

ВЕСТНИК

ISSN 0869-7698

ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО  
ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ  
НАУК

ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК

1  
2006

Научный  
и общественно-политический  
журнал Президиума ДВО РАН

Журнал основан в 1932 г.

Издание прекращено в 1939 г.,  
возобновлено в 1990 г.



Дальнаука

# ВЕСТНИК

ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО  
ОТДЕЛЕНИЯ

РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ  
НАУК

1 (125). 2006

## СОДЕРЖАНИЕ

*Академической науке на Сахалине – 60 лет*

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН: вчера и сегодня. *К.Ф.СЕРГЕЕВ, Е.В.КОЧЕРГИН* 3  
*А.Я.ИЛЬЕВ*. Академическая наука на Сахалине: страницы истории ..... 6

### Геология, геофизика

*В.Н.СЕНАЧИН*. «Свободная поверхность» мантии как индикатор геодинамических процессов (на примере Охотоморского региона) ..... 18

*Т.К.ЗЛОБИН*. Охотская литосферная плита и модель эволюции системы «окраинное море – островная дуга – глубоководный желоб» ..... 26

*В.В.ЖИГУЛЕВ, В.Э.КОНОНОВ, Б.В.ЛЕВИН, Б.Ч.СОК*. Оценка нефтегазоносности впадины Цусима и прилегающего шельфа (по сейсмическим данным) ..... 33

*О.А.МЕЛЬНИКОВ, Н.С.ТЕРЕНТЬЕВ*. Бенч как геоморфологический и общегеологический объект (на примере Сахалина) ..... 43

### Сейсмология, цунами

*Б.В.ЛЕВИН*. О природе некоторых периодических изменений в сейсмическом режиме Земли ..... 51

*В.Л.ЛОМТЕВ, В.Н.ПАТРИКЕЕВ*. Сейсмические исследования ИМГиГ ДВО РАН в Северо-Западной Пацифике (1980–2005 гг.) ..... 59

*И.Н.ТИХОНОВ*. Сильные землетрясения в Сахалинской области: исследования и прогнозы ..... 67

*Р.З.ТАРАКАНОВ*. Скоростные модели и годографы *P*-волн для Дальневосточного региона ..... 81

*Р.П.БЕРНГАРТ, В.В.ИВАНОВ*. О связи метеоявлений с солнечными затмениями ..... 96

### Биология. Экология

*А.А.СМИРНОВ*. Некоторые итоги и перспективы развития ботанических исследований на Сахалине 103

*Т.М.ПОБЕРЕЖНАЯ*. Ландшафтно-геохимические исследования на Сахалине ..... 109

### Средства исследования океана

*В.Н.ХРАМУШИН, А.С.КОРЫТКО*. Исследование путей создания сверхмалого телуправляемого корабля 115

### Природная катастрофа

*В.М.КАЙСТРЕНКО, Н.Г.РАЗЖИГАЕВА, Ю.П.КОРОЛЕВ, Н.В.ПОЛУХИН, А.И.ЗАЙЦЕВ*. Проявления цунами 26 декабря 2004 г. на побережье северной Индонезии (по результатам международной экспедиции) 123

### Памяти академика В.Л.Касьянова

От репродуктивной стратегии морских беспозвоночных до стратегии организации науки. *А.Л.ДРОЗДОВ, В.В.ЮШИН* ..... 132

Академик из «майских жуков». *А.Л.ДРОЗДОВ* ..... 137

Нужно умно и честно работать. *В.Е.ВАСЬКОВСКИЙ* ..... 142

В трудных ситуациях он был последней надеждой. *Д.Л.ПИТРУК* ..... 144

Мне повезло встретить его в жизни. *М.В.ВЫСОЦКИЙ* ..... 145

«Нырющий» академик. *А.В.АДРИАНОВ* ..... 147

О «тайном конверте» директора. *Т.А.ТЕРЕХОВА* ..... 150

Несколько слов о друге. *А.И.ПУДОВКИН* ..... 151

### Актуальное издание

Атлас «Геология и полезные ископаемые шельфов России». *Е.П.ЛЕЛИКОВ* ..... 156

Правила для авторов ..... 163

В.Н.СЕНАЧИН

## «Свободная поверхность» мантии как индикатор геодинамических процессов (на примере Охотоморского региона)

*Рассматриваются вопросы изучения глубинного плотностного строения и изостатического состояния тектоносферы Земли по аномалиям глубины «свободной поверхности» мантии (СПМ). Дается сравнение разных методов изучения изостазии Земли. Показаны возможности метода изучения глубины СПМ в активных окраинах Дальнего Востока на примере Охотоморского региона.*

**«Free surface» of the mantle as an indicator of geodynamic processes with reference to the Sea of Okhotsk region.** V.N.SENACHIN (Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk).

