

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ СТРУКТУР ОГРАНИЧЕНИЯ АМУРСКОЙ ЛИТОСФЕРНОЙ ПЛИТЫ

**Ю.Ф. Малышев, В.Я. Подгорный, Б.Ф. Шевченко, Н.П. Романовский,
В.Б. Каплун, П.Ю. Горнов**

Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, г. Хабаровск
Поступила в редакцию 1 августа 2006 г.

Изучено глубинное строение структур ограничения Амурской плиты. Построены сейсмогравитационные (плотностные) и геоэлектрические разрезы литосферы, пересекающие выделенные по геологическим данным и сейсмичности границы плиты, и трехмерная модель литосферы Амурской плиты. Модель имеет близкое к кольцевому строение с погруженной на 50 км внутренней частью и приподнятым обрамлением. Обрамление литосферной структуры представлено орогенными поясами (Монголо-Охотским, Селенга-Становым, Забайкальским, Сихотэ-Алинским) и окраинами Сибирской и Северо-Китайской платформ. Границы плиты характеризуются моделями мантийного диапиризма с преимущественно двусторонним наклонным падением ограничений поясов обрамления.

Ключевые слова: литосферная плита, границы плиты, трехмерная модель литосферы, глубинные разрезы, Восток Азии.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение современных границ литосферных плит и их внутреннего строения показало их неоднородность и сложную структурно-вещественную устроенность. Это касается не только уточнения основных характеристик литосферных плит (их жесткости и неделимости), а также их границ и признаков, по которым они выделяются. Нередко границы плит представлены полосами, состоящими из микроплит и блоков, образующих пояса торшения и дробления земной коры и литосферы. Такие особенности в структуре литосферы характерны для Восточной Азии [5, 6, 17, 30].

Границы литосферных плит определяются по геологическим данным и сейсмичности, при этом преимущественно по эпицентрам очагов землетрясений, которые в большинстве случаев относятся к верхнекоровым. Этот способ выделения литосферных плит, по сути, является двухмерным.

В то же время, литосферная плита, по определению, – трехмерный объект, и, следовательно, дополнительный прирост знаний о глубинном строении Земли может быть получен только при учете этого фактора. При реализации данного подхода существуют определенные трудности, так как земная кора и поверхность Мохо – понятия сейсмические и опре-

деляются прямыми сейсмическими методами, а литосфера – понятие реологическое, и граница с астеносферой или глубина до подошвы литосферы обычно устанавливаются косвенными методами (геотермическими, геоэлектрическими, сейсмическими). Соответственно, неоднородность внутреннего строения литосферной плиты и особенно рельефа ее подошвы по разным данным может различаться. Следовательно, перед проведением исследования по глубинному строению структур ограничений литосферных плит нам необходимо было произвести ряд процедур. Во-первых, выполнить построение карты мощности литосферного слоя в пределах занимаемого Амурской плитой и ее окружением (Восток России, Восточный Китай, Монголия) пространства. Это обусловлено тем, что Амурская плита в геологической литературе выделяется в разных границах и фигурирует под разными названиями: плита [11], субплита [37], микроплита [5], блок [6]. Причем, по мнению Л.П. Зоненшайна [11], делимость литосферы, в том числе литосферной плиты, на этом не заканчивается. Перечисленные элементы и далее могут быть разделены на серию блоков, поясов. Во-вторых, необходимо было провести сбор и анализ других геолого-геофизических материалов для построения разрезов литосферы. В-третьих, следовало осуществить

необходимые расчеты и выполнить плотностное моделирование разрезов литосферы.

В связи с изложенным представляется целесообразным рассмотреть глубинное строение структур ограничения Амурской плиты и структуру литосферы внутри нее. При этом надо учесть, что геофизические поля в отличие от сейсмичности, хотя и отражают современную глубинную структуру, но наряду с ее современными особенностями фиксируют законсервированные и трансформированные в ней элементы прошлого.

ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДИКА ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Большинство выделенных границ Амурской плиты пересечены комплексными геофизическими профилями большой протяженности – геотрансектами и региональными сейсмическими и геоэлектрическими (МТЗ) профилями. Многие сопровождаются гравиметрическими и магнитными съемками масштаба 1:200 000 и крупнее. Такие пересечения имеются и внутри Амурской плиты. Все перечисленные материалы были использованы для построения плотностных и геоэлектрических моделей литосферы. Рельеф подошвы литосферы получен по геотермическим, геоэлектрическим расчетам и расчетам по поверхностным сейсмическим волнам. Схема расположения геотрансектов и региональных профилей приведена на рис. 1.

Плотностные разрезы литосферы созданы на основе методик сейсмогравитационного моделирования, разработанных в лаборатории региональной геофизики и петрофизики Института тектоники и геофизики ДВО РАН – методики стандартного моделирования [2] и методики послойного плотностного моделирования [24]. Первая исходит из положения, что земная кора в регионе обладает некоторой постоянной средней плотностью, отклонения от которой являются индикатором аномальных неоднородностей. Они оцениваются изменением величины вертикального градиента плотности в двухслойной модели земной коры и верхней части литосферной мантии. Вторая адаптирована к сложной среде и позволяет вычислять распределение плотности по латерали в каждом слое. Моделирование выполнено в однослойной, двухслойной и многослойной литосфере и верхней части астеносферы.

Для решения поставленной задачи применялась главным образом методика послойного моделирования литосферы. Использование остальных материалов осуществлялось по опубликованным данным преимущественно авторов статьи в виде текстовых описаний.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сначала рассмотрим глубинные разрезы литосферы, пересекающие границы Амурской плиты, определенные по распределению сейсмичности и геологическим данным. Ими могут быть глубинные сейсмогенные разломы и транзитные зоны. Для удобства описания изучим последовательно глубинные разрезы (модели) северной, южной, западной и восточной структур ограничения.

Северная граница Амурской плиты

Северо-западная часть северной границы Амурской плиты проведена [11] по Байкальскому рифту, а далее на восток по Байкало-Становому сейсмическому поясу, который представлен Олекмо-Становой сейсмической зоной, протягивающейся вдоль Станового глубинного разлома (5 на рис. 2а) древнего заложения до Удской губы. Обстановка растяжения в Байкальском рифте сменяется обстановкой сжатия и сдвига-сжатия в Олекмо-Становой зоне, при этом в западной части зоны распространены левые сдвиги, а в восточной – правые [14].

Характер распределения эпицентров землетрясений Байкало-Станового сейсмического пояса изменяется от полосового до рассеянного, причем к востоку рассеянность эпицентров усиливается.

В.С. Имаев с соавторами [14] представляют область взаимодействия Евразийской и Амурской плит в виде полосы буферных сейсмогенных структур, северная граница которой соответствует Олекмо-Становой зоне, а южная проходит вдоль Монголо-Охотского разлома левосдвиговой природы, включая Тукурингра-Джагдинскую сейсмогенную зону. Внутри буферной зоны ими выделены два блока: Забайкальский и Становой. Забайкальский блок смещается на юго-восток, а Становой испытывает вращение при общем движении Амурской плиты в северо-восточном направлении.

Л.М. Парфенов с соавторами [22] в качестве северной границы Амурской плиты принимают Монголо-Охотский разлом. Ю.Г. Гатинский и Д.В. Рундквист [5, 6] в своих работах не обсуждают положение северной границы Амурской плиты, названной ими Амурским блоком. Но они определяют южную границу выделенной ими Северо-Евразийской плиты, которая в регионе проходит по северному краю ареала эпицентров очагов землетрясений Алдано-Станового щита.

Для изучения структуры литосферы области северной границы Амурской плиты построены плотностные разрезы по сейсмическим профилям: Джалинда–Улу, Тында–Амурзет, мыс Невельского–

