

**АНОМАЛИИ ПЛОТНОСТИ,
НАПРЯЖЕНИЙ И
ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ
В КОРЕ И МАНТИИ МАРСА**

Н.А.Чуйкова, Л.П.Насонова, Т.Г.Максимова

**Сагитовские чтения
«Современные проблемы наук о Земле и исследования
солнечной системы»
ГАИШ МГУ 30 мая -31мая 2011г.**

Разработанная нами методика определения в квадратичном приближении вклада в гравитационное поле планеты от дипольно распределенных на эллипсоидальных поверхностях аномальных масс была применена к исследованию строения оболочек Земли и Марса. В докладываемой работе делаются оценки возможного распределения глубин компенсации масс рельефа и аномалий лотности и напряжений в коре и мантии Марса. В аналогичных исследованиях других авторов рассматривалась компенсация масс рельефа только на одном уровне – на уровне границы поверхности Мохоровичича М. Наши результаты, полученные для Земли, показывают, что в недрах планеты может существовать несколько уровней компенсации, согласующихся с результатами, полученными из анализа собственных колебаний Земли и сейсмологических данных. При этом глубины компенсации для различных гармоник рельефа оказываются в сильной зависимости от степени и порядка гармоник. Поэтому нашей первой задачей явилось определение возможных глубин компенсации гармоник различных степеней и порядков для разложения высот рельефа Марса относительно гидростатического эллипсоида.

Определение возможных глубин компенсации гармоник различных степеней и порядков для разложения высот рельефа Марса относительно гидростатического эллипсоида.

Решение поставленной задачи должно удовлетворять системе двух уравнений:

- 1) - соответствие наблюдениям вклада в гравитационное поле от масс рельефа и компенсирующих масс,
- 2) - равенство давлений гидростатическому ниже глубины компенсации.

Полученное решение для глубины компенсации d_{nm} для произвольной гармоники рельефа a_{nm} определилось в итоге соотношением:

$$d_{nm} = R_0 - R_M \left(a_{nm}^{M1} / a_{nm}^{M2} \right)^{1/n} \quad (1)$$

R_0 - средний радиус Марса, a_{nm}^{M1}, a_{nm}^{M2} - коэффициенты разложения высот поверхности (1)

$M1$ - полученных на основе гравит. поля после вычета масс рельефа в квадрат. приближении;
 $M2$ - полученных на основе гипотезы изостатической компенсации масс рельефа, при фиксированном значении R_M

Решение возможно, т.е., $0 \leq d_{nm} < R_0$ если $0 \leq a_{nm}^{M1} / a_{nm}^{M2} \leq (R_0 / R_M)^n$

Если коэффициенты разложения относительных высот поверхности M , определенные первым (M1) и вторым (M2) способом, не удовлетворяют условию (1) для любой фиксированной глубины компенсации $d_{nm} < R_0$, то возможны 2 варианта:

1) компенсация осуществляется на двух уровнях.

Возможные глубины слоев компенсации определяются из анализа результатов, полученных для гармоник, для которых существует решение (1). Окончательный выбор делался на основе принципа минимизации отклонения внутреннего строения Марса от гидростатического равновесия.

2) нескомпенсированные гармоники рельефа приводят к напряжениям в упругой литосфере Марса при условии, что напряжения не превосходят предела прочности литосферы.

Распределение средних глубин компенсации гармоник рельефа в зависимости от степени гармоники n

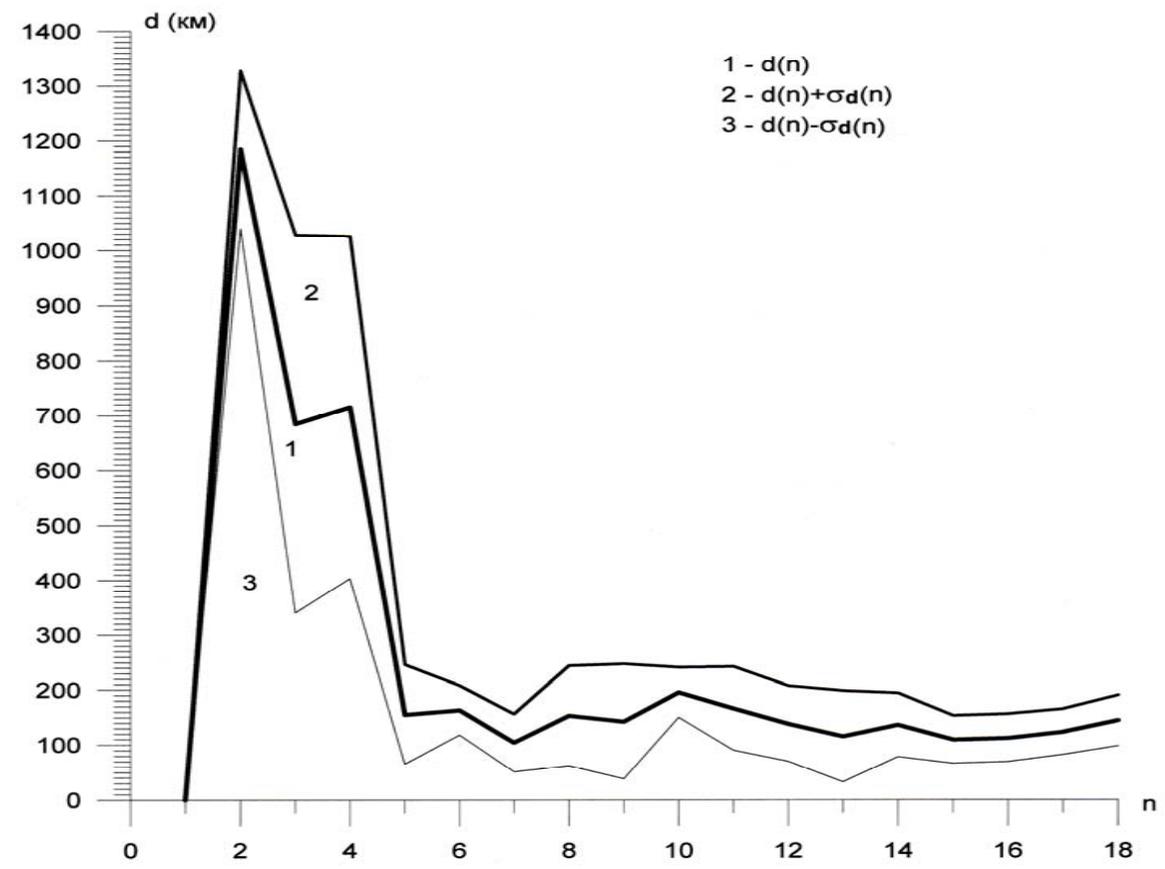


Рис. 1. Распределение глубин компенсации гармоник рельефа в зависимости от степени n гармоник.