*Problems of study of the deep density structure and isostatic state of the Earth tectonosphere on the basis of anomalies of the mantle «free surface» depth are considered. Comparison of different methods of investigation of the Earth isostasy is given. Resources of the method of investigation of the mantle «free surface» depth in active margins of the Far East with reference to the Sea of Okhotsk region are shown.*

«Свободная поверхность» мантии (СПМ) – одна из характеристик изостатического состояния земной поверхности. Она показывает, насколько поднята или опущена земная кора относительно нормального положения, соответствующего однородной мантии заданной плотности.

В настоящее время изучению этих аномалий уделяют мало внимания. Причиной того, вероятно, является недостаточно высокая для расчета СПМ точность определения параметров строения земной коры. Тем не менее, как показывают немногочисленные исследования, выполненные советскими [1–3, 10], а также зарубежными исследователями [14], аномалии СПМ дают нам дополнительную информацию о неоднородностях тектоносферы, которая не всегда оказывается доступна сейсмическим и гравитационным методам изучения Земли.

### **«Свободная поверхность» мантии как характеристика изостатического состояния**

«Свободной поверхностью» мантии называется гипотетическая поверхность твердой Земли, образуемая мантией при изостатическом снятии с нее нагрузки земной коры (включая водный слой). Реально на Земле такую поверхность мы наблюдать нигде не можем, но ее можно рассчитать. Поясним это на примерах.

Как известно, земная кора – верхняя оболочка твердой Земли, отличающаяся по вещественному составу от нижележащей мантии, – почти везде изостатически скомпенсирована. Это означает, что на каком-то определенном уровне в глубине Земли, называемом уровнем

---

СЕНАЧИН Владимир Николаевич – кандидат геолого-минералогических наук (Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск).

изостатической компенсации, литостатическое давление, создаваемое вышележащей толщей вещества, всюду одинаково. Рельеф земной поверхности создает гигантские аномалии литостатического давления, для выравнивания которых требуются такие же массы вещества с аномальной плотностью обратного знака. Изучение глубинного строения Земли сейсмическими методами показало, что изостатическое выравнивание неоднородностей рельефа поверхности нашей планеты выполняется в большинстве случаев в соответствии с изостатической моделью Эри. Данная модель предполагает, что блоки земной коры, имеющие разную мощность, как бы плавают в подстилающей их мантии, погружаясь в нее тем больше, чем больше мощность коры (рис. 1А). Вертикальное положение блоков земной коры определяется в соответствии с известным законом Архимеда. Чтобы эта модель работала, в мантии должен существовать слой пониженной вязкости, способный относительно быстро менять свою форму – «течь», как жидкость. Такой слой назвали астеносферой. Поначалу считали, что он располагается прямо под земной корой.

Если в модели, представленной на рис. 1А, какой-нибудь из блоков земной коры убрать, то на месте блока возникнет дефицит давления, под влиянием которого астеносферная мантия поднимется до определенного уровня, достаточного для его выравнивания (рис. 1Б). Данный уровень и будет тем самым уровнем «свободной поверхности» мантии, о котором мы говорим. Тот же уровень СПМ можно получить другим способом – уплотнить кору до плотности мантии. Такое объяснение СПМ дает М.К.Кабан [3]. И тот и другой способы определения СПМ основаны на законе выравнивания давления на уровне изостатической компенсации. Исходя из этого закона нетрудно рассчитать глубину расположения СПМ в какой-либо точке Земли:

$$D = H_m - \frac{1}{\rho_m} \sum_1^k (\rho_i \cdot M_i), \quad (1)$$

где  $D$  – глубина СПМ,  $H_m$  – глубина границы Мохо (нижняя граница земной коры);  $\rho_m$  – плотность мантии;  $\rho_i$ ,  $M_i$  – соответственно плотность и мощность  $i$ -го слоя земной коры в расчетной точке (водный слой сюда также включается);  $k$  – количество слоев земной коры, имеющих разную плотность.

