

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОХИМИИ ИМ. АКАДЕМИКА А.Н. ЗАВАРИЦКОГО  
УРАЛЬСКАЯ СЕКЦИЯ МЕЖВЕДОМСТВЕННОГО ТЕКТОНИЧЕСКОГО КОМИТЕТА  
УРАЛЬСКИЙ ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ СОВЕТ

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
24-26 апреля 2007 г.

**ГЕОДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ  
ПОДВИЖНЫХ ПОЯСОВ ЗЕМЛИ**

МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

Екатеринбург  
2007

**Геодинамика формирования подвижных поясов Земли. Материалы международной научной конференции.** Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2007. 402 с. ISBN 5-94332-059-8.

Сборник содержит материалы докладов Международной научной конференции «Геодинамика формирования подвижных поясов Земли». В докладах рассматриваются общие проблемы глубинной геодинамики, включающие вопросы соотношения плейт- и плюмтектонических процессов, а также проблемы мантийно-корового взаимодействия во внутриконтинентальных подвижных поясах, океанических и окраинноморских обстановках.

Редакционная коллегия:

Академик В.А. Коротеев (ответственный редактор), д.г.-м.н. А.И. Русин (зам. ответственного редактора), д.г.-м.н. Г.Б. Ферштатер (зам. ответственного редактора), к.г.-м.н. Е.Н. Волчек (ученый секретарь).

*Издание подготовлено при финансовой поддержке РФФИ (грант 07-05-06010-г)*

11. Мантийные плюмы и металлогения. Мат-лы междунар. симп. Петрозаводск-Москва: Изд-во «ПРОБЕЛ-2000», 2002. 515 с.
12. Сафонова И.Ю., Буслов М.М., Кох Д.А. Фрагменты океанической коры Палео-Азиатского океана в Горном Алтае и Восточном Казахстане: геохимия и структурное положение // Литосфера. 2004. № 3. С. 84-96.
13. Сафонова И.Ю. Геохимия внутриплитного океанического вулканизма ЮЗ части Палео-Азиатского океана: эволюция плюмового магматизма от венда до раннего кембрия // Вулканизм и геодинамика. Мат-лы III Всерос. симп. по вулканологии и палеовулканологии. Т. 2. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского НЦ СО РАН, 2006. С. 314-320.
14. Семенов И.В. Палеоокеанический спрединговый вулканизм Урала и реконструкция параметров Уральского палеозойского океана. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 362 с.
15. Семенов И.В. Сравнение строения и состава пород палеозойской океанической спрединговой структуры Урала и современных срединно-океанических хребтов // Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России: Мат-лы XIV Геологического съезда Республики Коми. Т. II. Сыктывкар: Геопринт, 2004. С. 49-51.
16. Семенов И.В. Конвекционно-спрединговые и мантийно-плюмовые процессы в формировании состава базальтов рифта Палеоуральского океана // Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. 2007. С. 158-181.
17. Ферштатер Г.Б., Беа Ф. Геохимическая типизация уральских офиолитов // Геохимия. 1996. № 3. С. 195-218.
18. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Кузьмин В.И. Северо-Азиатский суперплюм в фанерозое: магматизм и глубинная геодинамика // Геотектоника. 2000. № 5. С. 3-29.
19. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И. Глубинная геодинамика, мантийные плюмы и их роль в формировании Центрально-Азиатского складчатого пояса // Петрология. 2003. Т. 11. № 6. С. 556-586.
20. Sun S.-s., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts implication for mantle composition and processes // Magmatism in the Ocean Basins. Geol. Soc. Special Publ. 1989. № 42. P. 313-345.

## ГЛУБИННАЯ ИЗОСТАЗИЯ АЗИАТСКО-ТИХООКЕАНСКОЙ ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ОХОТОМОРСКОГО РЕГИОНА)

Сеначин В.Н.