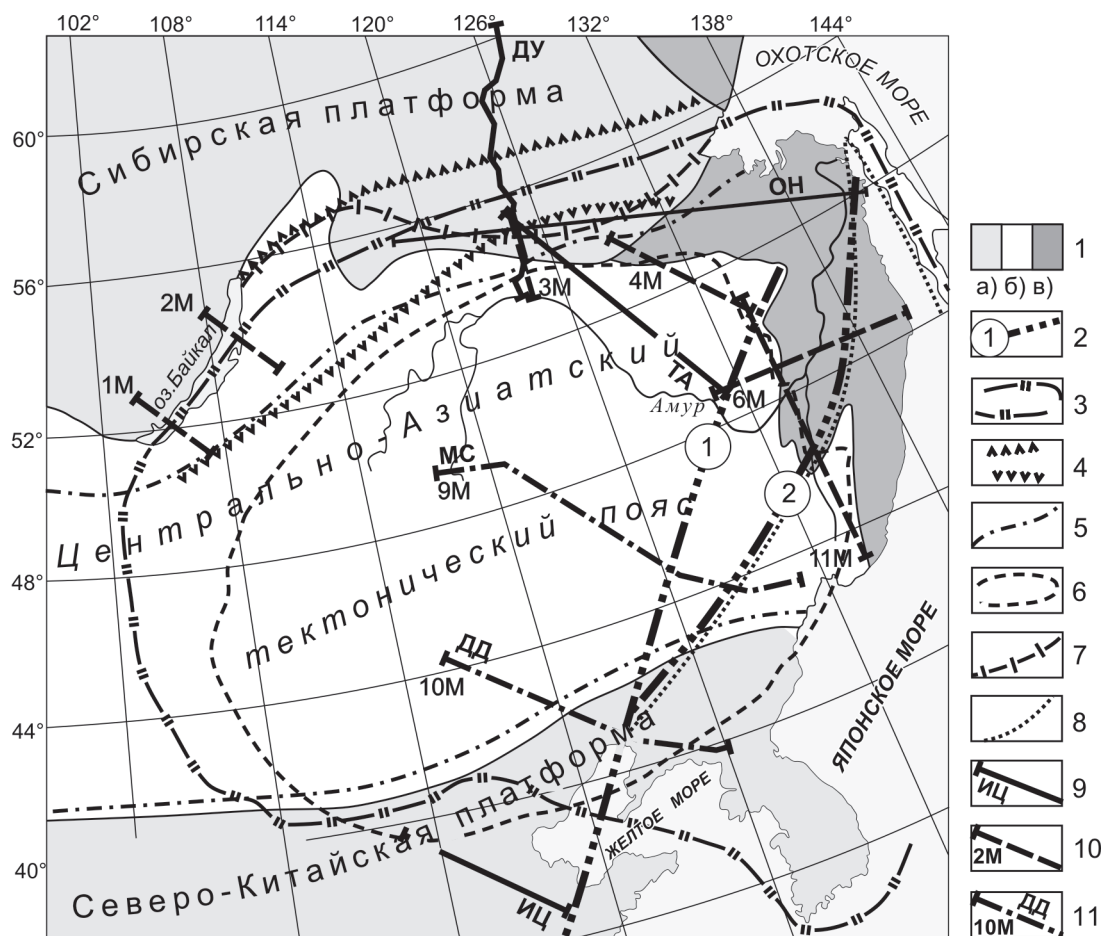


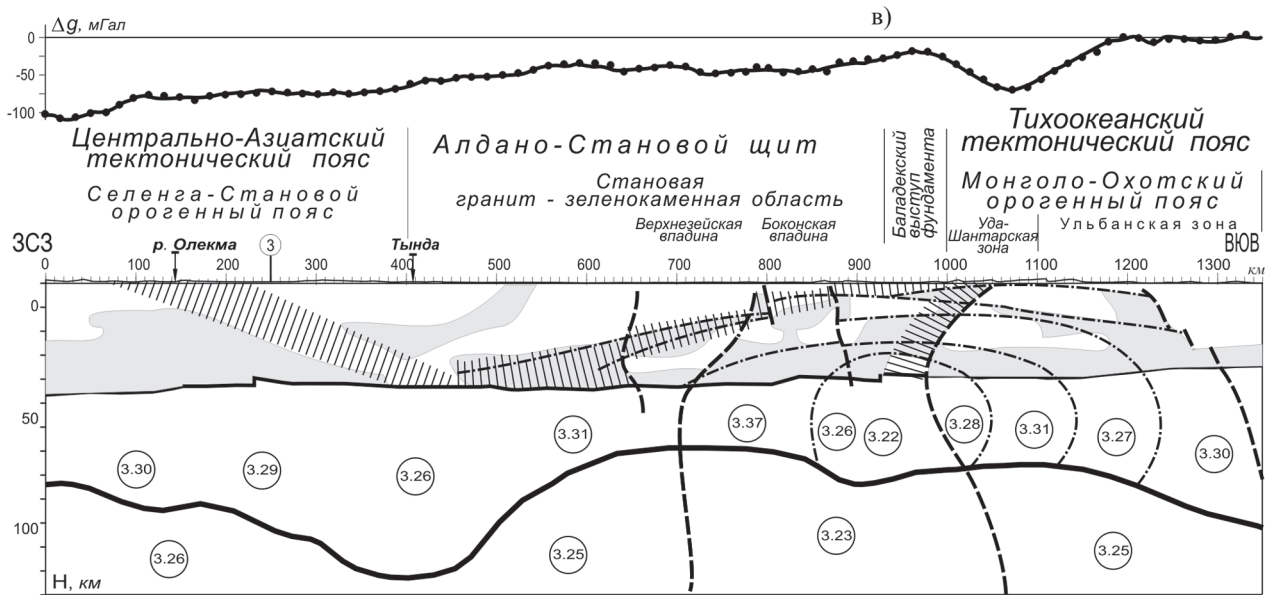
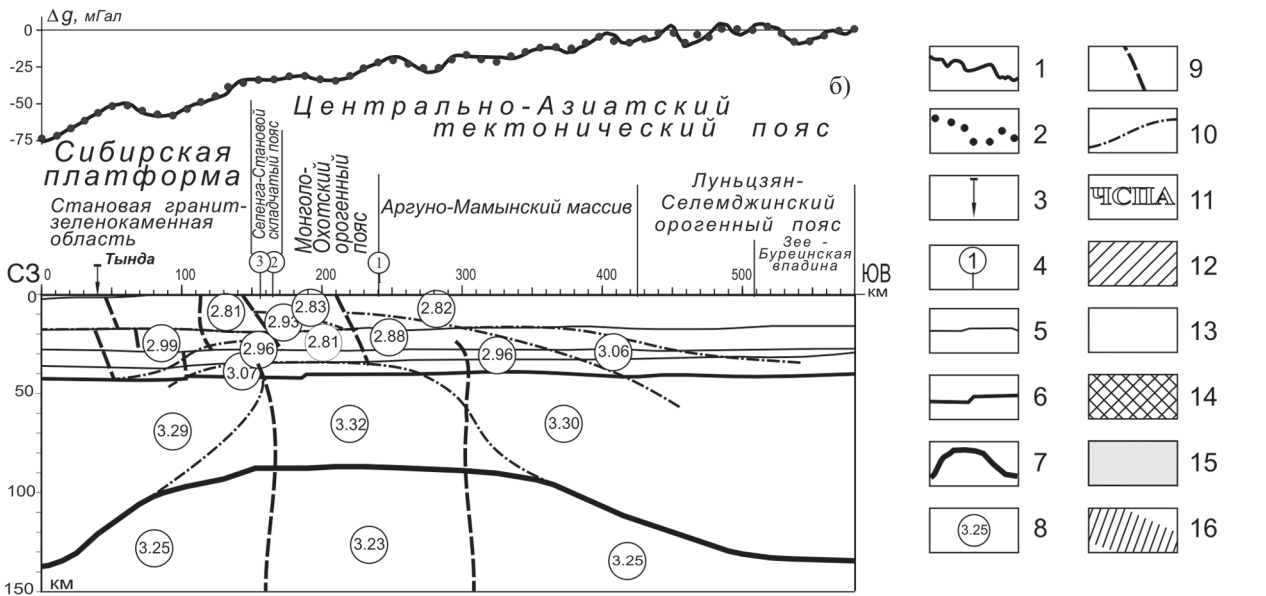
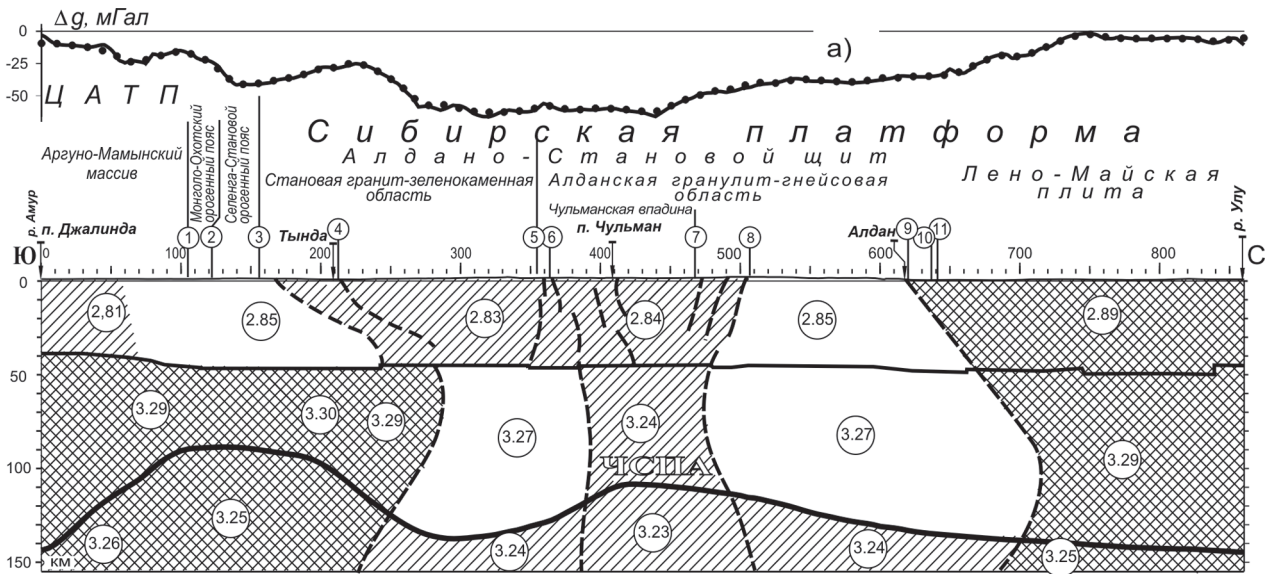
Рис. 1. Границы Амурской литосферной плиты по опубликованным данным и расположение геофизических профилей.