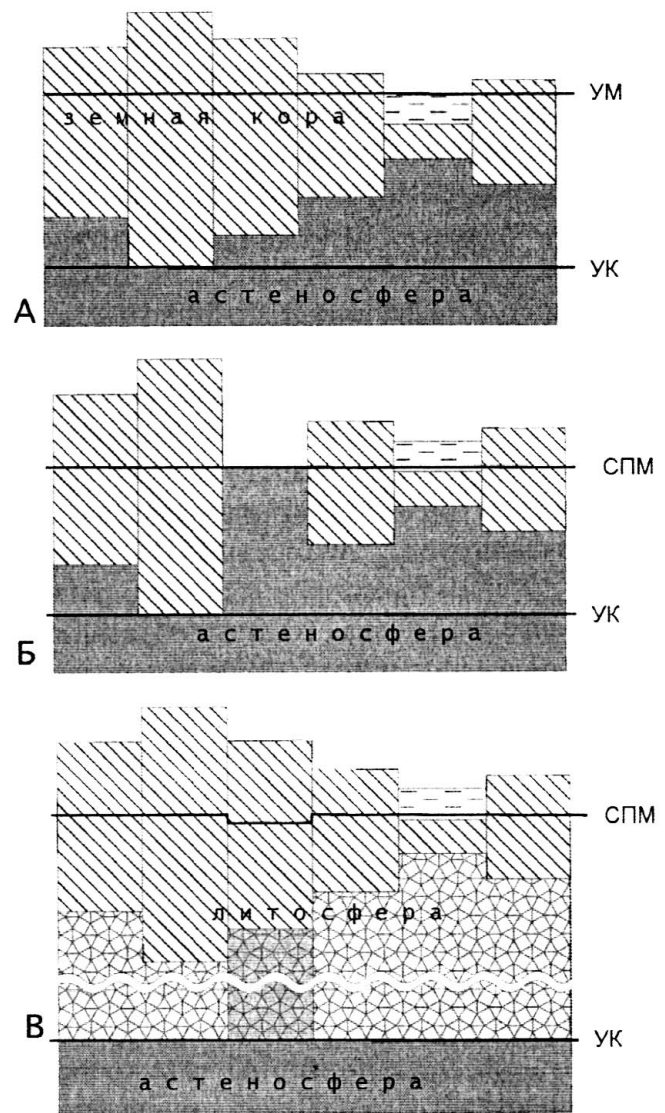


Рис. 1. К пояснению понятия «свободная поверхность» мантии в разных модельных представлениях изостазии. А – классическая модель изостазии земной коры по схеме Эри. Б – подъем астеносферы до уровня СПМ при снятии нагрузки одного из блоков земной коры в модели изостазии Эри. В – модель изостазии блоков литосферы с мантией разной плотности: блок, имеющий аномальное уплотнение в литосфере под корой, погружается в астеносферу глубже других, что приводит к увеличению его глубины «свободной поверхности» мантии. УМ – уровень моря, УК – уровень изостатической компенсации

Дальнейшее изучение глубинного строения Земли показало, что астеносфера располагается не прямо под корой, а несколько глубже в мантии. Поэтому в изостатическом процессе участвует не только кора, но и подстилающая кору мантия, которая вместе с ней образует твердую оболочку Земли, называемую литосферой. Твердая литосферная мантия может быть неоднородной по плотности, что в изостатически скомпенсированной литосфере обязательно отразится в глубинном положении «свободной поверхности» мантии (рис. 1В). Вероятно, и верхняя часть астеносферы, имеющая латеральные вариации температуры, также может оказывать влияние на глубинное положение СПМ.

Таким образом, глубина СПМ дает нам информацию о мантийных плотностных неоднородностях, расположенных выше уровня изостатической компенсации, который, по оценкам геофизиков, на большей части земной поверхности находится на глубине около 100 км.

При изучении изостазии обычно используют аномалии гравитационного поля и аномалии давления, реже – аномалии СПМ. Попробуем определить, как соотносятся аномалии СПМ с другими характеристиками изостатического состояния.

Как уже отмечалось, теория изостазии предполагает, что все неоднородности рельефа земной поверхности, создающие разную нагрузку на нижележащие слои, компенсируются в нижней части коры аномальными массами обратного знака, но равными по величине. В гравитационном поле такие массы компенсируют друг друга, и остается небольшая аномалия, связанная с разным расстоянием масс нагрузки и масс компенсации до точки наблюдения, в которой измерено поле. Эту аномалию можно также убрать, если рассчитать влияние масс нагрузки и масс компенсации в точке наблюдения и вычесть его из кривой гравитационного поля. При этом если рельеф земной поверхности нам хорошо известен, то расположение компенсационных масс может сильно отличаться от того, что мы предполагаем. Тем не менее изостатические аномалии гравитационного поля в скомпенсированных районах получаются близкими к нулевым значениям. Таким образом, по этим аномалиям в большинстве случаев мы можем определить изостатическое состояние региона, даже не зная плотностного строения земной коры.