Рис.2. Гистограммы распределения глубин компенсации гармоник рельефа после исключения гармоник, ответственных за напряжения

Свыше 15% компенсации происходит в верхней коре (диапазон глубин $d=0-20$ км, $\bar{d}=4.2\pm 2.7$ км).

Пограничный слой кора-мантия ($d=30-210$ км, $\bar{d}=110\pm 45$ км)

пограничный слой литосферы ($d=220-330$ км, $\bar{d}=270\pm 42$ км)

слой в средней мантии ($d=390-460$ км, $\bar{d}=450\pm 11$ км)

пограничный слой мантия – ядро ($d=1000-1400$ км, $\bar{d}=1180\pm 138$ км).

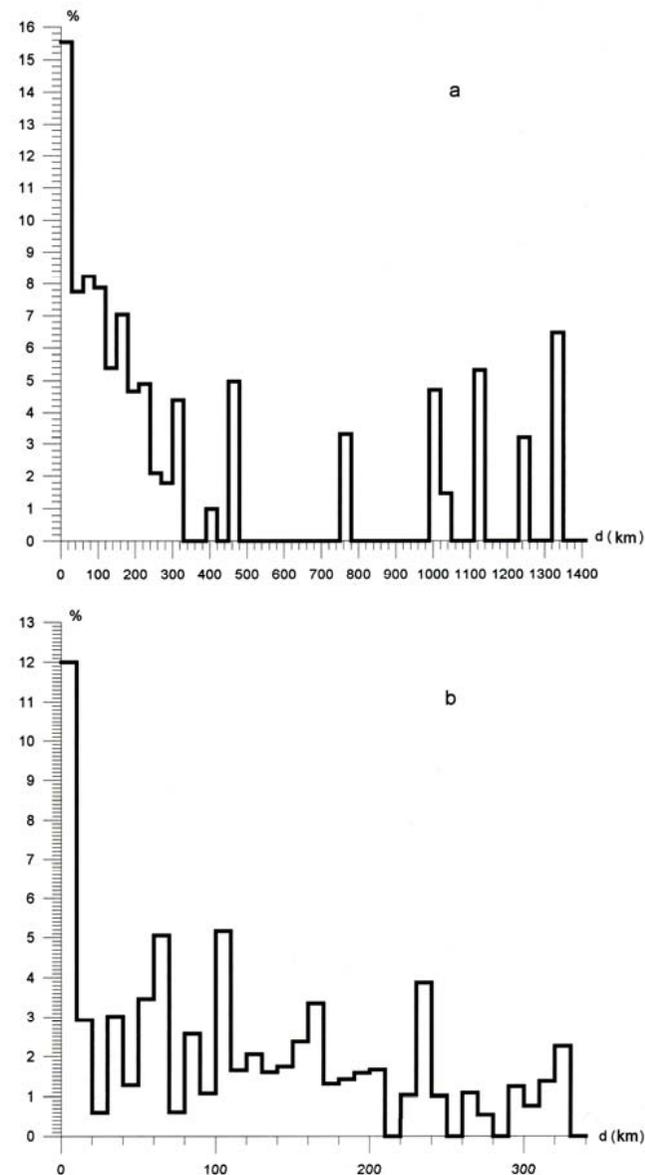
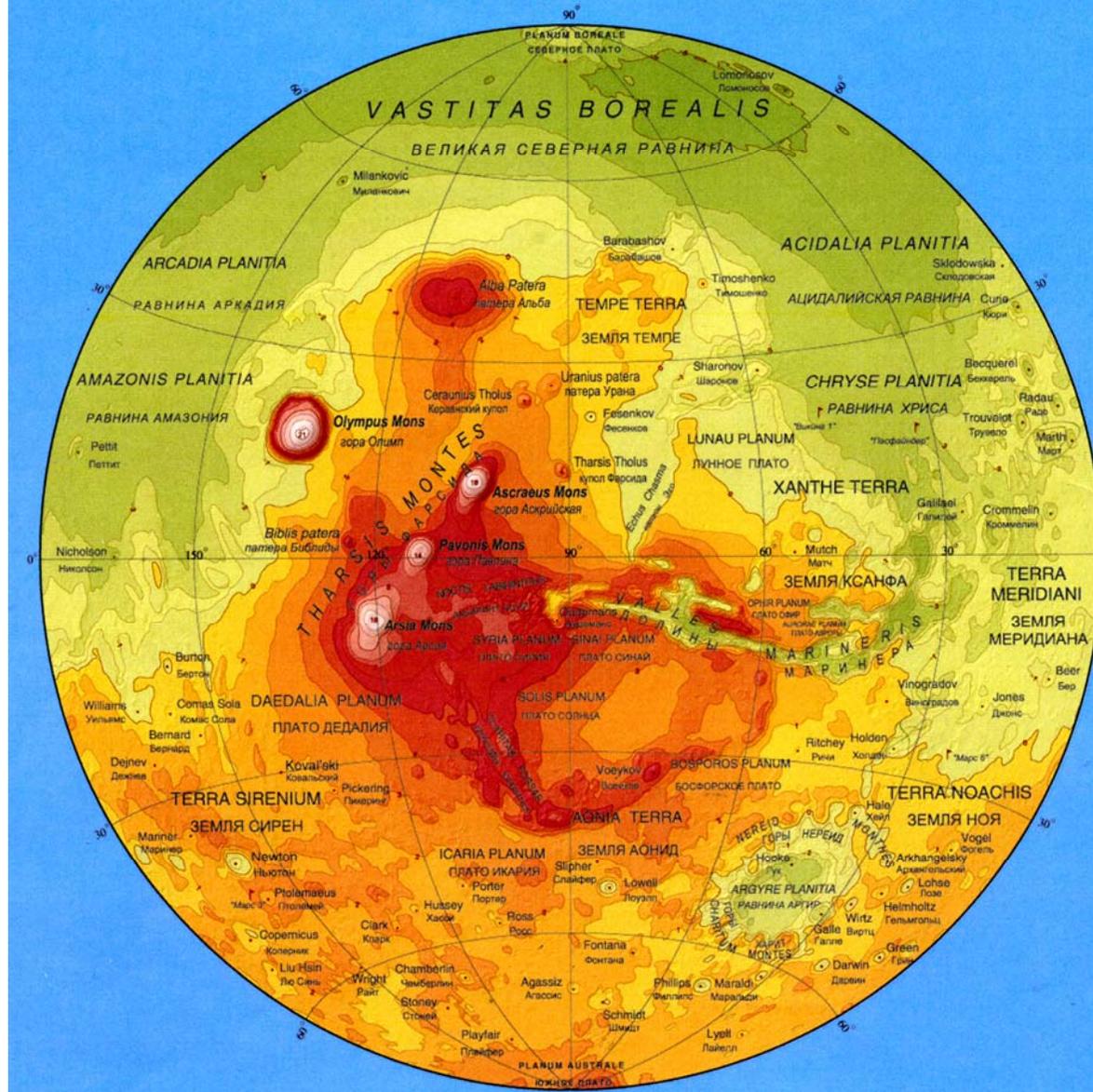


