сибирской и Индостанской), Верхояно-Колымскому и Центрально-Азиатскому складчатым поясам, а также Гималайской зоне взаимодействия Евразийской и Индо-Австралийской литосферных плит, границы которой обозначены на рисунке в соответствии с данными наших предыдущих исследований [Семинский, 2001]. Каждое из распределений с той или иной степенью достоверности позволяет разделить подвижные зоны на два ранга, причем, несмотря на различие соответствующих штриховой границе величин, зоны меньшего ранга на местности (см. рис. 1, *А*) в подавляющем большинстве случаев располагаются в блоках, оконтуренных более крупными структурами. Исключением являются древние платформы, у которых серия крупных блоков не имеет деления, что приводит к неопределенности выявления рангов зон только по данным о распределении их размеров (см. график *a* на рис. 1, *Б*). Причиной является недостаток информации о разломах с кайнозойскими подвижками, которые, безусловно, имеют место на платформах [Гласко, Ранцман, 1995; Архипов и др., 1996; Геншафт, 1996; Кузьмин, 1996; Гладков и др., 2000; Общие..., 2000; Тектоника..., 2000; Семинский и др., 2001, 2005], но не нашли отражения на использованной для построения исходной карте [International..., 1984] из-за специфики характера и степени активности в сравнении с тектоническими нарушениями окружающих подвижных поясов.

Таким образом, теоретическая модель М.А. Садовского [Садовский и др., 1987а], согласно которой геофизическая среда состоит из серии как бы «вложенных» друг в друга блоков, в целом находит подтверждение для реальных условий деформации литосферы Центральной и Восточной Азии. Это позволяет выявить уровни иерархии зонно-блоковой структуры, основываясь на едином ряде характерных размеров подвижных зон, который можно установить, прослеживая их соподчиненность от глобального масштаба (Центральная и Восточная Азия в целом) к локальному (северо-восточная часть Приольхонья).

Подвижные зоны, показанные на рис. 1, *А*, относятся ко II ($l_{cp} = 818$ км) и III ($l_{cp} = 410$ км) рангам, так как к I порядку ($l_{cp} = 2000$ км) в пределах Азии должна принадлежать зона взаимодействия Индо-Австралийской и Евразийской плит. Судя по взаимоотношениям (и размерам) зон III ранга со структурными

элементами Прибайкалья (и прилегающей части Забайкалья) на рис. 2, А, выделенные для этой территории две группы зон следует отнести к IV ($l_{cp} = 200$ км) и V ($l_{cp} = 86$ км) порядкам. Рангам подвижных зон Приольхонья (см. рис. 3, Б) были присвоены индексы VII ($l_{cp} = 14$ км), VIII ($l_{cp} = 6.6$ км), IX ($l_{cp} = 2.7$ км) и X ($l_{cp} = 1.4$ км) на основе их количественных соотношений со структурами, показанными на рис. 3, А, представляющем переходный от Прибайкалья к Азии в целом масштаб исследований. Параметрическая характеристика этого промежуточного уровня зонно-блоковой структуры, включая и дополнительное обоснование выделения ранга VI ($l_{cp} = 33$ км), к которому на схеме Прибайкалья относятся лишь Приморский и Ольхонский разломы (см. рис. 3, А), была усилена статистической информацией по зонно-блоковой структуре Индокитайского п-ова, откартированной ранее и иерархически увязанной с подвижными зонами 6 и 11, показанными на карте Центральной и Восточной Азии (см. рис. 1, А). Наконец, размер зон XI ранга ($l_{cp} = 0.7$ км) отражает среднюю ширину участков распространения парагенезисов трещин, которые, как показано в [Семинский, 2005], трассируют сместители Приольхонья и генетически связаны с их формированием.

Представленный выше ряд характерных размеров подвижных зон отражает существование 11 уровней иерархии от глобального масштаба взаимодействия плит до локального уровня контактирования блоков по разломным зонам, выявленным при полевой структурной съемке. Поскольку зоны каждого ранга, согласно выявленной выше закономерности их пространственного расположения, разграничивают одноранговые блоки, появляется возможность на примере рассмотренных регионов (Центральная и Восточная Азия — Прибайкалье — Приольхонье) выявить иерархические уровни в структуре литосферы Азии, состоящие из обоих элементов деструкции. Например, к III уровню зонно-блоковой структуры относятся зона 59 и два контактирующих по ней блока (см. рис. 1, А), из которых западный делится (см. рис. 2, А) зонами IV ранга на 5 блоков, соответственно представляющих IV уровень иерархии и т. д.