Аномалии давления рассчитываются на каком-то уровне глубины литосферы. При изучении изостазии этот уровень должен быть не меньше самой глубокой точки земной коры. Поэтому расчет аномалий давления требует полного знания плотностного строения земной коры и нижележащей мантии. Приведем простейшую формулу для вычисления этих аномалий:

$$\Delta P = P_0 - g_n \sum_1^k (\rho_i \cdot M_i), \quad (2)$$

где  $P_0$  – некоторое нормальное значение давления, от которого рассчитывается величина аномалии,  $g_n$  – нормальное значение силы тяжести (зависит от уровня расположения аномальных масс, но в пределах земной коры его можно принимать постоянным),  $\rho_i$ ,  $M_i$  – соответственно плотность и мощность  $i$ -го слоя литосферы в расчетной точке. Мощность последнего слоя ограничивается заданной глубиной расчета давления.

Вычислив аномалии давления в земной коре, мы не всегда можем с уверенностью сказать, находится ли данный регион в скомпенсированном состоянии или нет, так как очень часто компенсационные массы располагаются в литосфере под корой. Расчет давления в мантии требует точных оценок изменения плотности в ней, которые проводятся по скоростям сейсмических волн, но зачастую сделать такую оценку невозможно.

Аномалии глубины СПМ по сути своей несут ту же информацию, что и аномалии давления, рассчитанные только для земной коры. Это видно хотя бы из формул (1) и (2), по которым они вычисляются. Однако аномалии СПМ представляются более удобными в применении по ряду причин. Во-первых, они измеряются в единицах глубины (километрах или

метрах), что придает им понятный физический смысл. Во-вторых, как будет показано ниже, они позволяют учесть влияние аномалий температуры, которые связаны с эффектом постоянного охлаждения литосферы и намного превышают все другие аномалии. В третьих, в сочетании с изостатическими аномалиями гравитационного поля они дают возможность получить количественную оценку изостатически скомпенсированных аномалий в мантии.

### СПМ на континентах и океанах: основные закономерности

Наиболее полное изучение СПМ в океанах и на континентах было проведено группой исследователей под руководством М.Е.Артемова [1–3, 10]. Они показали, что даже в тектонически стабильных регионах глубина СПМ может значительно изменяться. Это говорит о крупных латеральных изменениях плотности в верхней мантии.

В рельефе океанического дна, как известно, наблюдается зависимость глубины дна от возраста земной коры [8, 11 и др.]. При этом мощность коры остается неизменной и изостатическое равновесие не нарушено. Объясняется это охлаждением океанической литосферы по мере ее старения и удаления от срединно-океанического хребта, где она зарождается. Охлаждение приводит к понижению температуры в верхней мантии и, соответственно, ее уплотнению. Это уплотнение отражается в глубине СПМ. На рис. 2 показана зависимость глубины СПМ от возраста коры в океанической литосфере, полученная по расчетам М.К.Кабана с коллегами [1, 3]. Эта зависимость хорошо описывается уравнением  $D = 2,5 + 0,214\sqrt{T}$ , где  $T$  – возраст литосферы, измеряемый в миллионах лет. Сама формула следует из модели охлаждающегося полупространства [8, 14], которая удовлетворительно объясняет процесс охлаждения мантии в течение первых 70 млн лет после ее образования. В океанической литосфере старше 70 млн лет тепловой поток стабилизируется [11, 13] и глубина СПМ остается практически неизменной, располагаясь на уровне около 4,5 км. Таким образом, за счет термального охлаждения глубина СПМ увеличивается от 2,5 до 4,5 км, т.е. на 2 км.

Континентальная литосфера имеет гораздо более сложное строение и происхождение. Однако в ней также наблюдается эффект охлаждения, отсчитываемый со времени тектонической стабилизации, что проявляется в качественной зависимости глубины СПМ от температуры в подошве коры [2, 3]. Кроме того, отмечается глобальная зависимость глубины СПМ от мощности земной коры, указывающая на то, что плотность мантии под горами выше, чем в платформенных областях.

В глубоководных котловинах окраинных морей Азиатско-Тихоокеанской окраины выделяются аномалии СПМ, не связанные с охлаждением мантии. Так, по расчетам Т.Ваганаве с соавторами [14], глубина СПМ в этих структурах всегда больше, чем в океане, примерно на 1 км при одинаковых величинах теплового потока. Эти аномалии проявляются даже в глубине морского дна, что было отмечено Д.Хэйсом [9]. Они говорят о крупном изостатически скомпенсированном уплотнении в верхней мантии.