1 – по А.А. Сорокину [28], а) докембрийские платформы: Сибирская, Северо-Китайская, (б-в) тектонические пояса: б) Центрально-Азиатский, в) Тихоокеанский; 2 – разломы системы Тан-Лу: 1) – Итун-Иланьский, 2) – Дун-Ми; (3–8) – границы Амурской литосферной плиты: 3 – по Л.П. Зоненшайну и Л.А. Савостину [11], 4 – по В.С. Имаеву с соавторами [14], 5 – по Л.П. Парфенову с соавторами [22], 6 – по Chen Debing, Fun Yujie, Zhao Hongwu [33], 7 – по подъему кровли астеносферы [18]; 8 – граница Японо-Корейской микроплиты (блока) [5, 6]; (9–11) – линии профилей (геотравверсов), по которым выполнено геофизическое моделирование: 9 – гравитационное (прописным буквам соответствуют названия профилей: ДУ – Джалинда–Улу, ТА – Тында–Амурзет, ОН – р. Олекма–мыс Невельского (восточная часть геотравверса мыс Невельского–Тында–Рубцовск), ИЦ – Инсянь–Цзыбо, МС – Маньжурия–Суйфэнхэ, ДД – Дун Учжимцин–Дунгоу); 10 – геоэлектрическое (цифра с буквой – название профиля: 1М, 2М, 3М, 4М, 6М, 11М, 9М и 10М), 11 – гравитационные и геоэлектрические.

Рубцовск и пять геоэлектрических разрезов по данным МТЗ [15, 32].

Плотностной разрез на профиле МОВЗ Джалинда–Улу [4, 26] пересекает все перечисленные выше варианты положения северной границы Амурской плиты (рис. 2а). На севере профиля фиксируется предположительно Северо-Алданский сквозлитосферный глубинный разлом (10 на рис. 2а), который в земной коре имеет четкое падение на север, а в литосферной мантии наклонен к югу. Какому именно на поверхности разлому

этот геофизический разлом отвечает, сказать трудно, так как здесь помимо Северо-Алданского картируется узел пересечения глубинных разломов разного направления, в том числе рудоносных. Этот разлом примерно отвечает положению южной границы Северо-Евразийской плиты. Более точная геологическая привязка – граница Алдано-Станового щита и Лено-Майской плиты Сибирской платформы. Ей соответствует контрастная смена плотности в литосферной мантии щита и платформы.



Становой глубинный разлом (5 на рис. 2а) в плотностном разрезе литосферы представлен серией мелких коровых разломов. Соседний с ним Южно-Якутский глубинный разлом (6 на рис. 2а) осложнен надвигами в верхней части земной коры южного борта Чульманской впадины, но в низах коры, в литосферной мантии и в астеносфере он соответствует южному ограничению Чульманской сквозьлитосферной плотностной аномалии пониженной плотности. Слабая выраженность древнего Станового глубинного разлома в структуре литосферы и, наоборот, наличие сквозьлитосферных аномалий под Чульманской впадиной ставят под сомнение приписываемую ему активную роль в современной геодинамике литосферы региона. Буферная сейсмогенная структура [14] также слабо выражена в разрезе литосферы. Можно отметить, что она располагается между двумя поднятиями кровли астеносферы, над которыми наблюдается очень сложная структурная и геодинамическая обстановка в земной коре (зоны растяжения, сжатия, плотностные инверсии, сдвиги, надвиги) [23, рис. 5].

Джелтулакский глубинный разлом (3 на рис. 2), ограничивающий Алдано-Становой щит с юго-запада, имеет отчетливо выраженное падение под щит в земной коре. Он так же, как и Северо-Алданский разлом, в литосферной мантии испытывает изгиб. Наклон названных разломов нами связывается со смещением литосферной мантии на север на 50 км относительно земной коры и объясняется субдукцией Монголо-Охотского орогенного пояса под щит в мезозое [26].

Профиль ГСЗ-МОВЗ Тынды–Амурзет [10] пересекает Монголо-Охотский орогенный пояс, Северо-Тукурингский и Южно-Тукурингский (Монголо-Охотский) глубинные разломы (рис. 2б). На этом профиле Южно-Тукурингский разлом (1 на рис. 2б) проявлен более четко, чем на профиле Джалинда–Улу. Он наклонен на юг под Аргуно-Мамынский мас-

сив и прослеживается как в земной коре, так и в литосферной мантии. Разлому, и в целом Монголо-Охотскому орогенному поясу, отвечает ярко выраженная купольная структура. Она характеризуется подъемом кровли астеносферы и пониженной в ней плотностью по сравнению с плотностью астеносферы в крыльях поднятия. В литосферной мантии над астеносферным куполом плотность более высокая, чем в его обрамлении. В земной коре также наблюдается купольная структура, конформная астеносферному поднятию, но структура ее сложная мелкоблочковая, а плотность в целом пониженная.

Полученные результаты плотностного моделирования по профилю Тынды–Амурзет сопоставлены с альтернативными тектоническими моделями Монголо-Охотского орогенного пояса: мезозойской субдукции под Алдано-Становой щит [21], раннепермской субдукции под Аргуно-Мамынский массив [28], позднекаменноугольной двусторонней субдукции под обе структуры [39]. Нам кажется, что приведенное описание плотностной купольной структуры свидетельствует в пользу проявления мантийного диапиризма и плюм-тектоники на северной окраине Амурской плиты. Следует отметить еще одну особенность в структуре земной коры Монголо-Охотского пояса. Сейсмические разрезы земной коры на профилях МОВЗ Толбузино–Кировский и Черняево–Зея–Уркан [29] свидетельствуют о наличии надвигов как на Алдано-Становой щит, так и на Аргуно-Мамынский массив.

Профиль ГСЗ-МОВЗ мыс Невельского–Тынды–Рубцовск [29] пересекает под острым углом Монголо-Охотский орогенный пояс, южную окраину Алдано-Станового щита и Селенга-Становой орогенный пояс каледонид. Такому положению профиля соответствует протяженный подъем кровли астеносферы, охватывающий Монголо-Охотский пояс и цепочку мезозойско-кайнозойских впадин (Верхне-

Рис. 2. Гравитационные (плотностные) модели литосферы по профилям: а) Джалинда–Улу, б) Тынды–Амурзет, в) р. Олекма–мыс Невельского.

1 – измеренные аномалии силы тяжести в редукции Буге, $mGal$; 2 – вычисленный гравитационный эффект от модели, $mGal$; 3 – местоположения на линии разреза населенных пунктов и рек; 4 – разломы по геологическим данным, цифрам в кружках соответствуют названия: 1 – Южно-Тукурингский, 2 – Северо-Тукурингский, 3 – Джелтулакский, 4 – Тындинский, 5 – Становой, 6 – Южно-Якутский, 7 – Хатыминский, 8 – Малонимырский, 9 – Русский, 10 – Северо-Алданский, 11 – Якокитский; 5 – сейсмические границы в земной коре; 6 – рельеф подошвы земной коры (сейсмическая граница Мохо); 7 – подошва литосферы; 8 – вычисленные и усредненные значения плотности, g/cm^3 ; 9 – тектонические нарушения, выделенные по результатам моделирования; 10 – поверхности плотностных куполообразных структур; 11 – ЧСПА – Чульманская сквозьлитосферная плотностная аномалия; (12–14) – распределение плотности в литосфере относительно средней величины в толще: 12 – пониженная, 13 – средняя (нормальная), 14 – повышенная; 15 – участки земной коры с аномально повышенными значениями плотности; 16 – зоны плотностных неоднородностей в земной коре. ЦАТП – Центрально-Азиатский тектонический пояс.

зейскую, Боконскую), расположенных на окраине щита (рис. 2в). Эпицентр поднятия кровли астеносферы совпадает с эпицентром купольной структуры в земной коре, конформной астеносферному поднятию. На дневной поверхности он приходится на Баладекский выступ ультрабазитов. На разрезе выделяются три наклонные зоны плотностных неоднородностей в земной коре: одна погружается под щит с юго-восточного края на северо-запад, другая – ей навстречу от Селенга-Станового орогенного пояса, третья – на северо-запад под Баладекский выступ.

По данным МТЗ [15, 32], область сочленения структур юга Алдано-Станового щита с Монголо-Охотским орогенным поясом и структурами Центрально-Азиатского тектонического пояса характеризуется гетерогенным строением литосферы. Наиболее сложный геоэлектрический разрез наблюдается под Монголо-Охотским орогенным поясом, где происходит подъем кровли проводящих слоев верхней мантии и нарушение сплошности слоев. На геоэлектрических разрезах видно, что основную роль в строении региона играют разломы Джелтулакский, Южно- и Северо-Туруингрский (1 и 2 на рис. 2б), которые отчетливо контролируют границы между основными тектоническими структурами. Джелтулакский разлом и его продолжение на восток – Северо-Туруингрский разлом – являются границей между Алдано-Становым щитом и примыкающими к нему с юга складчатыми образованиями, что видно также по характеру изменения геоэлектрических разрезов: на щите геоэлектрический разрез имеет более простое строение, за исключением полосы осадочных бассейнов (Верхне-Зейский, Боконский) мезозойско-кайнозойского возраста. Область, прилегающая к Джелтулакскому разлому, рассекает земную кору в виде направленного вниз клина пониженного сопротивления по отношению к окружающим его структурам. При движении с запада на восток происходит изменение электрического сопротивления основных разломов от низкого к более высокому, что, вероятно, свидетельствует о смене тектонических напряжений в этом направлении. Это находит подтверждение в расчетах механизмов очагов землетрясений [14] и результатах МОВЗ [29]. По данным МОВЗ, здесь происходят косые срывы литосферных блоков. Сопоставление геоэлектрических разрезов МТЗ и сейсмических МОВЗ показывает их хорошее соответствие друг другу.