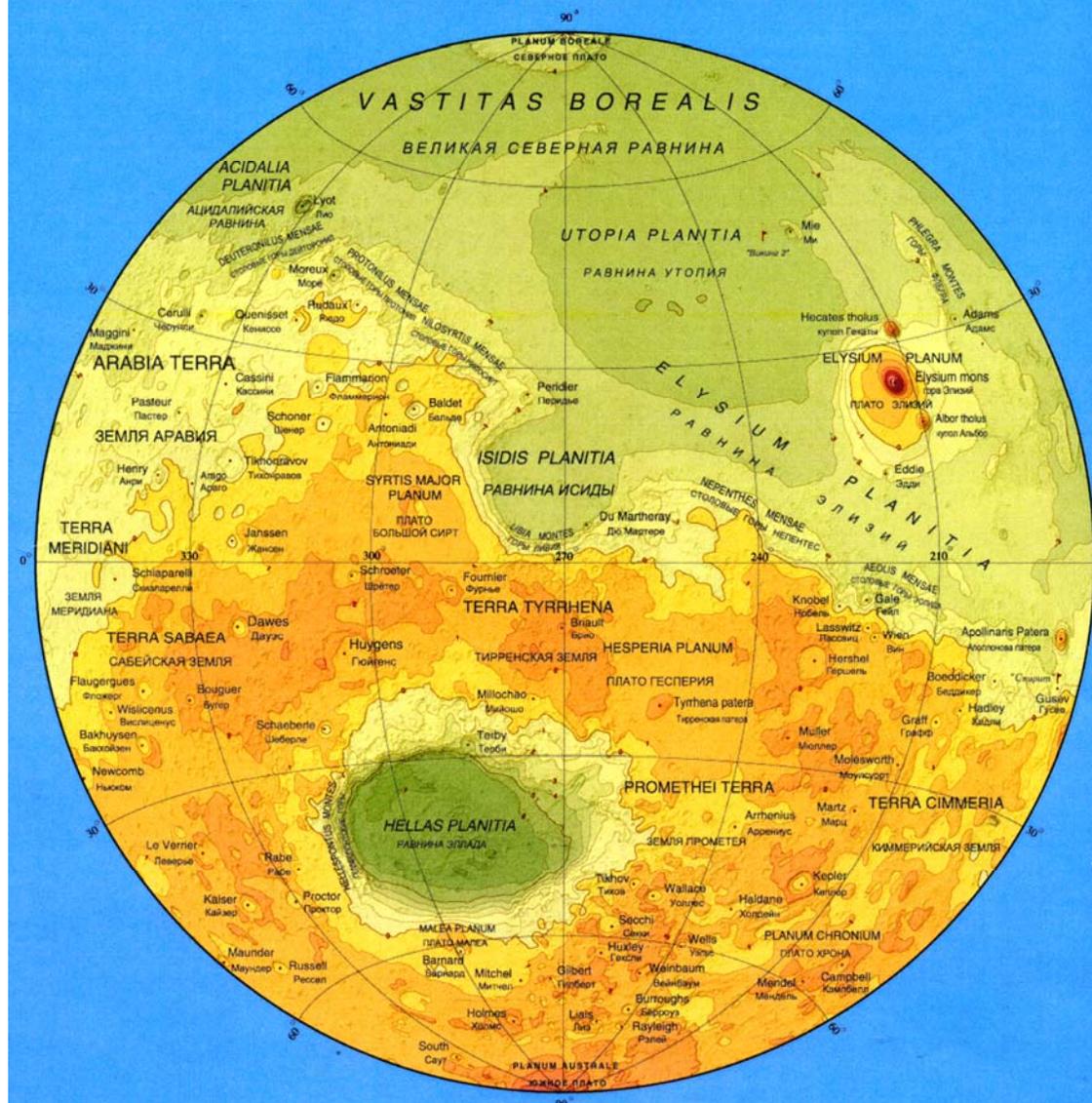
Рис.2. Гистограммы распределения глубин компенсации гармоник рельефа: с шагом 30 км (2а) для всего диапазона глубин 0-1400 км; с шагом 10 км (2б) для диапазона глубин 0-340 км (кора и верхняя мантия).