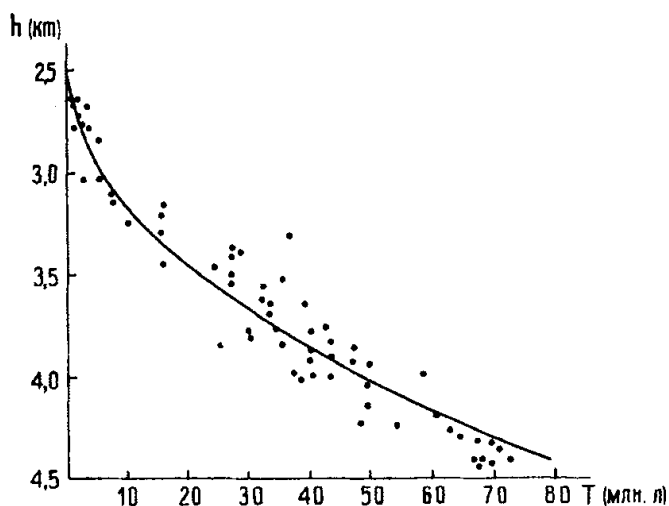


Рис. 2. Зависимость глубины «свободной поверхности мантии» от возраста океанической литосферы [3]

В настоящее время нет обоснованного объяснения существования данного уплотнения, его природы и глубинного расположения. Для поиска решения всех вопросов, связанных с этим уплотнением, автор провел расчеты площадного распределения аномалий глубины СПМ в Охотоморском регионе. Но прежде чем перейдем к рассмотрению результатов этих расчетов, определим вероятные причины образования аномалий СПМ, а также способы их распознавания.

### Вероятная природа аномалий СПМ

Аномальное положение СПМ в каком-либо регионе показывает, что данный регион либо может быть изостатически нескомпенсирован, либо имеет плотностные неоднородности в мантии выше уровня изостатической компенсации. Плотностные неоднородности могут

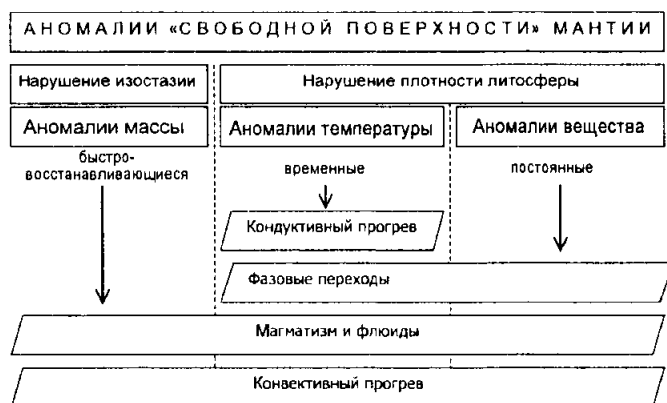


Рис. 3. Вероятная природа аномалий «свободной поверхности» мантии

Большинство процессов, происходящих в верхней мантии окраинных морей, – магматизм, флюидизация, конвекция и другие – могут приводить одновременно как к изостатической нескомпенсированности, так и к образованию аномалий температуры и вещества.

Все эти 3 вида аномалий, при их вероятном одновременном возникновении, различаются по длительности существования. Изостатические нарушения (аномалии массы) в региональных структурах обычно быстро восстанавливаются (в течение нескольких тысяч лет); аномалии температуры также со временем исчезают, но время их существования больше, чем аномалий массы: в зависимости от глубины появления они могут существовать в течение нескольких миллионов или десятков миллионов лет. Аномалии вещества, по-видимому, могут «жить» вечно, если их не нарушит какой-либо новый процесс.

Можно ли определить природу наблюдаемой аномалии СПМ в каждом конкретном случае? Аномалии массы, вызывающие нарушение изостазии, всегда проявляются в изостатических аномалиях гравитационного поля. Если таких аномалий нет, то следует предполагать наличие температурной или вещественной аномалии. Различить эти типы аномалий иногда бывает возможно, используя «временный» характер температурных аномалий СПМ: любой излишек тепла, возникающий в литосфере, со временем будет вынесен из нее через поверхность Земли. Однако на это могут потребоваться миллионы лет. Прямое наблюдение таких процессов человеку недоступно. Вместе с тем, вооружившись принципом актуализма, можно наблюдать один и тот же процесс на разных стадиях его развития, происходящий в настоящее время в разных местах. Такие наблюдения дадут нам информацию о полном развитии процесса, включая характер изменения геофизических параметров, таких как гравитационное поле, тепловой поток, глубина «свободной мантии». В дальнейшем эти параметры помогут нам определить степень развития тектонического процесса в малоизученных структурах аналогичного типа и, соответственно, их плотностное строение.