Северо-западная граница Амурской плиты, по данным МТЗ, прослежена лишь в районе оз. Байкал (рис. 1). Она отмечается резкой вертикальной неоднородностью геоэлектрического разреза с уменьшением мощности литосферы, появлением коровых

проводников и наличием клиновидного проводящего тела в верхней части земной коры в области сочленения двух плит.

Таким образом, из просмотра глубинных разрезов литосферы предпочтение в качестве северной границы отдается Монголо-Охотскому поясу с некоторыми уточнениями. На юге Сибирской платформы протягивается пояс приподнятой кровли астеносферы от Байкальского рифта на восток вдоль Джелтулакского разлома. Далее он проходит по южной окраине Алдано-Станового щита вдоль полосы мезозойско-кайнозойских впадин (Верхне-Зейская, Боконская) к Токинской впадине и на северо-восток к Охотморской литосферной плите. Пояс включает, помимо Байкальского рифта, Монголо-Охотский орогенный пояс, южную и юго-восточную окраины Алдано-Станового щита. Северная граница этого пояса может быть предметом рассмотрения в качестве глубинной границы Амурской литосферной плиты. Подъем кровли астеносферы установлен также внутри Евразийской плиты, в частности, в полосе южно-якутских впадин. Об этом свидетельствует глубинный разрез через Чульманскую впадину [26].

Южная граница Амурской плиты

Эта граница Амурской плиты, по Л.П. Зоненшайну, Л.Н. Савостину [11], проходит с запада на восток по северному борту осадочного бассейна Ордос (микроплиты), на северном окончании грабенов Шаньси она поворачивает на юго-восток внутрь Северо-Китайской платформы, пересекает Бохайский залив и условно проводится до южного окончания Японских островов (рис. 1).

Ма Синъюань и У Данин [38] выделяют сейсмогенный левый сдвиг северо-западного простирания на Бохайско-Шаньсийском отрезке этой границы плиты, контролирующей систему грабенов поздне-третично-четвертичного возраста. Этот разлом показан также на карте современной динамики литосферы [37] в качестве северной границы Северо-Китайской литосферной субплиты и южной – Амурской субплиты.

Другой распространенный вариант границы между Амурской и Китайской литосферными плитами проходит по северному краю Северо-Китайской платформы и отвечает разломам Внутренне-Монгольской оси [22, 33, 40]. Чжай Юшэн с соавторами [40] считают, что эта граница характеризуется развитием различных типов континентальных окраин: конвергентной, дивергентной и трансформной.

Своеобразно выражена эта граница плиты в распределении сейсмичности. Она отделяет слабо сейсмичную Амурскую плиту от высокосейсмичной

Северо-Китайской платформы, смещаясь параллельно ей внутрь платформы. Это может быть одним из признаков надвиговых взаимоотношений на северной границе платформы с ее складчатым обрамлением [16].

Существует третий вариант южной границы Амурской плиты, принципиально отличающийся от двух первых [35]. Согласно ему, южной границей Амурской плиты является Циньлин-Дабэшаньский орогенный пояс. Основанием для этого послужило геодинамическое единство литосферной плиты в таких границах. Но этому противоречит резкое различие структуры литосферы и распределения сейсмичности на Северо-Китайской платформе и Амурской плите.

Нами построены плотностные разрезы литосферы и астеносферы по геотрансекту Дун Учжимцин–Дунгоу [23, 34] и сейсмическому профилю Инсянь–Цзыбо. Первый из них под углом в юго-восточном направлении пересекает палеозойские орогенные пояса северного обрамления Северо-Китайской платформы, Яньшаньский и Ляодунский блоки этой платформы. На этом профиле выполнены сейсмические (ГСЗ) и геоэлектрические (МТЗ) измерения, магнитные и гравиметрические съемки в полосе 100 км. Профиль ГСЗ Инсянь–Цзыбо расположен внутри платформы и Северо-Китайской литосферной субплиты. Он проходит в юго-восточном направлении через рифтовую систему грабенов Шаньси, рифтовую систему Хэхуайского блока Северо-Китайского осадочного бассейна.

Плотностной разрез земной коры на профиле Дун–Дунгоу дифференцирован (рис. 3а). Наблюдается падение наклонных зон повышенной плотности как под платформу, так и под складчатое обрамление, которое сопровождается надвигами на каледонский орогенный пояс. Четко выделяется поднятие кровли астеносферы, соответствующее Шарамурэнской (Ондор-Сумской) зоне одноименного каледонского пояса. В этой зоне распространены глаукофановые сланцы и офиолиты, выделена субдукционная зона северо-западного падения [36] на склоне поднятия в земной коре. Это поднятие транслируется с подошвы литосферы. Подъем кровли астеносферы прослеживается в виде вертикальной зоны пониженной плотности в литосферной мантии и нижней коре. В средней и верхней коре эта зона венчается купольной структурой повышенной плотности, конформной поднятию кровли астеносферы, очерченной разломами: с северо-запада – литосферным, с юго-востока – сквозьлитосферным Шарамурэнским (13 на рис. 3а).

Другой подъем кровли астеносферы наблюдается под впадиной Сяляохэ и эпицентром крупного Хайченского землетрясения в борту этой впадины. Два сопряженных блока повышенной на северо-западе и пониженной на юго-востоке плотности в литосферной мантии размещаются выше поднятия кровли астеносферы под, соответственно, впадиной Сяляохэ и очагом Хайченского землетрясения. В верхней части земной коры можно заметить слабо выраженную купольную структуру с падением юго-восточного низкоплотного крыла под Ляодунское поднятие платформы.

Следует обратить внимание на распределение плотности в слоях литосферы и верхней части астеносферы профиля Дун–Дунгоу. В однослойной литосфере наблюдается увеличение плотности в сторону океана и полная сходимости измеренной гравитационной кривой и рассчитанного гравитационного эффекта [25]. В литосферной мантии картина обратная, уменьшение плотности в юго-восточном направлении. В земной коре распределение плотности четко не выражено, а рассчитанный гравитационный эффект земной коры ниже положения наблюдаемой кривой, но конформен ей по характеру [25, рис. 2]. В астеносфере плотность уменьшается в сторону океана.

По данным МТЗ, на трансекте Дун–Дунгоу отрезок северной границы Северо-Китайской платформы отмечается неоднородным строением [34]. Он отвечает кайнозойской впадине Сяляохэ и Хайченскому землетрясению. Плотностной разрез литосферы этого отрезка профиля описан выше. Здесь наблюдается уменьшение мощности литосферы до 90 км, появление области пониженного электрического сопротивления верхней мантии и проводящего слоя в подошве земной коры, наличие зон вертикальных неоднородностей. Далее на юго-восток геоэлектрический разрез становится более однородным. При движении с северо-запада на юго-восток отмечается увеличение электрического сопротивления литосферы.

Большинство границ в земной коре на плотностном разрезе литосферы и астеносферы профиля Инсянь–Цзыбо (рис. 3б) имеют юго-восточное падение в сторону океана, включая Тайханскую гравитационную ступень хребта Тайханшань, но к востоку от нее эта закономерность сглаживается с переходом на вертикальные границы. В литосферной мантии этот район отмечается блоком повышенной плотности, над западным краем которого фиксируется гравитационная ступень. Кровля астеносферы под рифтовой системой Северо-Китайской плиты приподнята. Изменение плотности в литосферной мантии в сторону ее уменьшения происходит как к востоку, так и к западу от глубинного мантийного разлома Чанчжи-