ЗАПАДНОЕ ПОЛУШАРИЕ



Гипсометрическая карта Марса. Западное полушарие

ВОСТОЧНОЕ ПОЛУШАРИЕ



Гипсометрическая карта Марса. Восточное полушарие

**Рис. 3а . Высоты рельефа относительно гидростатического эллипсоида.
Сечение изолиний 1км, диапазон изменений (-7.2, 11.5)км**

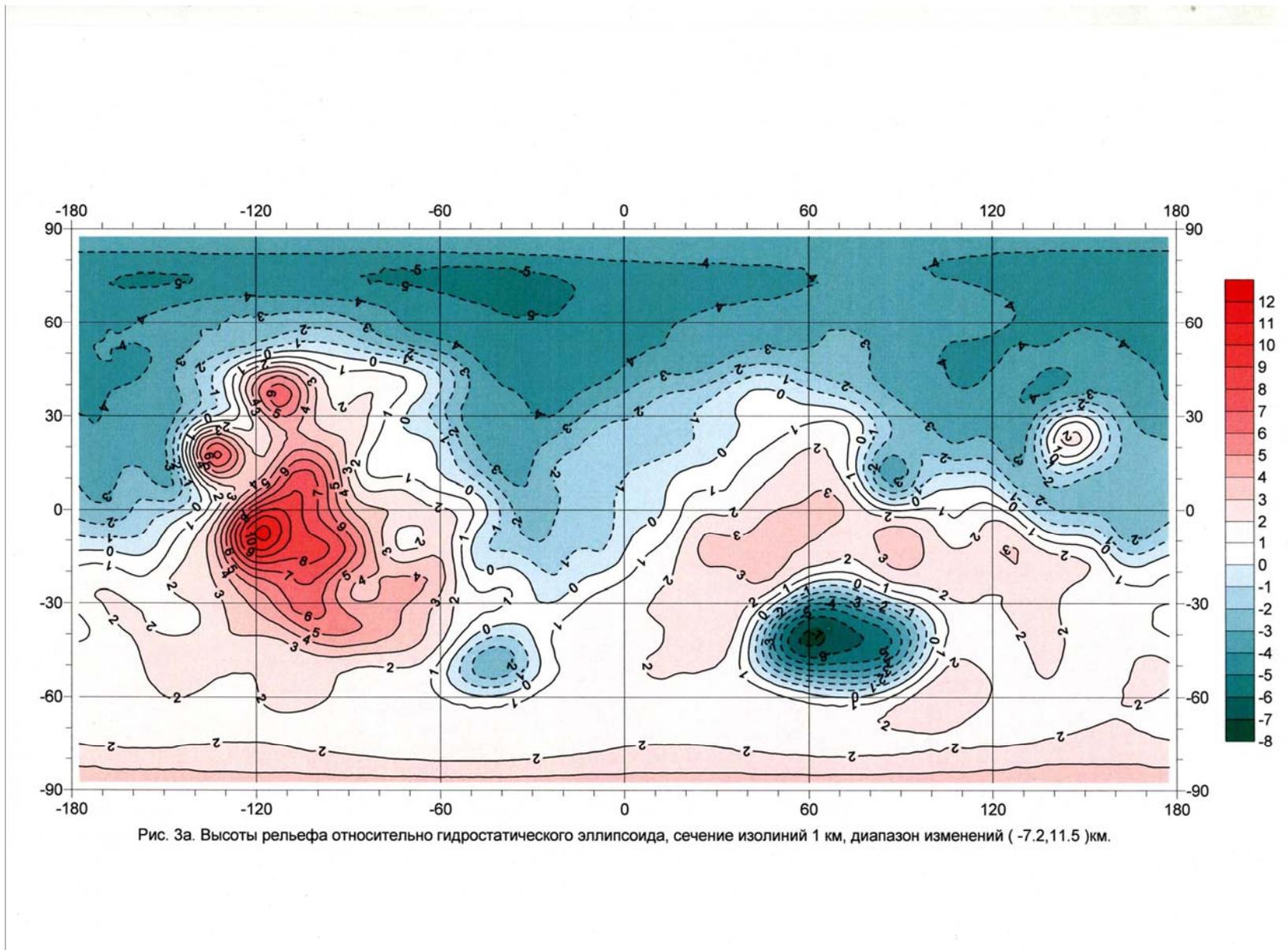


Рис. 3в. Напряжения в коре. Сечение изолиний $5 \cdot 10^6$ Па.

Диапазон изменений $(-18.3, 58.3) 10^6$ Па.