образовываться при отклонениях температуры либо вещественного состава от некоторого нормального представления. Таким образом, все наблюдаемые аномалии СПМ по своему происхождению мы можем разделить на 3 вида (рис. 3): 1) вызванные изостатической нескомпенсированностью (аномалии массы), 2) изостатически скомпенсированные аномалии плотности, обусловленные вещественными неоднородностями (аномалии вещества), 3) изостатически скомпенсированные аномалии плотности, вызванные латеральными аномалиями температуры (аномалии температуры).

Таким образом, при определении природы наблюдаемых аномалий СПМ нам необходимо привлекать дополнительно данные по изостатическим аномалиям гравитационного поля, данные по тепловому потоку, а также желательно иметь информацию о процессах, происходящих в изучаемом регионе, и их длительности.

### **Аномалии СПМ окраинных морей**

Дальневосточные окраинные моря расположены в зоне Тихоокеанского активного пояса, где в настоящее время происходят тектонические процессы планетарного масштаба, определяющие строение всей земной поверхности. Это зона столкновения крупнейших литосферных плит, которое привело к поддвигу края Тихоокеанской плиты под евразийский материк. Данный процесс охватывает всю верхнюю мантию и порождает в ней очень крупные плотностные аномалии. Эти аномалии, в свою очередь, приводят к горизонтальным и вертикальным смещениям земной поверхности, одним из порождений которых являются Берингово, Охотское, Японское и другие окраинные моря.

Дно окраинных морей также разнородно: в нем присутствуют глубоководные и мелководные бассейны, которые характеризуются разным уровнем аномалий гравитационного поля, поверхностного теплового потока и других параметров. Предполагается, что в окраинных морях происходит преобразование мощной континентальной земной коры в тонкую океаническую, отличающуюся от континентальной также и по химическому составу [4, 5 и др.].

Увеличение глубины СПМ в глубоководных котловинах окраинных морей [14] говорит о наличии изостатически скомпенсированного уплотнения, которое может быть связано либо с деструкцией земной коры, либо с процессами более глобального характера, вызванными субдукцией (погружением) Тихоокеанской плиты в мантию.

Чтобы определить, какой из процессов порождает аномалию СПМ, необходимо прежде всего узнать, распространяется ли данная аномалия на всю площадь окраинного моря или только на глубоководные котловины. Ответ на этот вопрос даст нам информацию о глубинном расположении аномалии СПМ: в случае ограниченности ее распространения глубоководными котловинами можно с уверенностью сказать, что она вызвана аномалиями, не выходящими за рамки литосферы. Если же аномалия СПМ распространяется на всю площадь окраинного моря, то ее происхождение следует связывать с глубинными процессами, охватывающими всю тектоносферу, вплоть до границы нижней мантии.

Результаты расчета аномалий СПМ в Охотоморском регионе подробно изложены в работе [6]. Здесь же рассмотрим кратко основные положения, демонстрирующие возможности метода изучения СПМ.

По всей акватории Охотского моря прослеживается общий фон аномального углубления примерно на 0,5 км (рис. 4), что указывает на глубинное верхнемантийное происхождение аномалии. На этом фоне выделяются зоны увеличенных до +1,5 км и уменьшенных до -0,5 км глубин. Все зоны увеличенной глубины СПМ приурочены к депрессиям в рельефе дна, имеющим, как правило, повышенный тепловой поток. Все отрицательные аномалии СПМ расположены на континентальной или субконтинентальной коре и приурочены к зонам пониженного теплового потока. Кроме того, большинство из них соседствует с глубоководными впадинами.

Региональные аномалии СПМ в поднятиях и впадинах, вероятно, связаны с процессом деструкции земной коры. Их происхождение можно объяснить неравномерным прогревом литосферы, вызванным тепловым диапиром, подъемом нагретых флюидов и внедрением магматических тел в кору.