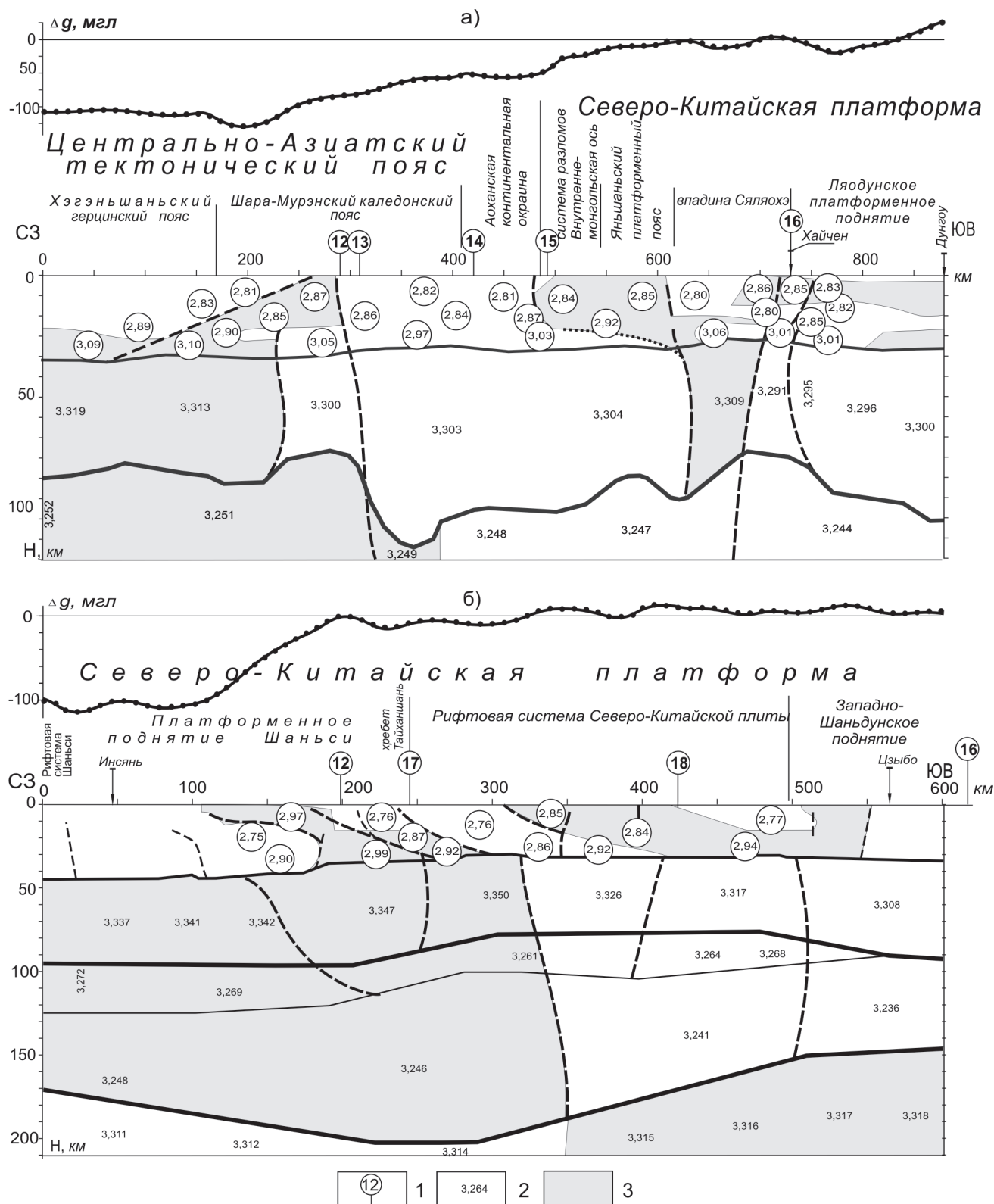


Рис. 3. Гравитационные (плотностные) модели литосферы по профилям: а) Дун Учжимцин-Дунгоу, б) Инсянь-Цзыбо.

1 – разломы, цифрам в кружках соответствуют названия: 12 – Чанчжи-Нэньцзын, 13 – Шара-Мурэнский, 14 – Бэйянь-Даань, 15 – Внутренне-Монгольская ось, 16 – Тан-Лу, 17 – Чжосянь-Шицзяхжуань, 18 – Ляохэ-Ланькао; 2 – значения вычисленных плотностей, г/см³, 3 – плотности, выше относительно средних значений в каждом слое. Другие обозначения см. на рис. 2

Нэньцзян (12 на рис. 3а и 3б). Уменьшение плотности в астеносфере в сторону океана наблюдается по всему профилю от западного края до восточного. В подастеносферной мантии уменьшение плотности обратное – с востока на запад. Еще более четкая тенденция изменения величины плотности в сторону океана наблюдается к востоку от разлома Чанчжи-Нэньцзян: земная кора – увеличение, литосферная мантия – уменьшение, верхний слой астеносферы – увеличение, нижний слой астеносферы – уменьшение, подастеносферная мантия – увеличение. Такое чередование изменения плотности в сторону океана по слоям на профилях Дун–Дунгоу и Инсянь–Цзыбо может быть связано с изостатическим уравниванием региона. С другой стороны, возможно влияние Тихоокеанской плиты на распределение плотности в литосфере и астеносфере.

Исходя из изложенного, южную границу Амурской плиты предпочтительно проводить вдоль северного края Северо-Китайской платформы с учетом надвигов преимущественно кристаллических толщ платформы на складчатое обрамление.

Западная граница Амурской плиты

Эта граница плиты большинством исследователей устанавливается по меридианам 102° – 105° в.д. На карте сейсмичности Китая и сопредельных стран здесь проходит Север-Южный сейсмический пояс [16]. Помимо этого на той же карте и на тех же меридианах наблюдается смена областей резко повышенной к западу и слабой к востоку сейсмичности. Обстановка похожа на распределение сейсмичности в Северо-Китайской субплите, только более контрастная.

В.И. Драгунов [7] протягивал вдоль 105° в.д. Трансазиатский линеймент по ряду геолого-географических признаков, который пересекает Китай, Монголию и Сибирь России. Академик Чень Гога [31] выделил здесь гигантский тектоно-металлогенический пояс, который разделил территорию к западу и востоку от пояса по возрасту рудной минерализации. Структурные и металлогенические характеристики этой границы рассмотрены в работе [7].

Ма Синьюань [37] показал разную геодинамическую природу сейсмического пояса по его простиранию: в Китае – область сжатия, в Монголии – правый сдвиг.

Глубинный аспект рассматриваемой границы изучал Ю.А. Зорин [12], который построил карту мощности литосферы этого района по поверхностным сейсмическим волнам. На ней четко отмечается субмеридиональная литосферная ступень на меридиане 103° в.д. между 44° и 52° с.ш.

Дополнительно к данным о литосферной ступени обратим внимание на пояс пониженных значений мощности литосферы, рассмотренный выше при описании северной границы Амурской плиты, протягивающийся на юг от Байкальского рифта (рис. 5). Он обрамляет литосферную ступень с запада в полосе 103° – 100° в.д. По изменению мощности литосферы с запада на восток можно предполагать крутое погружение литосферных масс под Амурскую плиту, представленных соседствующими блоками литосферы: Хангайским, Южно-Гобийским, Бейшанским [6].

К сожалению, сейсмические профили, которые пересекали бы западную границу Амурской плиты, отсутствуют. Единственный Центральный Северо-Монгольский геотрансект проходит вдоль меридиана 100° в.д., но этот разрез не выходит по глубине за рамки земной коры, и на нем показаны главным образом верхнекоровые плотностные неоднородности, не несущие информации о характере сочленения плит [13].

Восточная граница Амурской плиты

Вопрос восточной границы Амурской плиты дискуссионен. Л.П. Зоненшайн и А.Н. Савостин [11], Л. М. Парфенов с соавторами [22] принимают в качестве нее Сахалинский сейсмический пояс. Т.К. Злобин [9] отмечает ступенчатый характер границы при движении с юго-западного окончания острова к северо-восточному и наклонное положение разломов, контролирующих сейсмичность. Косое положение границы между Амурской и Охотоморской плитами по отношению к о. Сахалину обуславливает размещение Северного Сахалина в Амурской плите, а Южного – в Охотской.

Другой вариант восточной границы Амурской плиты связан с системой разломов Тан-Лу.

В.С. Имаев с соавторами [14] в качестве этой границы принимают Итун-Иланьскую ветвь разломов Тан-Лу (20, рис. 4), считая ее крупнейшей правосдвиговой системой в регионе. Следует отметить, что кайнозойские сдвиги Тан-Лу малоамплитудны по сравнению с действительно крупнейшей левосдвиговой системой этих разломов в мезозое.

Примерно там же проводят границу между Амурским и Японо-Корейским блоками Ю.Г. Гатинский с соавторами [5, 6].

Ма Синьюань [37] разделяет Амурскую субплиту на два блока: Сунляо-Хинганский и Чанбайский. Он проводит границу между ними по Итун-Иланьскому разлому.

Построенные нами плотностные разрезы литосферы не выходят за пределы континента. У нас нет достаточных данных, чтобы изучать первый вариант

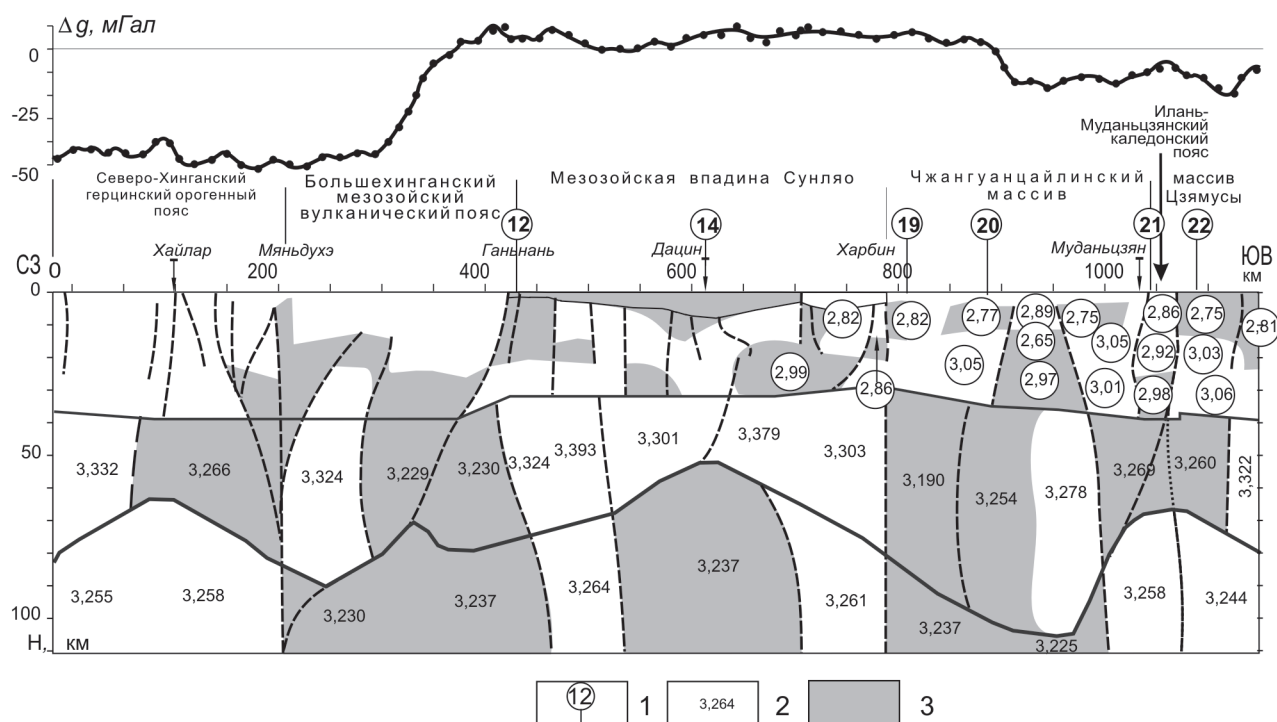


Рис. 4. Гравитационные (плотностные) модели литосферы по профилю Маньжурия–Суйфэньхэ.