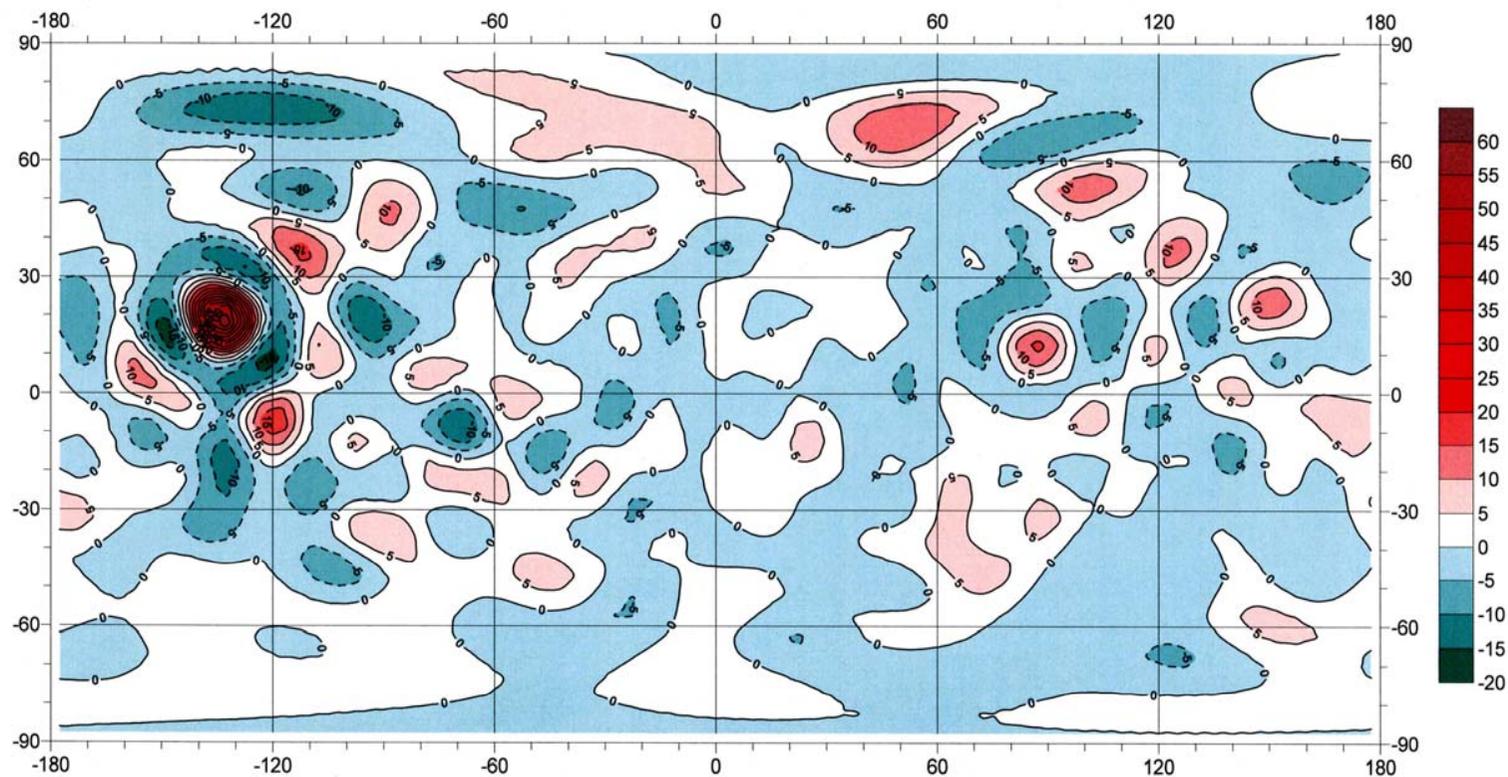


Рис.3в. Напряжения в коре, сечение изолиний $5 \cdot 10^6$ Па, диапазон изменений $(-18.3, 58.3) \cdot 10^6$ Па.

Рис. 3с. Аномалии плотности в верхней коре (на глубине 0-20 км). Сечение изолиний $2 \cdot 10^6$ кг/м². Диапазон изменений $(-14.3, 19.4) 10^6$ кг/м²

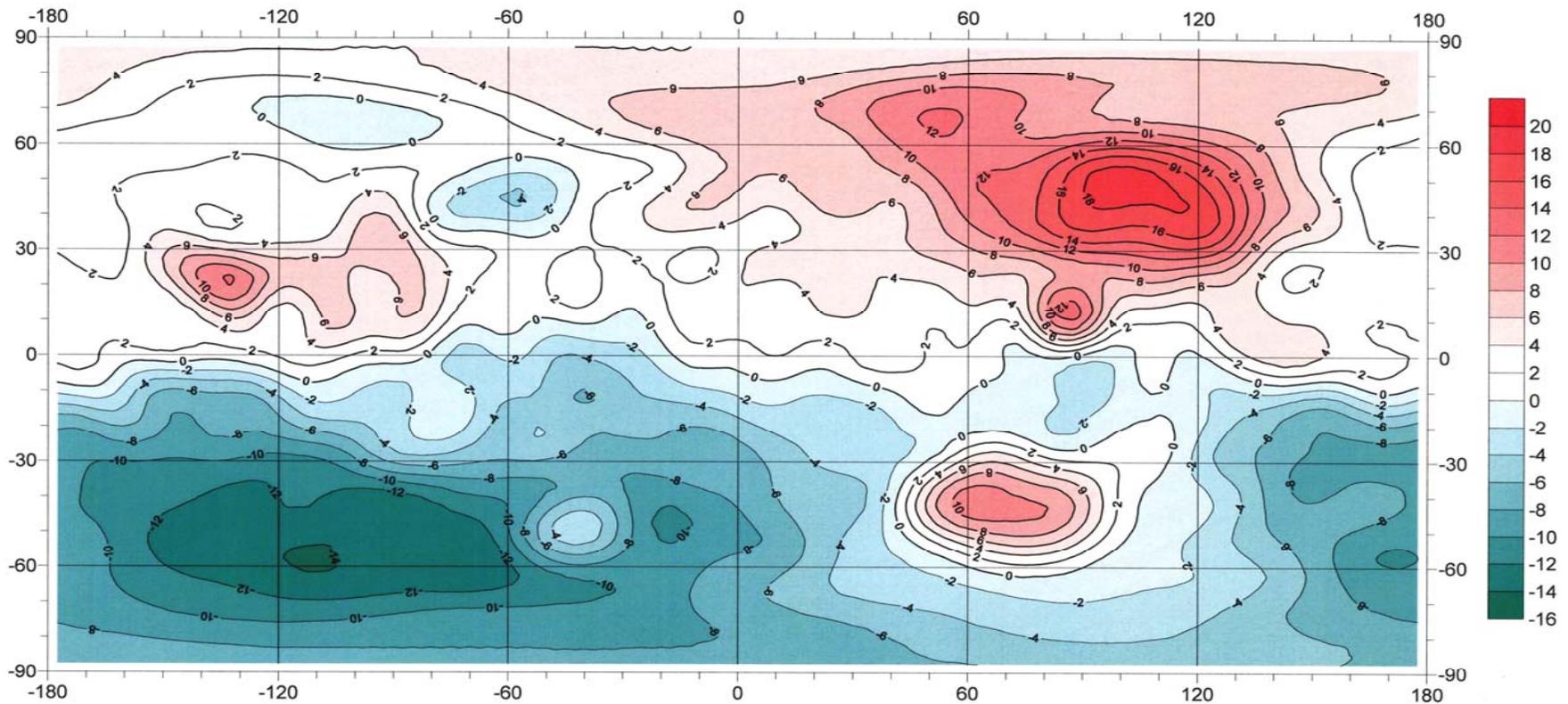


Рис.3с. Аномалии плотности в верхней коре (на глубине 0-20 км), сечение изолиний $2 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2$, диапазон изменений $(-14.3, 19.4) \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2$.