Подъем диапира к подошве литосферы приводит к ее постепенному прогреву снизу вверх. На начальном этапе этого процесса, пока тепло, поступающее из подошвы, не достигло поверхности Земли (на что требуются десятки миллионов лет), уровень СПМ будет подниматься при неизменной величине теплового потока. Это приведет к появлению



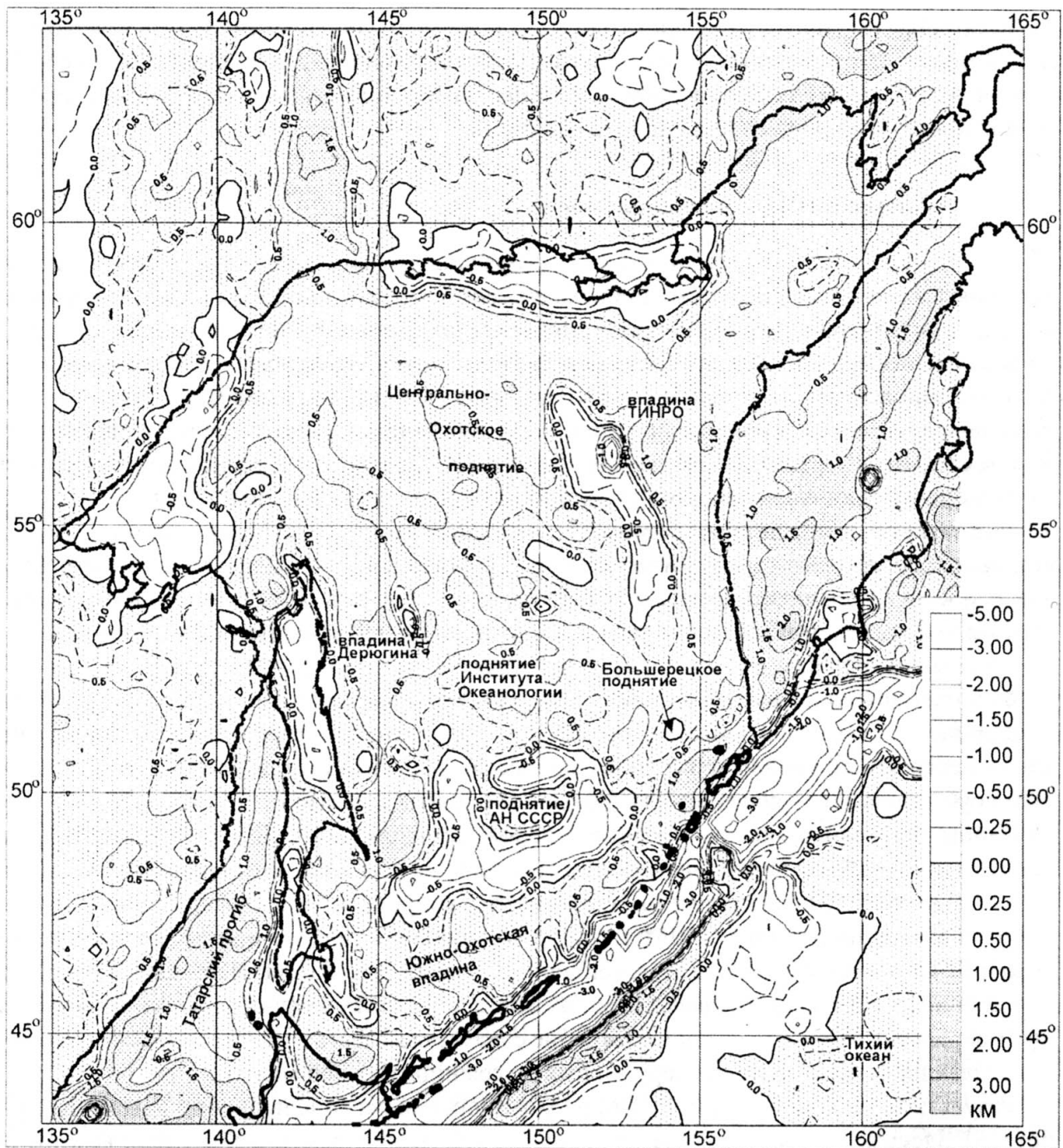


Рис. 4. Аномалии «свободной поверхности» мантии в Охотоморском регионе

отрицательной аномалии СПМ. Зона такого прогрева превышает по размерам область будущей впадины. Над центральной частью диапира к этому процессу добавляется конвективный перенос тепла, осуществляемый поднимающимися в земную кору флюидами. В этой зоне осуществляется быстрый прогрев литосферы по всей ее мощности вплоть до поверхности. Такой прогрев создает положительную аномалию СПМ.

Флюиды, проникая в земную кору, изменяют ее вещественный состав, что приводит к ее уплотнению, сокращению мощности и образованию глубоководных котловин [5]. Данный процесс также способствует увеличению аномальной глубины СПМ. В результате же всех этих процессов мы наблюдаем увеличенную глубину СПМ в глубоководных котловинах окраинных морей и ее аномальный подъем на окраинах этих котловин.