Таким образом, принадлежность конкретного блока к определенному уровню зонно-блоковой структуры определялась рангом самой мелкой из ограничивающих его подвижных зон, порядковая принадлежность которой была выявлена по распределению среднегеометрических размеров этих элементов делимости. Представленный подход, учитывая невозможность выделения рангов блоков по распределению их размеров, является не только единственно возможным, но и правомерным с точки зрения закономерностей диссипации энергии в структурированной среде [Садовский и др., 1987]. Накопленная блоком энергия реализуется посредством деформаций на его краях с образованием подвижных зон, причем объем зоны (или параметр $l = \sqrt{s}$ при отсутствии достоверной оценки глубины) наиболее полно отражает масштаб деструктивного процесса, определяющийся энергетическим потенциалом контактирующих блоков.

Результатом проведенного исследования является таблица, в которой дана количественная характеристика 11 уровней иерархии зонно-блоковой структуры Центральной и Восточной Азии. Ее вторая строка представляет ряд характерных размеров подвижных зон, выявленный при анализе их распределений. Соответствующие величины для блоков, приведенные в четвертой строке, вычислялись как средние арифметические размеров L (км) по совокупности блоков, составляющих каждый из уровней зонно-блоковой структуры для Центральной и Восточной Азии в целом, в Прибайкалье и в Приольхонье. Параметры $\mu_{зон}$ и $\mu_{блок}$ характеризуют соотношения размеров, соответственно, зон и блоков, принадлежащих к двум смежным рангам, а величина L_{cp}/l_{cp} — отношение размеров разнотипных элементов делимости, представляющих один и тот же иерархический уровень. В расчете L_{cp} наиболее крупных блоков использовались площади Сибирской и Индостанской платформ, тогда как средний размер блоков самого высокого уровня (XI) вычислялся, как и аналогичный параметр для зон (см. выше), по структурной карте из нашей предыдущей публикации [Семинский, 2005].

Параметры зонно-блоковой структуры Центральной и Восточной Азии на 11 уровнях иерархии

Параметр	XI	X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	I
$l_{cp} = \sqrt{s}$ -зоны	0.7	1.4	2.7	6.6	14.0	33.0	86.0	200.0	410.0	818.0	2000.0
$\mu_{зон} = l_{i+1}/l_i$		2.0	1.9	2.4	2.1	2.4	2.6	2.3	2.1	2.0	2.4
$L_{cp} = \sqrt{S}$ -блоки	1.4	2.8	4.6	10.4	24.0	55.0	128.0	272.0	542.0	1113.0	2746.0
$\mu_{блок} = L_{i+1}/L_i$		2.0	1.6	2.3	2.3	2.3	2.3	2.1	2.0	2.0	2.5
L_{cp}/l_{cp}	2.0	2.0	1.7	1.6	1.7	1.7	1.5	1.4	1.3	1.4	1.4

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СОПОДЧИНЕННОСТЬ В ЗОННО-БЛОКОВОЙ СТРУКТУРЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ВОСТОЧНОЙ АЗИИ

Следует отметить, что М.А. Садовский с коллегами [Садовский и др., 1987а] на основе сопоставления разнотипных материалов по делимости земной коры выявили иерархический ряд среднегеометрических размеров блоков с $\mu_{\text{блок}} = 2.5$, предположили наличие закономерной ранговой последовательности для ширины «прослоек» между блоками, а также наличие взаимосвязи между размерами блоков земной коры и длиной разграничивающих их разломов. Единообразно проведенные исследования по построению и анализу однотипных карт разного масштаба позволили нам увеличить число структурных параметров, уточнить некоторые оценки предыдущих исследователей и, таким образом, на новом этапе охарактеризовать особенности иерархии зонно-блоковой структуры, реально существующей в литосфере Центральной и Восточной Азии.