1 – разломы, цифрам в кружках соответствуют названия: 12 – Чанчжи-Нэньцзян, 14 – Бэйянь-Даань, 19 – Чанчуньский, 20 – Итун-Иланьский, 21 – Муданьцзянский, 22 – Дун-Ми; 2 – значения вычисленных плотностей, г/см³, 3 – плотности ниже относительно средних значений в каждом слое. Другие обозначения см. на рис. 2

границы. Поэтому мы ограничимся рассмотрением разрезов литосферы, пересекающих систему разломов Тан-Лу.

Профиль Маньжурия–Суйфэньхэ пересекает в восточной своей части серию разломов северо-восточного простирания системы Тан-Лу: Чанчуньский, Итун-Иланьский и Дун-Ми (19, 20, 23, рис. 4). По результатам гравитационного моделирования все разломы имеют сквозьлитосферный характер. Наиболее четко выделяется субвертикальный Чанчуньский разлом, который ограничивает с запада Чжангуанцайлинский массив. Итун-Иланьский разлом, расположенный восточнее, в земной коре разделяет геологические образования повышенной и пониженной плотности и имеет крутое северо-западное падение. В литосферной мантии эти разломы ограничивают с запада и востока неоднородность anomalно пониженной плотности (3,19 г/см³). Возможно, этот блок anomalно литосферной мантии являлся структурно неустойчивым и имеет признаки мантийного диапиризма. Здесь наблюдается сокращение мощности до 30 км вдоль Чанчуньского разлома и повышенная плотность земной коры над низкоплотным блоком литосферной мантии. На моделируемом профиле

разлом Дун-Ми пространственно сближен с пересечением меридионального Муданьцзянского разлома, который ограничивает Чжангуанцайлинский массив с востока. Вдоль Муданьцзянского разлома расположен реликт геологических образований Илань-Муданьцзянского каледонского орогенного пояса. В области сочленения этих структур находится купол астеносферы. Западная часть купола сложена anomalно плотными, а восточная – anomalно низкоплотными породами мантийного вещества. В земной коре разломы достаточно хорошо прослеживаются до ее подошвы и имеют крутопадающий характер. В литосферной мантии Муданьцзянский разлом явного продолжения не имеет, а корреляция разлома Дун-Ми неоднозначна. Наиболее вероятным представляется его выполаживание в западном (в северо-западном) направлении, сопряжение с западным склоном купола астеносферы и далее погружение в нее вдоль границы максимального контраста плотности. Менее вероятным является прослеживание этого разлома по вертикали с выходом на вершину купола астеносферы и продолжением вдоль его высокоплотной неоднородности. Среди разломов системы Тан-Лу, предполагающихся в пределах единого литосферного

блока, разлом Дун-Ми является предпочтительным в качестве границы Амурской плиты.

Разлом Дун-Ми по всему простиранию насыщен выходами кайнозойских базальтов, а на территории России он продолжается Алчанской вулканической зоной. Б.А. Натальин и С.Н. Алексеенко [19] наращивают к северу Дун-Ми-Алчанский разлом Амурской сутурой.

Продолжение Итун-Иланьского разлома на российской территории точно не определено. В.В. Николаев [20] предлагает таковым считать Курский разлом.

Восточное ограничение Амурской плиты методом МТЗ изучено лишь в зонах разломов Тан-Лу: Итун-Иланьской и Дун-Ми-Алчанской. На геоэлектрических разрезах эти разломы характеризуются по-разному. Итун-Иланьский разлом выделяется в геоэлектрическом разрезе мощной вертикальной неоднородностью повышенного сопротивления, охватывающей земную кору и часть литосферной мантии, а разлом Дун-Ми-Алчанский – наоборот, хорошо развитой зоной низкого сопротивления, секущей литосферу, наклоненной под Амурскую плиту.

Таким образом, восточная граница Амурской плиты наиболее сложна. Намечаются два варианта ее положения: Сахалинский сейсмический пояс с продолжением на Японские острова и система разломов Тан-Лу. Нам представляется возможность совмещения этих двух вариантов следующим образом. Наиболее четко прослеживается граница, которая с юга по разлому Тан-Лу от Циньлин-Дабэшаньского орогенного пояса протягивается до разлома Дун-Ми, далее по нему, Алчанскому разлому и Амурской сутуре примерно к мысу Невельского. На всем протяжении эта граница уточняется по карте мощности литосферы. Далее она продолжается на Сахалин, где, учитывая данные Т.К. Злобина, отсекает Северный Сахалин, включая его в контуры Амурской плиты. В этом случае необходимо присутствие Японо-Корейского литосферного блока, выделенного Ю.Г. Гатинским и Д.В. Рундквистом [5], западная граница которого уточнена нами по геофизическим расчетам.

Структура литосферы Амурской плиты

Суммируя проведенные исследования глубинного строения структур ограничения Амурской плиты, выделенных априорно по литературным данным по распределению сейсмичности и геологическим соображениям, можно уточнить расположение этих границ по их выраженности в глубинных, главным образом плотностных, разрезах литосферы. Тем не менее, учитывая, что эти границы вряд ли представляют собой линии, а скорее всего являются поясами достаточно сложного глубинно-

го строения, целесообразно рассмотреть глубинную структуру Амурской плиты в целом.

Изучение структуры литосферы Амурской плиты основывалось на ее уточненных по глубинным разрезам границах и составленной нами карты мощности литосферы. В результате была построена трехмерная модель литосферы Амурской плиты, на которой в плане показано распределение участков с мощностью литосферы менее 100 км, обозначенных на рис. 5 темными оттенками, и более 100 км – светлыми. Третья координата представлена в цифровой форме в виде изолиний мощности литосферы или глубины до ее подошвы (рис. 5).

На схеме четко видно, что эта структура обрамлена поясом поднятий кровли астеносферы (сокращенной мощности литосферы), оконтуривающим внутреннюю структуру плиты преимущественно утолщенной литосферы. Наиболее протяженный пояс этих поднятий прослежен вдоль западной и северной границ плиты. На юге он сменяется блоком Северо-Китайской платформы, а на востоке – Японо-Корейским блоком литосферы. Полосу редуцированной литосферы мы рассматриваем в качестве границы Амурской плиты. Внутренний блок утолщенной литосферы большинство исследователей [5, 6, 32, 33, 36, 37] относят к собственно Амурской плите (микроплите, субплите, блоку).

Амурская плита характеризуется слабой сейсмичностью, а пограничный пояс ее обрамления (граница плиты) – высокой. Обрамление литосферной плиты в тектоническом отношении представлено орогенными поясами различного возраста – от каледонского (Забайкальский, Селенга-Становой) до герцинско-мезозойского (Монголо-Охотский) и позднемелового (Сихотэ-Алинский) – и, частично, активными окраинами Сибирской и Северо-Китайской платформ.

Наиболее четко на глубинных разрезах и в структуре рельефа подошвы литосферы прослежена внутренняя граница полосы обрамления. Внешняя ее граница обозначена на севере, северо-западе и западе. На юге и востоке из-за отсутствия кондиционных сейсмических профилей ГСЗ эта граница определена с меньшей точностью и требует доизучения с привлечением дополнительно информации, в том числе по рельефу подошвы литосферы.

Форма Амурской плиты, включая ее обрамление, близка кольцевой. На северо-востоке и, возможно, юго-западе предполагаемое кольцо разорвано. Внутренняя структура плиты неоднородна. На севере и западе протягивается сопряженный с поясом поднятий пояс погруженных до 150 км участков литос-