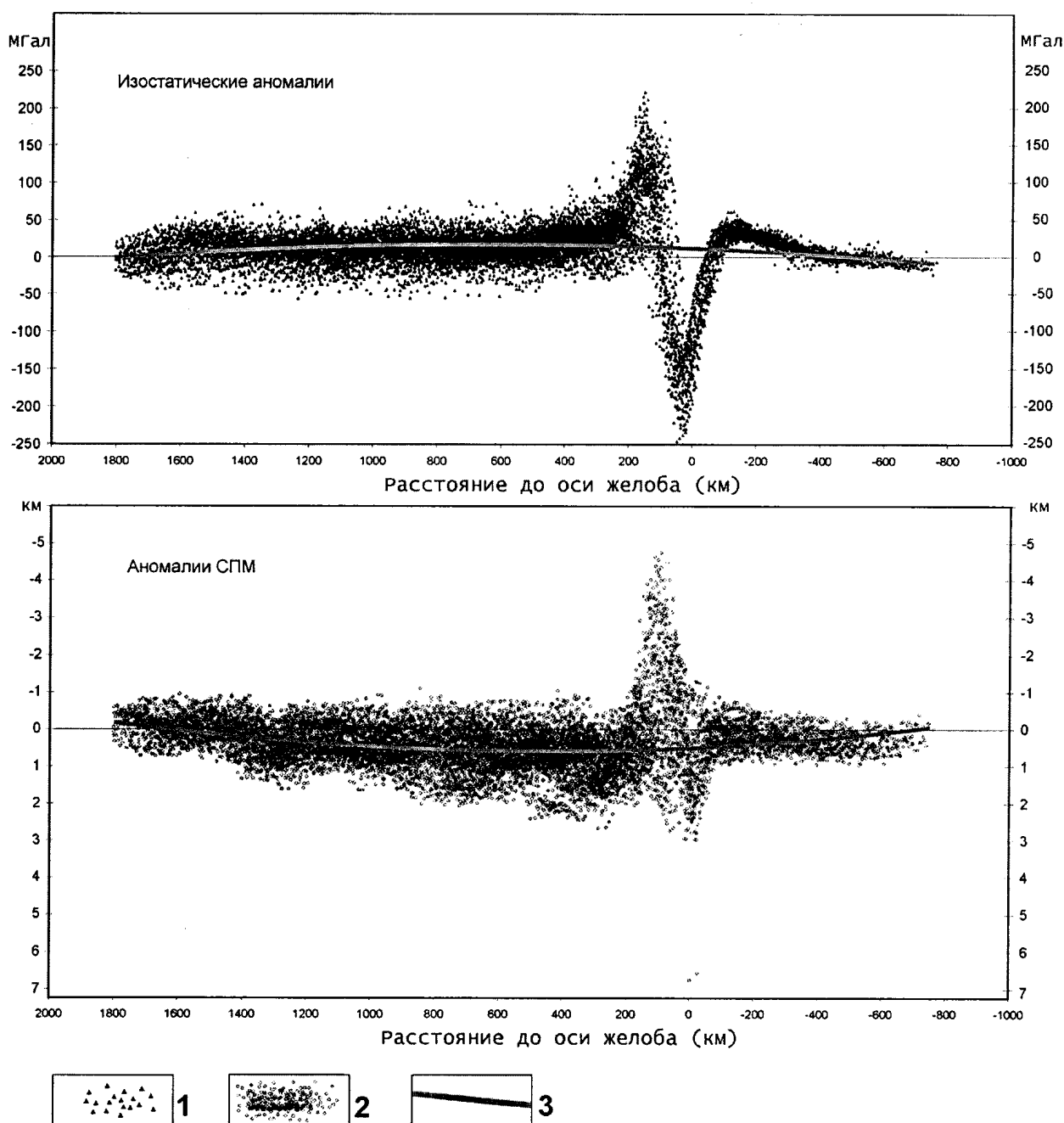
*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, geodyn@imgg.ru*

Зона сочленения Евразийской и Тихоокеанской плит, состоящая из системы взаимосвязанных тектонических структур окраинное море – островная дуга – глубоководный желоб, характеризуется плотностными неоднородностями, распространяющимися по всей глубине тектоносферы. Это проявляется во всех геофизических полях, особенно – в гравитационном поле. Наиболее крупные аномалии гравитационного поля, достигающие нескольких сотен миллигал, наблюдаются в системе островная дуга – глубоководный желоб.

Окраинные моря характеризуются относительно спокойным, несколько повышенным уровнем гравитационного поля, что говорит об их устойчивом, изостатически скомпенсированном состоянии. Повышенный уровень поля указывает на наличие аномальных масс, расположенных, вероятно, глубже уровня изостатической компенсации, т.е. глубже астеносферы [1]. Кроме того, в глубоководных котловинах окраинных морей обнаружено аномальное увеличение глубины «свободной поверхности» мантии.

**«Свободная поверхность» мантии** (далее – СПМ) – это одна из характеристик изостатического состояния земной поверхности. Она показывает, насколько поднята или опущена земная кора относительно нормального положения, соответствующего однородной мантии заданной плотности. По аномалиям СПМ можно судить о степени изостатической нескомпенсированности региона, либо о наличии плотностных неоднородностей в мантии выше уровня изостатической компенсации.

Плотность верхней мантии зависит от температуры и вещественного состава. Температурный режим верхней мантии определяется, прежде всего, возрастом литосферы. Это наглядно про-



**Рис. 1.** Распределение СПМ и изостатических аномалий в зависимости от расстояния до оси желоба в Охотоморском регионе.