Так, соответствующие каждому из уровней иерархии размеры блоков (см. таблицу) дополнены за счет устранения пропусков в ранговой последовательности, возможность существования которых отмечалась ранее [Садовский и др., 1987а]. Наряду с известными рангами (в принятой здесь индексации — это VI, V и III) выделена совокупность блоков IV порядка, что повлияло на среднюю для ряда величину $\mu_{\text{блок}}$, которая уменьшилась с 2.5 [Садовский и др., 1987а] до 2.1. Отметим, что в соответствии с теоретическими расчетами специалистов по геомеханике эта величина равна 2 [Опарин, Курленя, 1994]. Ранговая соподчиненность зон установлена не по ширине или длине, как предполагалось М.А. Садовским, а в среднегеометрическом размере, так как именно этот параметр в условиях блоковых взаимодействий отражает иерархический порядок структурных элементов данного типа. В итоге впервые получены оценки характерных размеров зон для каждого уровня иерархии, которые, как видно из таблицы, находятся друг с другом в соотношениях еще более строгих, чем это характерно для блоков: параметр $\mu_{\text{зон}}$ меньше варьирует при переходе от ранга к рангу.

Аналогичность параметров, используемых для оценки размеров обоих элементов делимости, позволяет оценить соотношения между ними (см. таблицу). Во-первых, простое сопоставление параметра μ для зон и блоков показывает, что при наличии вариаций ($\mu_{\text{зон}} = 1.9 - 2.6$; $\mu_{\text{блок}} = 1.6 - 2.5$) их средние значения практически равны (2.2 и 2.1). Это на количественном уровне свидетельствует о строгой иерархической соподчиненности в зонно-блоковой структуре литосферы. Во-вторых, сравнение средних размеров блоков и зон для каждого уровня иерархии указывает на соизмеримость параметров двух главных элементов делимости, что является количественным аргументом правомерности использования определения «зонно-блоковая» для характеристики структуры континентальной литосферы. Более того, неравномерное, но явно выраженное уменьшение параметра $L_{\text{cp}}/l_{\text{cp}}$ по мере увеличения ранга структур (см. таблицу) свидетельствует о возрастании значимости зон по отношению к блокам при переходе от локального уровня к глобальному. Таким образом, если в коренных выходах структура блоковых границ может практически не учитываться, то для литосферных масштабов ее состояние должно анализироваться совместно с геометрией блоков.

Значимость соотношения размеров блоков и межблоковых границ для количественной характеристики делимости подчеркивалась М.В. Курленей с соавторами [Курленя и др., 1993]. Они использовали величину («геомеханический инвариант»), обратную представленной выше, причем в качестве межблоковой прослойки изучались трещины или зоны дробления. Это послужило причиной того, что полученный исследователями параметр не только отличался от представленного выше по абсолютному значению и свидетельствовал о существенно меньшем размере зон по отношению к блокам, но и не обнаруживал направленного изменения при переходе от одного уровня иерархии к другому.

Констатируя наличие строгой организации в зонно-блоковой структуре Центральной и Восточной Азии, необходимо отметить, что она отчетливо проявляется лишь при существенном осреднении параметров. Значения μ изменяются у зон на 0.7 и у блоков на 0.9, что существенно при средних величинах — 2.2 и 2.1. Еще более значительны вариации величин L и l у структурных элементов, относящихся к одному уровню, причем у блоков они таковы, что не позволяют однозначно выделять ранги по распределениям, как это делалось для подвижных зон.

Причиной отмеченных вариаций лишь отчасти можно считать погрешности построений карт зонно-блоковой структуры. Главным образом, это закономерное следствие процесса структурообразования в различных условиях деформации. Вариации параметров зон и блоков, безусловно, должны зависеть от характера и интенсивности внешнего воздействия и, следовательно, будут отличаться в разных динамических обстановках и/или для объемов горных пород, деформируемых с неравными скоростями. В данном исследовании эти факторы (внешние) не рассматривались, но отличие картины делимости подвижных зон и блоков одного уровня, отмеченное в предыдущих исследованиях [Зоненшайн, Савостин, 1979; Шебакин, 1987; Семинский, 2001; Гатинский, Рундквист, 2004], а также заметное на представленных в статье схемах,

обусловлено существенной разницей в интенсивности процесса деструкции, имеющего место в пределах этих структурных элементов.