**Рис. 3d. Аномалии плотности в пограничном слое кора-мантия (на
глубине 30- 110 км). Сечение изолиний $2 \cdot 10^6$ кг/м².
Диапазон изменений $(-6.3, 7.4) 10^6$ кг/м²**

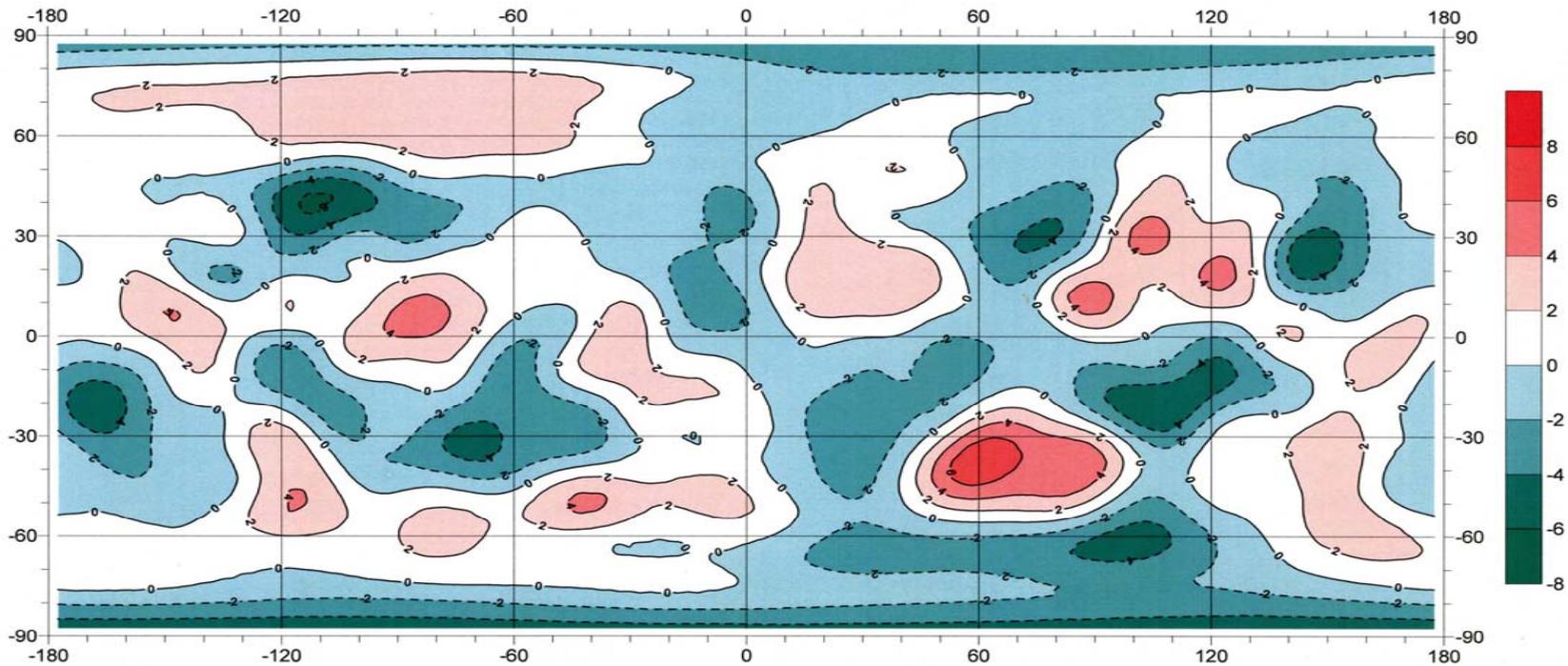


Рис.3d. Аномалии плотности в пограничном слое кора-мантия (на глубине 30-210 км), сечение изолиний $2 \cdot 10^6$ кг/м², диапазон изменений $(-6.3, 7.4) \cdot 10^6$ кг/м².

Рис. 4а. Аномалии плотности в пограничном слое литосферы (на глубине 220-330 км). Сечение изолиний $2 \cdot 10^6$ кг/м². Диапазон изменений $(-6.0, 6.1) \cdot 10^6$ кг/м²

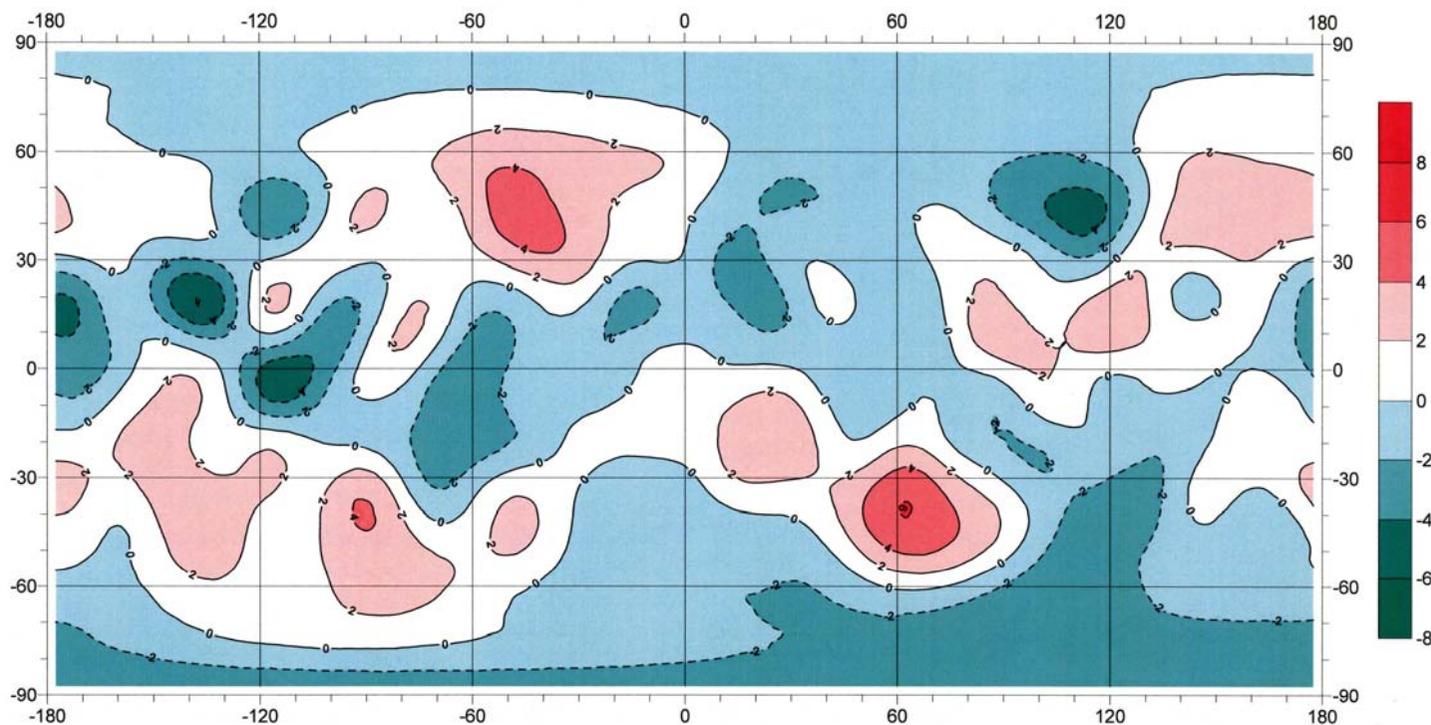


Рис.4а. Аномалии плотности в пограничном слое литосферы (на глубине 220-330 км), сечение изолиний $2 \cdot 10^6$ кг/м², диапазон изменений $(-6.0, 6.1) \cdot 10^6$ кг/м².