Повсеместное углубление СПМ в Охотском море указывает на наличие крупного верхне-мантийного уплотнения, распространяющегося, возможно, за его пределы на прилегающие части континента и океана. Происхождение этой аномалии может быть связано с глубинными

плотностными неоднородностями, возникающими в процессе конвективных течений верхней мантии, одним из проявлений которого является медленное погружение края Тихоокеанской плиты в глубь мантии – субдукция Тихоокеанской плиты.

Чтобы определить степень влияния на глубину СПМ плотностных неоднородностей, порождаемых процессом субдукции, была исследована зависимость аномалий СПМ и изостатических от расстояния до оси желоба. В результате было обнаружено «прогибание» среднего уровня аномалий СПМ с максимумом около 0,5 км на расстоянии 600–700 км от оси желоба. Изостатические гравитационные аномалии характеризуются нарастанием среднего уровня с максимумом около  $+2,5 \cdot 10^{-4}$  м/с<sup>2</sup> на той же отметке расстояния до желоба. На основании полученных данных можно предположить в верхней мантии Охотского моря наличие уплотненного, частично некомпенсированного слоя. При этом его уравновешенная часть проявляется в аномалиях СПМ, а некомпенсированная, составляющая примерно 20–25% от общей массы, – в изостатических аномалиях гравитационного поля.

Участие всего верхнемантийного блока в изостатическом процессе говорит о глубинном характере изостази с уровнем изостатической компенсации в нижней мантии [12]. Если при этом происходит также изостатическое выравнивание в астеносфере, то получается система 2-уровневой изостази, которая будет работать как механизм перекачки поверхностных масс в глубь мантии, т.е. породить погружающееся конвективное течение [7].

Таким образом, изучение вариаций глубины «свободной поверхности» мантии позволяет нам не только выявлять плотностные неоднородности по всей глубине тектоносферы, но и разрабатывать модели тектонических процессов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Артемьев М.Е., Кабан М.К., Чесноков Е.М. Плотностные неоднородности мантии Земли. Океанические районы // Изв. АН СССР. Сер. «Физика Земли». 1983. № 2. С. 21–30.
2. Артемьев М.Е., Кабан М.К., Чесноков Е.М. Плотностные неоднородности мантии Земли по данным о глубинах до ее «свободной поверхности». Континентальные районы // Изв. АН СССР. Сер. «Физика Земли». 1983. № 5. С. 3–11.
3. Кабан М.К. Изучение изостази литосферы. М.: Наука, 1988. 125 с.
4. Маракушев А.А. Роль магматического замещения в процессах формирования и деструкции континентальной земной коры // Проблемы глобальной геодинамики: материалы теоретического семинара ОГГГГН РАН, 2001–2002 гг. М.: ОГГГГН РАН, 2003. С. 214–227.
5. Перчук Л.Л., Фролова Т.И. К проблеме происхождения глубоководных впадин у активных окраин материков // Твердая кора океанов (проект «Литос»). М.: Наука, 1987. С. 163–167. (Тр. ГИН АН СССР; т. 414).
6. Сеначин В.Н. Аномалии «свободной поверхности» мантии Охотоморского региона и их связь с глубинными процессами // Тихоокеан. геология. 2005. № 5. (В печати).
7. Сеначин В.Н. К вопросу об изостази окраинных морей: модель глубинной компенсации и ее геодинамическое приложение // Геофизические поля и моделирование тектоносферы. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. С. 252–255.
8. Теркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика: геологическое приложение физики сплошных сред. Ч. 1. М.: Мир, 1985. 376 с.
9. Хэйс Д. Окраинные моря Юго-Восточной Азии: их геофизические характеристики и структура // История и происхождение окраинных внутренних морей: 27 Междунар. геол. конгр.: симпоз. S.06.2.3: докл. Т. 6. Ч. 2. М.: Наука, 1984. С. 30–43.
10. Artemjev M.E., Kaban M.K. The free mantle surface-new possibilities to reveal subcrustal inhomogeneities from the structure of the earth's crust // J. Geodyn. 1986. Vol. 5, N 1. P. 25–44.
11. Parsons B., Sclater J.G. Analysis of ocean floor bathymetry and heat flow with age // J. Geophys. Res. 1977. Vol. 82, N 5. P. 803–827.
12. Senachin V.N. Isostasy of marginal seas as mechanism of their formation // Symp. on Humanity and the World Ocean: Interdependence at the Dawn of the New Millennium: PACON-99 Proc. Moscow, 2000. С. 293–298.
13. Stein C.A., Stein S. A model for the global variation in oceanic depth and heat flow with lithospheric age // Nature. 1992. Vol. 359. P. 123–129.
14. 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. Wash. D.C., 1977. P. 137–161.