1 – расчетные точки изостатических аномалий (в мГал); 2 – расчетные точки аномалий СПМ (в км); 3 – линии тренда, рассчитанные по формулам полинома 2-й степени.

является в глубине океанского дна: чем древнее возраст литосферы, тем она холоднее и плотнее, и тем глубже рельеф дна. В океанах глубина СПМ меняется от 2,5 км в осевых зонах срединно-океанических хребтов до 4,5 км в древних глубоководных котловинах [4]. Индикатором температурного режима верхней мантии может служить мантийный тепловой поток.

Т. Ватанабе с соавторами [7] провели расчет глубины СПМ в котловинах Охотского, Японского, Филиппинского и других морей Азиатской окраины. Они обнаружили, что при одинаковых величинах наблюдаемого теплового потока глубина СПМ в этих структурах всегда больше, чем в океане, не менее чем на 1 км.

При изостатической скомпенсированности глубоководных котловин увеличенная глубина СПМ в них указывает на наличие скомпенсированного уплотнения в мантии. В тоже время, увеличенный фон гравитационного поля также указывает на наличие уплотнения в мантии, но уже

изостатически нескомпенсированного. Логично предположить, что обе аномалии связаны с одним и тем же частично нескомпенсированным уплотнением в мантии. Глубинное расположение данного уплотнения можно определить по степени его пространственного распространения, или по распространению изостатических аномалий: если область распространения аномалий СПМ и гравитационных не выходит за пределы глубоководной котловины, то его глубинное расположение ограничивается пределами литосферы. Если же аномалии распространяются на всю зону окраинного моря и, возможно выходят за его границы, то предполагаемое нами уплотнение следует искать в более глубоких слоях мантии. Должна также наблюдаться зависимость амплитуды аномалии от расстояния до оси желоба, который маркирует пространственное положение зоны конвергенции тихоокеанской плиты, определяющей геодинамическое состояние всей Азиатско-Тихоокеанской зоны сочленения. По этим признакам попробуем определить в распределении аномалий СПМ и гравитационных изостатических наличие глубинной изостатически не до конца скомпенсированной плотностной неоднородности.

На рис. 1 показано рассчитанное автором в Охотоморском регионе [6] распределение аномалий СПМ и изостатических в зависимости от расстояния до оси от желоба и соответствующие им линии тренда. Как видим, линия тренда показывает «прогибание» среднего уровня аномалий СПМ с максимумом около 0,5 км на расстоянии 600-700 км от оси желоба. Изостатические аномалии, напротив, характеризуются нарастанием среднего уровня с максимумом около +20 мГал на той же отметке расстояния до желоба. При этом хорошо видно, что обе аномалии продолжают на океанической стороне от желоба.

Был также проведен расчет аномалий СПМ и изостатических гравитационных в северо-западной части Тихого океана с целью обнаружения продолжения аномалий СПМ, выявленных в окраинных морях на океанической стороне. Обнаружение данных аномалий в океане затруднено из-за влияния изостатически нескомпенсированного окраинного вала, который распространяется на расстояние до 500 км от оси желоба в океане. Однако, на различных участках конвергенции Тихоокеанской плиты его влияние различно. Так, в районе, примыкающем к Марианскому желобу, есть участки, где окраинный вал практически отсутствует. Эти участки характеризуются углублением СПМ до 0,5 км, что может быть связано с глубинными процессами в тектоносфере активных окраин.

Полученные зависимости явно указывают на влияние глубинных верхнемантийных масс на положение уровня СПМ, что говорит об их участии в процессе изостатической компенсации. Другими словами, для зон конвергенции плит, к которым относится Охотоморский регион, характерна глубинная изостатическая компенсация, осуществляющаяся, вероятно, в нижней мантии.

Учитывая явную корреляцию в поведении аномалий СПМ и изостатических на рис. 1, можно предположить, что они образуются под влиянием одного уплотненного, частично нескомпенсированного слоя в верхней мантии. При этом аномалии СПМ указывают на скомпенсированную часть его массы, а изостатические – на нескомпенсированную. Это предположение позволяет нам оценить размер аномального слоя.

Предположим, аномальное увеличение плотности в слое составляет  $+0,02 \text{ г/см}^3$ , что соответствует плотности в погружающемся блоке океанической плиты по расчетам гравитационной модели тектоносферы Охотоморского региона [5]. Тогда скомпенсированная мощность, вызвавшая углубление СПМ на 0,5 км составляет 82,5 км, а нескомпенсированная, проявившаяся в изостатической аномалии +20 мГал составляет около 24 км, что в сумме дает чуть более 100 км. Такой слой при ширине зоны аномалии в 1000 км может образоваться из остатков погрузившейся в мантию океанической плиты при скорости субдукции 7,5 см/год менее чем за 15 млн. лет.