Рис.4в. Аномалии плотности в средней мантии (на глубине 390-460 км). Сечение изолиний $2 \cdot 10^6$ кг/м². Диапазон изменений $(-9.6, 7.9) \cdot 10^6$ кг/м²

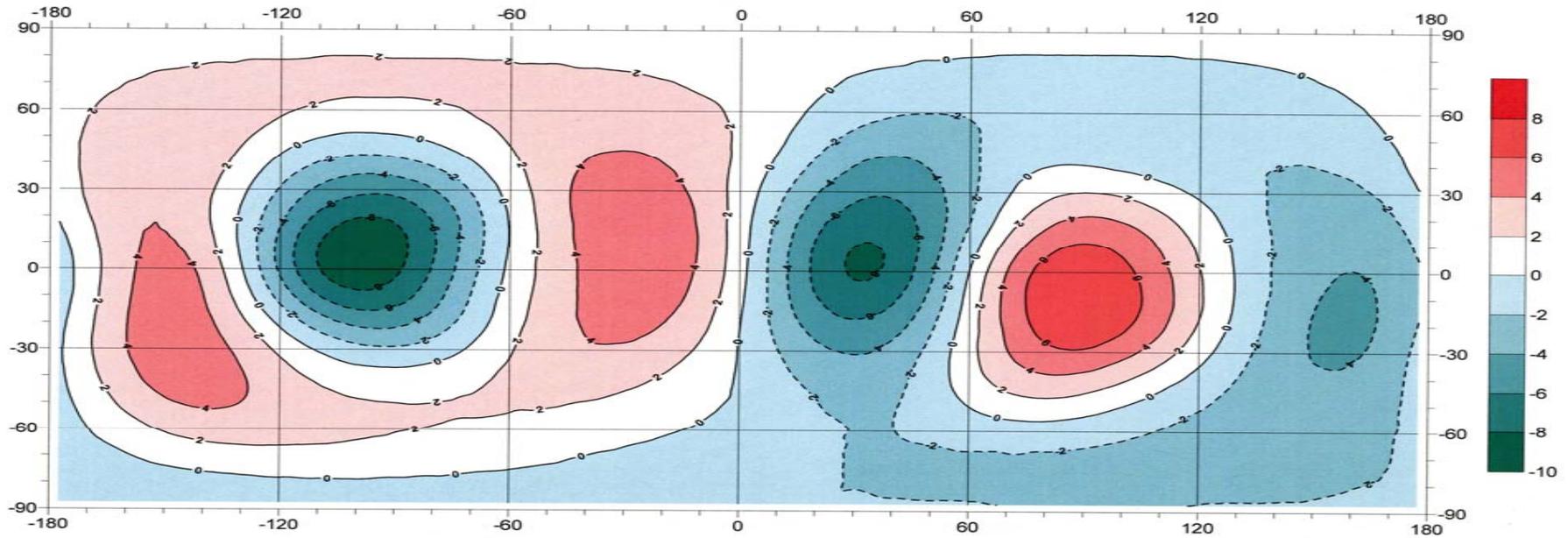


Рис.4в. Аномалии плотности в средней мантии (на глубине 390-460 км), сечение изолиний $2 \cdot 10^6$ кг/м², диапазон изменений $(-9.6, 7.9) \cdot 10^6$ кг/м².

Рис.4с. Аномалии плотности в пограничном слое ядро- мантия (на глубине 1000-1400 км). Сечение изолиний $5 \cdot 10^6$ кг/м². Диапазон изменений $(-65.2, 30.5) 10^6$ кг/м²