Влияние внутренних (т.е. характеризующих сам деформируемый объем) факторов при образовании блоковой структуры регионов уже отмечалось на качественном уровне [Красный, 1984; Семинский, 2001; Гатинский, Рундквист, 2004; Актуальные..., 2005]. Проведенный здесь анализ показал, что вариации параметров отдельных зон и особенно блоков в рамках установленных закономерностей статистического типа в существенной степени определяются структурно-вещественной неоднородностью деформируемого субстрата. Размеры элементов делимости отличаются для регионов, характеризующихся различной историей тектонического развития. Это особенно отчетливо проявилось при изучении Центральной и Восточной Азии в целом, когда выделение иерархических уровней зонно-блоковой структуры оказалось возможным только при раздельном анализе распределений размеров подвижных зон для главных тектонических подразделений этой разнородной по тектоническому строению территории (см. рис. 1, А). Количественные данные (см. рис. 1, Б и таблицу) свидетельствуют, что отличия в параметрах элементов делимости характерны не только для кратонов и складчатых поясов, но и для поясов между собой. Наибольшей сбалансированностью отличается новейшая зонно-блоковая структура Центрально-Азиатского складчатого пояса: ее количественные параметры наиболее близки к установленным для уровней II и III средним значениям, а формы и взаимоотношения блоков соответствуют тем, которые свойственны подвижным зонам. Все это обусловлено относительной однородностью субстрата пояса по сравнению с другими однопорядковыми тектоническими подразделениями. Например, наличие в пределах Гималайского пояса серии древних жестких блоков (см. рис. 1, А), несмотря на высокую современную активность, приближает параметры его зонно-блоковой структуры к платформенным (см. рис. 1, Б и таблицу).

Таким образом, изменения условий деформирования в конкретных геодинамических обстановках придают региональную специфику зонно-блоковой структуре, что находит отражение в вариациях ее количественных характеристик, а при кардинальных отличиях — и во внешнем проявлении. В этой связи уместно рассмотреть проблему глубинности проявления представленных выше закономерностей, так как условия деформирования субстрата в вертикальном разрезе литосферы существенно меняются.

Употребление термина «литосфера» в данной статье, прежде всего, означает, что мы, вслед за Л.И. Красным [1984, 2003], М.А. Садовским [Садовский и др., 1987а,б], М.В. Курленей и В.Н. Опариним [Курленя и др., 1993; Опарин, Курленя, 1994], В.И. Уломовым [1999], В.В. Адушкиным [2001], С.В. Гольдиным [2002] и их многочисленными последователями, считаем наличие иерархии блоков, контактирующих по разнотипным подвижным зонам, принципиальной особенностью строения всей твердой оболочки Земли. Существенную роль в принятой модели строения литосферы играет наличие горизонтальной расслоенности, контролирующей проникновение в глубь отдельных подвижных зон (т.е. иерархию блоков) и обеспечивающей возможность их перемещений друг относительно друга.

Как известно, современный банк геофизических данных по большинству природных регионов еще недостаточен для определения глубин проникновения крупных подвижных зон. Вместе с тем геофизические материалы о проявлении в литосферной мантии наиболее изученных разломных систем континентов (например, сдвиги Сан-Андреас в США [Stern, McBride, 1998] и Алтын-Таг в Китае [Хаин, Ломизе, 2005], Апеннинский надвиг в Италии [Lavecchia et al., 2003], зона Тессейра-Торнквиста в Европе [Zielhuis, Nolet, 1994] и др.) и количественные соотношения протяженности подобных структур с глубиной их проникновения, оцененной по совокупности косвенных данных [Саньков, 1989; Опарин, Курленя, 1994; Уломов, 1999], при сопоставлении с толщиной твердой оболочки Земли для территории Центральной и Восточной Азии [Levi, Lysak, 1986; Шерман и др., 1991] свидетельствуют, что рис. 1 отражает закономерности делимости всей литосферы (см. рис. 1). В ряде известных случаев (Памир, Гиндукуш, Индо-Бирманский синтаксис и др.) деструкция в пределах подвижных зон протекает по «хрупкому сценарию» и сопровождается землетрясениями до глубин в первые сотни километров. Другие зоны (длиной более 1000 км), многие из которых на территории Китая считаются крупными сутурами [Zhao et al., 1994], нарушают сплошность глубинных частей литосферы как зоны квазипластического и, наконец, вязкого течений, в соответствии с закономерным изменением характера деформации с глубиной [Шерман, 1977; Lavecchia et al., 2003]. При этом у корневых частей подвижных зон фиксируется уменьшение толщины литосферы, которое может быть как действительным (подъем астеносферных масс в область разуплотнения), так и мнимым (падение вязкости литосферы вследствие тектонических перемещений) [Levi, Lysak, 1986; Шерман и др., 1992].