Наличие уплотнения в верхней мантии активных окраин само по себе не вызывает сомнений. Но его изостатическая скомпенсированность (пусть даже неполная) требует объяснения. Классическая теория изостазии предполагает, что изостатическое выравнивание достигается в астеносфере путем горизонтального перетекания частично расплавленного вещества. Это объяснение допустимо только для вышележащих литосферных неоднородностей. Неоднородности, располагающиеся ниже астеносферы, также могут выравниваться изостатически, но уже на больших глубинах, где вязкость мантии много выше, чем в астеносфере. Таким образом, в активных окраинах, где плотностные неоднородности распространяются на всю глубину верхней мантии, мы имеем

двухуровневую систему изостатического выравнивания: первый уровень располагается в астеносфере, а второй, вероятно, в нижней мантии. Наличие такой двухуровневой системы изостазии само по себе может создавать конвективное погружение масс в глубь Земли. Проникновение погружающейся океанической плиты вглубь верхней мантии создает добавочную нагрузку на верхнемантийный блок, что вызовет изостатическое опускание всего блока вместе с литосферой. Это, в свою очередь, приведет к недостатку масс на верхнем уровне изостазии. Астеносфера, естественно, должна увеличить свою мощность, чтобы скомпенсировать создавшийся дефицит масс на поверхности, а это вновь приведет к избытку масс на нижнем уровне изостазии. Весь этот процесс в целом приводит к перекачке масс с поверхности в глубь Земли. Учитывая, что вязкость в астеносфере значительно ниже, чем в нижней мантии, в этом процессе следовало бы ожидать почти полной изостатической скомпенсированности в астеносфере, т.е. изостатически нескомпенсированная часть уплотнения должна намного превышать ее скомпенсированную часть. Но, как показывает глубина СПМ, этого не происходит. Возможно, здесь определяющую роль играет соотношение горизонтальных и вертикальных размеров компенсирующих слоев: в астеносфере мощность компенсирующего слоя много меньше ширины зоны верхнемантийной неоднородности.

Как показал Е.А. Артюшков [2], характерное время затухания возмущения, вызванного появлением изостатически нескомпенсированной массы, сильно зависит от соотношения горизонтального размера неоднородности  $L$  и мощности компенсационного слоя  $H$ . При  $L \leq H$  характерное время затухания определяется зависимостью:

$$\tau \sim \frac{\eta}{\rho g L},$$

где  $\tau$  – характерное время затухания,  $\eta$ ,  $\rho$  – соответственно вязкость и плотность в компенсирующем слое мантии,  $g$  – ускорение свободного падения. При  $L \gg H$  время затухания растет с увеличением  $L$ :

$$\tau \sim \frac{\eta}{\rho g H} \cdot \frac{L^2}{H^2}.$$

При обширном изостатическом нарушении с горизонтальным размером 1000 км и более первая формула показывает характерное время изостатического выравнивания в нижней мантии, а вторая – в астеносфере. По расчетам Н.Л. Добрецова с соавторами [3], вязкость нижней мантии на два порядка превышает вязкость астеносферы. Данная оценка показывает, что скорость восстановления давления для крупных изостатических нарушений в астеносфере может быть меньше, чем в нижней мантии, что подтверждается расчетами СПМ в Охотоморском регионе.

Проведенная оценка показывает, что в верхней мантии окраинных морей наблюдается избыток масс, и процесс углубления СПМ должен продолжаться. Таким образом, выявленная нами модель глубинной изостатической компенсации подтверждает наличие погружающихся конвективных течений в верхней мантии активных окраин.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ совместно с администрацией Сахалинской области, грант № 06-05-960-50.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Артемьев М.Е., Бодин Дж. Плотностные неоднородности мантии под системами глубоководных желобов, островных дуг и окраинных морей // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1978. № 2. С. 3-17.
2. Артюшков Е.В. Геодинамика. М.: Наука, 1979. 328 с.
3. Добрецов Н.А., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Глубинная геодинамика. Новосибирск: Наука, 2001. 409 с.
4. Кабан М.К. Изучение изостазии литосферы. М.: Наука, 1988. 125 с.
5. Косыгин В.Ю., Сеначин В.Н. Плотностные неоднородности мантии активных окраин и тектоника // Тихоокеанская геология. 1995. Т. 14. № 6. С. 44-52.
6. Сеначин В.Н. Аномалии «свободной поверхности мантии» Охотоморского региона и их связь с глубинными процессами // Тихоокеанская геология. 2005 Т. 24. № 5. С.50-65.
7. Watanabe T., Langseth M.G., Anderson R.N. Heat flow in back-arc basins of the Western Pacific // Island arcs, deep sea trenches and back-arc basins / Eds. M. Talwani and W.C. Pitman. Washington D.C., 1977. P. 137-161.