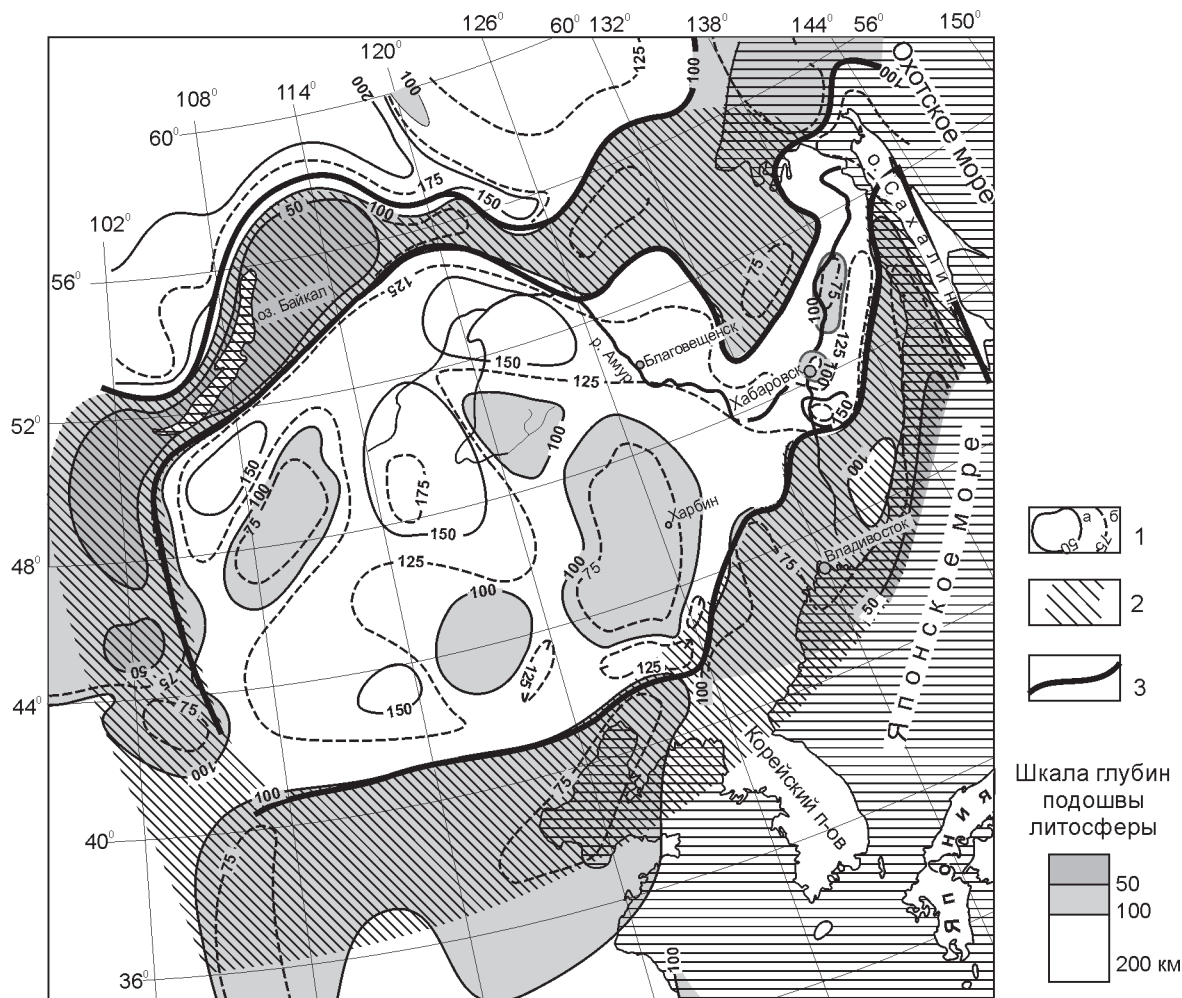


Рис. 5. Трехмерная модель литосферы Амурской плиты.

1 – изолинии мощности литосферы: а) – основные, б) – промежуточные; 2 – полоса редуцированной литосферы обрамления Амурской плиты – граница плиты; 3 – установленные по результатам геофизического моделирования ограничения пограничной полосы.

феры. Интересно отметить, что почти на всем протяжении он совпадает с бассейном р. Амур от верховьев до устья, где происходит разрыв кольца обрамления. Южная часть внутренней структуры плиты имеет блоковое строение, где наряду с погруженными участками литосферы наблюдаются приподнятые ее блоки. Наиболее крупное поднятие кровли астеносферы отвечает осадочному бассейну Сунляо, характеризующемуся мантийным диапиризмом с поступлением мантийных пород как минимум в среднюю часть земной коры [25].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенные исследования глубинного строения структур ограничения Амурской плиты позволили нам уточнить расположение этих границ по их выраженности в объемной структуре литосферы (рис. 5).

По классическому определению литосферных плит, которое присутствует в понятии тектоники литосферных плит [3], их границы явным образом устанавливаются по сейсмическим поясам. Параметр мощности плиты присутствует в неявном виде. При выделении основных современных тектонических плит на глобальном уровне различий среди исследователей практически не существует (www.iris.edu/seismin/imgs/plates.gif). Плиты, 13 объектов, в данном случае выделяются по сейсмическим поясам, параметр глубины не привлекается. Подобная делимость хорошо соответствует еще одному современному геодинамическому признаку – горизонтальным перемещениям земной поверхности, которые установлены в результате экспериментальных наблюдений за станциями VLBI и GPS в системе ITRF-97 (<http://sideshow.jpl.nasa.gov/mbh/series.html>). На этом уровне

Амурская плита по заданным признакам не проявляется. При использовании иных каталогов по распределению землетрясений, если принимать во внимание не только линейную сейсмическую активность, но и плотность распределения сейсмических событий по площади, Амурская плита начинает просматриваться в виде обособленного пространственного объекта [1]. Здесь уже отчетливо видно, что площадь, занимаемая Амурской плитой, с севера ограничена сложно построенной линейной зоной сейсмичности. Восточная граница представлена линейным сейсмическим поясом, протягивающимся от острова Хонсю до северной границы острова Сахалин. При рассмотрении площадного распределения сейсмичности видно, что пространство, принадлежащее Амурской плите, менее сейсмично, чем территории, прилегающие к ней с запада и юга. При более детальных глубинных исследованиях литосферы и анализе плотности землетрясений с магнитудой ≥ 4 нам удалось локализовать площадь, занимаемую Амурской плитой.

Особенностью Амурской плиты, по нашим построениям, является хорошо выраженная общая структура, несмотря на ее тектоническую гетерогенность. В ее состав входят фрагменты орогенных поясов различного возраста, начиная от раннепалеозойского (Забайкальского) на западе и до поздне мелового Сихотэ-Алинского на востоке. Глубинные структурные особенности плиты отражаются как в строении структур ограничения, так и в своеобразном строении ее внутренней части.

Сравнение построенной нами литосферной структуры Амурской плиты с геологическими и тектоническими картами региона обнаруживает черты как сходства, так и различия. Относительное совпадение наблюдается в контурах обрамления литосферной структуры. К ним относятся орогенные пояса: Сихотэ-Алинский, Монголо-Охотский, Селенга-Становой, Забайкальский; частично Северо-Китайская платформа и Становая гранит-зеленокаменная область.

Противоположная ситуация устанавливается для внутренней части литосферной структуры. Следует отметить, что в геофизических полях тектонические элементы внутренней части структуры не всегда фиксируются. Так, Большехинганский вулканический пояс не картируется в магнитном поле в отличие от Восточно-Сихотэ-Алинского и Охотско-Чукотского. В то же время, все указанные вулканические пояса отмечаются гравитационными ступенями. Докембрийские массивы (микроконтиненты) не полностью картируются в геофизических полях, особенно это характерно для гравитационного поля.

Локальными литосферными поднятиями (сокращение мощности литосферного слоя) в пределах внутренней части литосферной структуры выделяются лишь мезозойско-кайнозойские осадочные бассейны: Сунляо и фрагментарно Среднеамурский. Крупное поднятие кровли астеносферы, которое наблюдается в осадочном бассейне Сунляо и пересекается профилем Манчжурия–Суйфэньхэ, скорее всего, связано с процессами мантийного диапиризма [25].

Проявления новейшей геодинамической активности находят отражение в структурных элементах литосферы. В северо-западной области глубинного обрамления Амурской плиты расположена современная зона растяжения земной коры. Это собственно Байкальский рифт и его продолжение на северо-восток в виде кайнозойских осадочных впадин. Несмотря на единую геодинамическую характеристику рифтовой системы, перманентное растяжение, ее глубинная характеристика не столь однородна. Если озеро Байкал расположено в области сокращенной мощности литосферы (50 км), то Верхнеангарская, Муйско-Куандинская, Верхнечарская и частично Верхнетоккинская впадины расположены в зоне максимального градиента изменения мощности литосферы, обрамляющего полосу поднятий с северо-запада. Современные разломные системы, вдоль которых формируется гидрографическая сеть, порой соответствуют глубинным структурным элементам литосферы. Бассейн р. Амур на всем протяжении от верховьев до устья реки совпадает с погруженным литосферным поясом, расположенным во внутренней части литосферной структуры.

Структурные особенности глубинных границ Амурской плиты проявляются и в вещественных характеристиках. Сопоставление литосферной структуры Амурской плиты с известным ареалом мезозойско-кайнозойских гранитоидов [27] свидетельствует об их структурном подобии. При этом контуры западного, южного и западной части северного ограничений ареала соответствуют границам внутренней структуры литосферной модели, а восточного звена гранитоидного ареала – восточной границе контура обрамления модели. На уровне поверхности Мохо такое подобие структур отсутствует. При дальнейшем анализе общее структурное подобие по иным, геохронологическим признакам становится более сложным. Структура ареала мезозойско-кайнозойских гранитоидов распадается на ряд фрагментов. Северо-западный фрагмент сложен триас-юрскими гранитоидными комплексами, а противоположный ему юго-восточный фрагмент – мел-палеогеновыми. С учетом имеющегося омоложения в юго-вос-

точном направлении гранитоидного магматизма (поздний мел, палеоген) можно сделать вывод о том, что после закрытия в поздней юре Монголо-Охотского океана [22] происходило неодновременное становление будущих структурных ограничений современной Амурской плиты. Соответствие крупного астеносферного поднятия Байкальской рифтовой системе в северо-западном обрамлении и подобное соответствие на юго-восточном обрамлении – здесь расположена позднемиоценовая зона спрединга Японского моря, свидетельствует, по нашему мнению, об окончательном формировании морфологии литосферного слоя изучаемого региона не ранее этого времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наши исследования позволили рассмотреть глубинную структуру границ обрамления современной Амурской литосферной плиты, выявить морфологические особенности подошвы литосферного слоя, получить ряд модельных значений геофизических параметров вдоль построенных глубинных профилей. Основные выводы проведенного исследования следующие:

1. Построена трехмерная модель литосферы Амурской плиты, которая имеет близкое к кольцевому строение с погруженной более чем на 50 км внутренней частью и приподнятым на такую же величину кольцевым обрамлением.