Учитывая вышеизложенное, можно считать, что схема, составленная нами в наиболее мелком масштабе (см. рис. 1, А), представляет близповерхностное выражение зонно-блоковой структуры всей литосферы, сформировавшейся за новейшее время в Центральной и Восточной Азии. Ее количественный анализ показал на конкретном примере справедливость представлений о наличии строгой иерархичности в строении твердой оболочки Земли. Установленный стиль делимости закономерно охватывает и целую серию высоких уровней иерархии, зонно-блоковая структура которых определяется проникновением менее крупных подвижных зон до горизонтальных и полого наклоненных неоднородностей, локализуя-

щихся в пределах земной коры (см. рис. 2, А) и ее верхних слоев (см. рис. 3, Б). Логично предположить, что и самые глубокие слои литосферы характеризуются качественно подобными взаимоотношениями подвижных зон и блоков на высоких уровнях иерархии. Однако очевидно, что их количественные характеристики из-за специфики условий деформирования будут отличны от параметров зонно-блоковой структуры, установленных на основе ее выражения в верхней части литосферы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, благодаря единообразно проведенным построениям и полученной в результате этого возможности изучения новейшей зонно-блоковой структуры, а также использованию для ее анализа наиболее информативных параметров, установлена строгая иерархическая соподчиненность делимости литосферы Центральной и Восточной Азии. Выявлено и количественно охарактеризовано 11 уровней иерархии структуры (от глобального до локального) и показано, что среднегеометрические размеры ее главных элементов — зон и блоков — в среднем отличаются для смежных порядков в 2.1—2.2 раза. Подвижные зоны занимают краевые части блоков, обеспечивая податливую реакцию деформируемого субстрата на внешнее воздействие, роль которой с увеличением масштаба становится более значимой. Для идентификации иерархической соподчиненности в зонно-блоковой структуре предпочтительнее использовать параметры зон, поскольку они, с одной стороны, отражают мобильность блоков, а, с другой, — меньше зависят от неоднородностей субстрата ввиду его интенсивного преобразования в ходе деформации. Параметры зон и особенно блоков одного уровня иерархии существенно варьируют относительно средних значений, что определяется условиями функционирования зонно-блоковой структуры в конкретных регионах и представляет предмет дальнейших исследований по проблеме.

Работы выполнены при поддержке РФФИ (грант 07-05-00061-а) и программы Отделения по наукам о Земле РАН № ОНЗ-6.13 и ОНЗ-10.1.

ЛИТЕРАТУРА

Адушкин В.В. Актуальные проблемы геомеханики земной коры // Электронный научно-информационный журнал «Вестник ОГГГГН РАН», 2001, № 1 (16) (http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2001/adushkin.htm#begin).

Актуальные вопросы современной геодинамики Центральной Азии. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2005, 297 с.

Архипов Ю.В., Высоцкий К.А., Калинин А.Т. О деформациях платформенного чехла Волго-Уральской области // Геотектоника, 1996, № 5, с. 55—65.

Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В. Геодинамика Евразии — тектоника плит и тектоника блоков // Геотектоника, 2004, № 1, с. 3—20.

Геншафт Ю.С. Внутренние факторы тектонической мобильности литосферы платформ // Геотектоника, 1996, № 4, с. 13—24.

Гладков А.С., Черемных А.В., Лунина О.В. Деформации юрских отложений южной окраины Иркутского амфитеатра // Геология и геофизика, 2000, т. 41 (2), с. 220—226.

Гласко М.П., Ранцман Е.Я. Влияние современной блоковой структуры земной коры равнинных территорий на сохранность технических объектов // Изв. РАН. Сер. географ., 1995, № 3, с. 76—80.

Гольдин С.В. Деструкция литосферы и физическая мезомеханика // Физическая мезомеханика, 2002, т. 5, № 5, с. 5—22.

Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А. Введение в геодинамику. М., Недра, 1979, 311 с.

Карта неотектоники региона Байкало-Амурской магистрали (м-б 1:3 000 000) / Ред. Н.А. Логачев. Иркутск, 1983.

Кондратьев В.Н., Кулюкин А.М., Пономарев В.С., Ромашов А.Н. Исследование двухслойной модели земной коры при двухосном растяжении нижнего слоя // Изв. АН СССР, Физика Земли, 1985, № 3, с. 17—28.

Копп М.Л. Структуры латерального выжимания в Альпийско-Гималайском коллизионном поясе. М., Научный мир, 1997, 314 с.

Костюченко В.Н., Кочарян Г.Г., Павлов Д.В. Деформационные характеристики межблоковых промежутков различного масштаба // Физическая мезомеханика, 2002, т. 5, № 5, с. 23—42.

Красный Л.И. Глобальная делимость литосферы в свете геоблоковой концепции // Советская геология, 1984, № 7, с. 17—32.

Красный Л.И. Эволюция тектонических идей от середины XIX столетия до современности. СПб., ВНИИОкеангеология, 2003, 28 с.

Кузьмин Ю.О. Современные суперинтенсивные деформации земной поверхности в зонах платформенных разломов // Геоэкологическое изучение и использование недр. Вып. 4. М., Геоинформмарк, 1996, с. 43—53.

Курленя М.В., Опарин В.Н., Еременко А.А. Об отношении линейных размеров блоков горных пород к величинам раскрытия трещин в структурной иерархии массивов // ФТПРПИ, 1993, № 3, с. 3—10.

Курленя М.В., Серяков В.М., Еременко А.А. Техногенные геомеханические поля напряжений. Новосибирск, Наука, 2005, 264 с.

Макаров П.В. Эволюционная природа блочной организации геоматериалов и геосред. Универсальный критерий фрактальной делимости // Геология и геофизика, 2007, т. 48 (7), с. 724—746.

Общие вопросы тектоники. Тектоника России. (Материалы XXXIII тектонического совещания). М., ГЕОС, 2000, 648 с.

Опарин В.Н., Курленя М.В. О скоростном разрезе Земли по Гуттенбергу и возможном его геомеханическом объяснении. I. Зональная геодезинтеграция и иерархический ряд геоблоков // ФТПРПИ, 1994, № 2, с. 14—26.

Пономарев В.С., Ромашов А.Н., Сухотин А.П., Цыганков С.С. Особенности разрушения двухслойных моделей при моделировании геологических процессов // Геология и геофизика, 1995, т. 36 (4), с. 116—121.

Родионов В.Н., Сизов И.А., Цветков В.М. Основы геомеханики М., Недра, 1986, 301 с.

Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М., Наука, 1987а, 100 с.

Садовский М.А., Нерсесов И.Л., Писаренко В.Ф. Иерархическая дискретная структура литосферы и сейсмический процесс // Современная тектоническая активность Земли и сейсмичность. М., Наука, 1987б, с. 182—191.

Саньков В.А. Глубины проникновения разломов. Новосибирск, Наука, 1989, 136 с.

Семинский К.Ж. Принципы и этапы спецкартирования разломно-блоковой структуры на основе изучения трещиноватости // Геология и геофизика, 1994, т. 35 (9), с. 112—130.

Семинский К.Ж. Тектонофизические закономерности деструкции литосферы на примере Гималайской зоны сжатия // Тихоокеанская геология, 2001, т. 20, № 6, с. 17—30.

Семинский К.Ж. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Тектонофизический аспект. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2003, 243 с.