2. Обрамление литосферной структуры представлено орогенными поясами (Монголо-Охотским, Селенга-Становым, Забайкальским, Сихотэ-Алинским) и окраинами Сибирской и Северо-Китайской платформ.

3. Построены глубинные разрезы пересечения границ Амурской плиты, которые характеризуются моделями мантийного диапиризма с преимущественно двусторонним наклонным падением их ограничений, что отвечает структуре обрамления литосферной плиты. К признакам мантийного диапиризма мы относим подъем кровли астеносферы и пониженную плотность в ней, наличие плотных блоков в земной коре либо в литосферной мантии. Но характер распределения последних может быть разным [23, 25, 26].

Работа выполнена в рамках проекта ДВО РАН 06-ОНЗ-110.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов Н.А., Хаин В.Е. (отв. редакторы). Объяснительная записка к тектонической карте Охотоморского региона масштаба 1:2 500 000. М., 2000. 193 с.
2. Борукаев Ч.Б. Справочник по современной тектонической терминологии. Новосибирск, 1997. 36 с.
3. Брянский Л.И. Плотностная структура земной коры и верхов мантии восточной окраины Азиатского континента. Владивосток: Дальнаука, 1995. 143 с.
4. Булин Н.К., Афанасьева Н.А. и др. Глубинный разрез юго-востока Сибирской платформы и ее складчатого обрамления по сейсмологическим данным // Сов. геология. 1972. № 10. С. 134–140
5. Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В. Геодинамика Евразии – тектоника плит и тектоника блоков // Геотектоника. 2004. №1. С. 3–20.
6. Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В., Тюпкин Ю.С. Блоковые структуры и кинематика Восточной и Центральной Азии по данным GPS // Геотектоника. 2005. №5. С. 3–19
7. Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В., Черкасов С.В. Геораздел 102–103° востока Азии: структурные и металлогенические признаки // Материалы 38 Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2005. Т. 1. С. 127–130.
8. Драгунов В.И. Транссибирский, Трансазиатский, Кольско-Монголо-Алтайский линейменты и некоторые вопросы минерации // Материалы геологических явлений. Л.: ВСЕГЕИ, 1965. С. 55–57.
9. Злобин Т.К. Строение земной коры Охотского моря и нефтегазоносность ее северо-восточной (прикамчатской) части (по сейсмическим данным). Южно-Сахалинск: Изд-во СахГУ, 2002. 97 с.
10. Золотов Е.Е., Ракитов В.А. Структура литосферы Приамурья по данным МОВЗ-ГСЗ // Региональная геология и металлогения. 2000. №10. С. 94–97.
11. Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А. Введение в геодинамику. М.: Недра, 1979. 311 с.
12. Зорин Ю.А., Новоселова М.Р. и др. Строение литосферы Монголо-Сибирской горной страны // Геодинамика внутриконтинентальных горных областей. Новосибирск: Наука, 1990. С. 143–154.
13. Зорин Ю.К., Беличенко В.Г., Турутанов Е.Х. и др. Центральный Сибирско-Монгольский трансект // Геотектоника. 1993. № 2. С. 3–19.
14. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. и др. Буферные сейсмогенные структуры между Евразийской и Амурской литосферными плитами на юге Сибири // Тихоокеан. геология. 2003. Т. 22, № 6. С. 55–61.
15. Каплун В.Б. Геоэлектрическое строение Верхнеамурского района по данным магнитотеллурических зондирований // Тихоокеан. геология. 2004. Т. 25, № 4. С. 33–57.
16. Карта сейсмичности Китая и сопредельных стран. 1:6 000 000. Пекин: Изд-во Сейсмология, 1987 (на кит. яз.)
17. Лобковский Л.И., Никишин А.М., Хаин В.Е. Современные проблемы геотектоники и геодинамики. М.: Науч. мир, 2004. 612 с.
18. Малышев Ю.Ф., Романовский Н.П., Подгорный В.Я. и др. Глубинное строение структур ограничения литосферных плит Восточной Азии // Тектоника, глубинное строение и минерация Востока Азии. V Косыгинские чтения. Хабаровск. Изд-во ИТиГ ДВО РАН. 2006. С. 97–100.
19. Натальин Б.А., Алексеев С.Н. Тектоника фундамента Среднеамурской впадины. Владивосток: Изд-во ДВО РАН, 1999. 57 с.

20. Николаев В.В. Тан-Лу-Курский разлом – структура фундамента и сейсмичность // Проблемы тектоники, минеральные и энергетические ресурсы Северо-Западной Пацифики. Материалы международного совещания. Хабаровск, 1992. С. 81.
21. Парфенов Л.М., Попеко Л.И., Томуртоого. Проблемы тектоники Монголо-Охотского орогенного пояса // Тихоокеан. геология, 1999. Т. 10, №5. С. 24–43.
22. Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И. и др. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеан. геология. 2003. Т. 22, № 6. С. 7–41.
23. Подгорный В.Я., Малышев Ю.Ф. Послойное моделирование литосферы (на примере геотраверса Дун Учжуцзинь – Дунгоу) // Тихоокеан. геология. 1988. Т. 17, № 4. С. 93–106.
24. Подгорный В.Я. Методика послойного определения плотности // Тихоокеан. геология. 1995. Т. 14, № 6. С. 103–108.
25. Подгорный В.Я. Послойное плотностное моделирование литосферы (на примере геотраверса Манчжурия – Суйфэньхэ) // Строение и эволюция Востока Азии: II Косыгинские чтения. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 1999. С. 175–197.
26. Подгорный В.Я., Малышев Ю.Ф. Плотностное строение литосферы Алдано-Станового щита // Геофизический журнал. 2006. Т. 28, № 1. С. 68–81.
27. Романовский Н.П. Петрофизика гранитоидных рудно-магматических систем Тихоокеанского пояса. М.: Наука, 1987. 190 с.
28. Сорокин А.А. Геодинамическая эволюция восточного сегмента Монголо-Охотского орогенного пояса: Автореф. дис... д-ра геол.-минер. наук. СПб, 2005. 48 с.
29. Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов: Объяснительная записка к тектонической карте масштаба 1:1 500 000. Владивосток – Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2005. С. 264.
30. Хаин В.Е. Глобальная геодинамика на пороге нового века // Геотектоника. 2002. № 4. С. 3–15.
31. Чень Гоода. Гигантский тектоно-металлогенический Китайско-Монгольский пояс меридионального простираения в Восточной Азии // Резюме статей IV Советско-Китайского симпозиума. Пекин. 1990. С. 1–2.
32. Шевченко Б.Ф., Каплун В.Б. Глубинное строение и кинематика области сочленения Евразийской и Амурской плит (Монголо-Охотское звено) // Тихоокеан. геология. 2005. Т. 24, № 6. С. 16–25.
33. Chen Debing, Fan Yujie, Zhao Hongwu. Analysis of the genesis of Mesozoic volcanic formations in the northeast China and adjacent area // Geology and Resources. 2001. V. 10, N 2. P. 65–70.
34. Global geoscience transect 13. Dong Ujimqin to Donggou (compilers: Lu Zaoxun, Xia Huaikuan). Beijing. Seismological press. 1992.
35. Heki K., Miyazaki S., Takahashi H. et al. The Amurian plate motion and current plate kinematics in eastern Asia // Journal of Geophysical Research. 1999. V. 104, N 12. P. 29.147–29.155.
36. Lin Ge, Wong Yanghua, Fen Guo et al. Geodynamic modeling of crustal deformation of the North China block: a preliminary study // Journal of Geophysics and Engineering, 2004. N 1. P. 63–69.
37. Ma Xingyuan (chief compiler). Lithospheric dynamics map of China and adjacent seas. Scale 1:4 000 000. Beijing: Geol. Publish. House. 1987.
38. Ma Xingyan, Wu Daning. Cenozoic extensional tectonics in China // Tectonophysics. 1987. V. 133, N 3/4. P. 243–256.
39. Sengor A.M., Natal'in B.A. Paleotectonics of Asia: fragments of a synthesis // The tectonic evolution of Asia. Cambridge University Press. P. 486–640.
40. Zhai Yusheng, Deng Jun, Tang Zhongli et al. Metallogenic systems on the paleocontinental margin of the North China craton // Acta Geologica Sinica. 2004. V. 78, N 2. P. 592–603.

Рекомендована к печати

С.М. Родионовым

Yu.F. Malyshev, V.Ya. Podgorny, B.F. Shevchenko, N.P. Romanovsky, V.B. Kaplun, P.Yu. Gornov

Deep structure of the bounding zone structures of the Amur lithospheric plate

The deep structure of the bounding zone structures of the Amur plate has been studied. Seismogravity (density) and geoelectrical sections of the lithosphere have been constructed which cross the geologically and seismically distinguished plate boundaries, and the three-dimensional model of the Amur plate lithosphere has also been produced. The model has a structure close to the ring one with a relatively subsided for 50 km and a more inner part, and uplifted framing. The framing of the lithospheric structure is represented by the orogenic belts (Mongol-Okhotsk, Selenga-Stanovoy, Transbaikal, and Sikhote-Alin) and margins of the Siberian and North China platforms. The plate boundaries are characterized by models of mantle diapirism with mainly a two-sided oblique dip of the bounding zone structures of the framing belts.

Key words: lithospheric plate, plate boundaries, three-dimensional model of the lithosphere, deep sections.