Семинский К.Ж. Картирование разломно-блоковой структуры земной коры на современном этапе развития тектонофизики // Геофизический журнал, 2005, т. 27, № 1, с. 85—96.

Семинский К.Ж., Гладков А.С., Лунина О.В. Тектонофизическая характеристика зоны Ангарского разлома (юг Сибирской платформы) // Геология и геофизика, 2001, т. 42 (8), с. 1252—1262.

Семинский К.Ж., Гладков А.С., Лунина О.В., Тугарина М.А. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Прикладной аспект. Новосибирск, Изд-во СО РАН, Филиал «Гео», 2005, 293 с.

Соболев Г.А., Асатрян Х.О. Развитие иерархии разрывов при деформировании высокопластичного материала // Докл. РАН, 1990, т. 315, № 2, с. 345—348.

Тектоника неоген: общие и региональные аспекты. (Материалы XXXIV тектонического совещания). М., ГЕОС, 2000, т. 1, 400 с.; т. 2, 358 с.

Уломов В.И. Сейсмогеодинамика и сейсмическое районирование Северной Евразии // Вулканология и сейсмология, 1999, № 4—5, с. 6—22.

Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М., КДУ, 2005, 560 с.

Черемных А.В. Разломно-блоковое строение земной коры юга Восточной Сибири и тектоническая активность блоков // Вестник Томск. гос. ун-та, 2003, № 3 (I), с. 187—189.

Шебалин Н.В. Сейсмичность как тектонический процесс / Современная тектоническая активность Земли и сейсмичность. М., Наука, 1987, с. 22—37.

Шерман С.И. Физические закономерности развития разломов земной коры. Новосибирск, Наука, 1977, 102 с.

Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А., Буддо В.Ю., Лобацкая Р.М., Адамович А.Н., Трусков В.А., Бабичев А.А. Разломообразование в литосфере. Зоны сдвига. Новосибирск, Наука, 1991, 262 с.

Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А., Адамович А.Н., Лобацкая Р.М., Лысак С.В., Леви К.Г. Разломообразование в литосфере. Зоны растяжения. Новосибирск, Наука, 1992, 240 с.

Шерман С.И., Семинский К.Ж., Черемных А.В. Деструктивные зоны и разломно-блоковые структуры Центральной Азии // Тихоокеанская геология, 1999, т. 18, № 2, с. 41—53.

Шерман С.И., Нгуен Тронг Ием, Семинский К.Ж. Новая карта разломно-блоковой тектоники территории Вьетнама // Докл. РАН, 2000, т. 371, № 5, с. 671—674.

International Tectonic Map of the World. (Scale 1:15000000) / Chief editor: V.E. Khain. M.: Mingeo, 1984.

Lavecchia G., Boncio P., Creati N. A lithospheric-scale seismogenic thrust in central Italy // J. Geodynam., 2003, v. 36, p. 79—94.

Levi K.G., Lysak S.V. Tectonic movements and thermal evolution of the lithosphere // J. Geodynam., 1986, v. 5, p. 113—132.

Park R.G. Foundations of structural geology. London, Chapman & Hall, 1997, 202 p.

Shebalin P., Soloviev A., Le Mouel J.-L. Scaling organization in the dynamics of blocks-and-faults systems // Phys. Earth Planet. Inter., 2002, v. 131, p. 141—153.

Stern T.A., McBride J.H. Seismic exploration of continental strike-slip zones // Tectonophys., 1998, v. 286, p. 63—78.

Zhao X., Coe R., Zhou Y., Hu S., Wu H., Kuang G., Dong Z., Wang J. Tertiary paleomagnetism of North and South China and a reappraisal of Late Mesozoic paleomagnetic data from Eurasia: implications for the Cenozoic tectonic history of Asia // Tectonophysics, 1994, v. 235, p. 181—203.

Zielhuis A., Nolet G. Deep seismic expression of an ancient plate boundary in Europe // Science, 1994, v. 256, p. 79—81.

Zoback M.L. First- and second-order patterns of stress in the lithosphere: the World stress map project // J. Geophys. Res., 1992, v. 97, p. 11,703—11,728.

*Рекомендована к печати 16 ноября 2007 г.
В.А. Верниковским*

*Поступила в редакцию
31 июля 2007 г.*