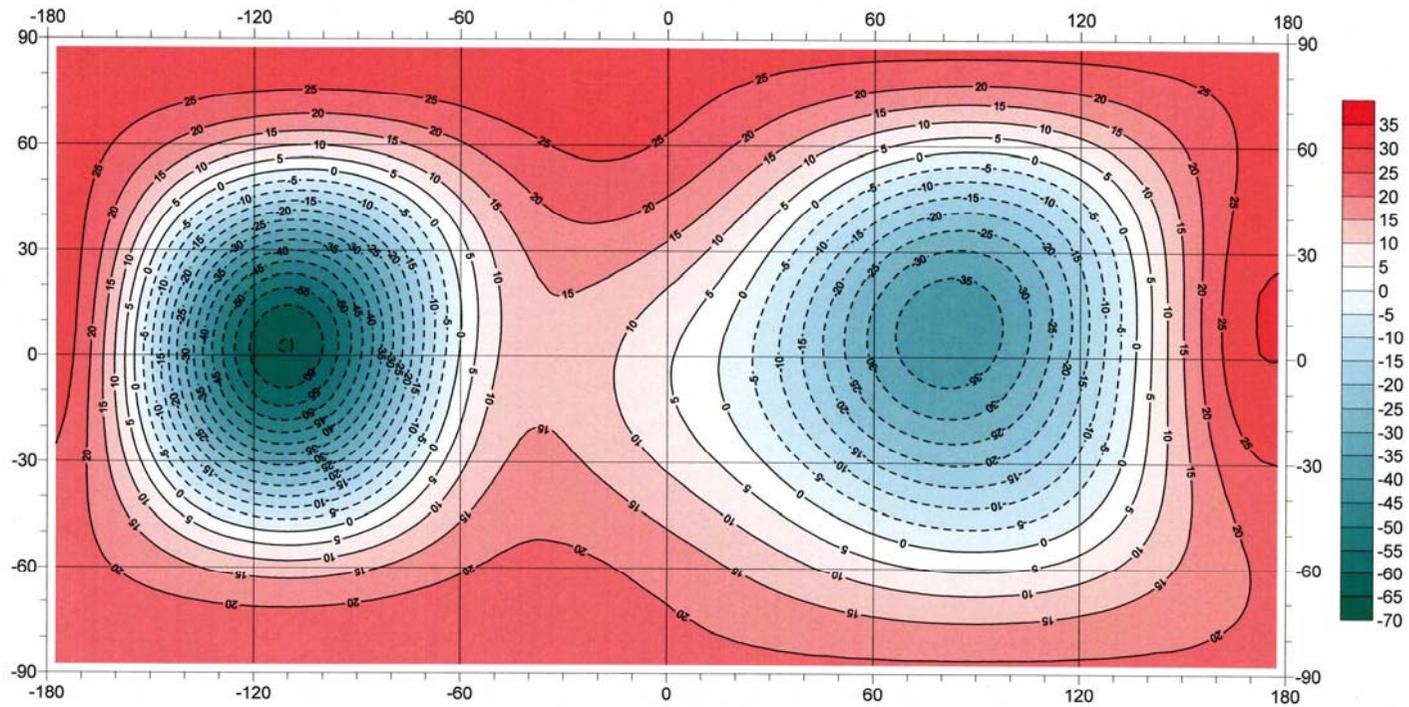


Рис.4с. Аномалии плотности в пограничном слое мантия-ядро (на глубине 1000-1400 км), сечение изолиний $5 \cdot 10^6$ кг/м², диапазон изменений $(-65.2, 30.5) \cdot 10^6$ кг/м².

**Рис.4d. Аномалии плотности, соответствующие границе ядра (средняя глубина 1680 км). Радиус ядра 1700 км.
Сечение изолиний $5 \cdot 10^6$ кг/м².
Диапазон изменений $(-18.2, 40.2) \cdot 10^6$ кг/м²**

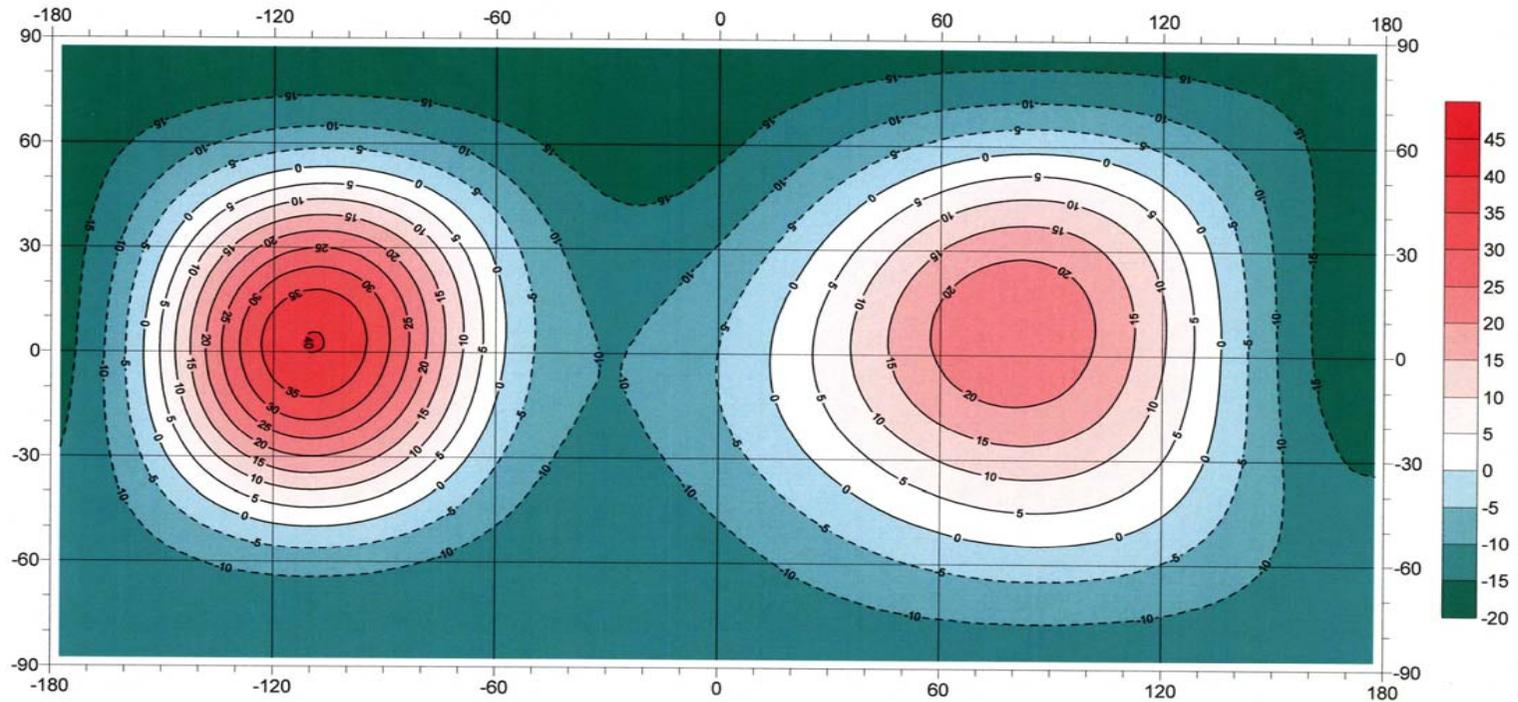


Рис.4d. Аномалии плотности, соответствующие границе ядра (средняя глубина 1680 км, радиус ядра 1700 км), сечение изолиний $5 \cdot 10^6$ кг/м², диапазон изменений $(-18.2, 40.2) \cdot 10^6$ кг/м².

Рис.5а. Относительные аномалии притяжения в нижней мантии над границей ядра (на глубине 1580 км), сечение изолиний $5 \cdot 10^{-4} g_0$, диапазон изменений $(-37.0, 81.7) \cdot 10^{-4} g_0$ ($g_0 = 3.73 \text{ м/с}^2$)

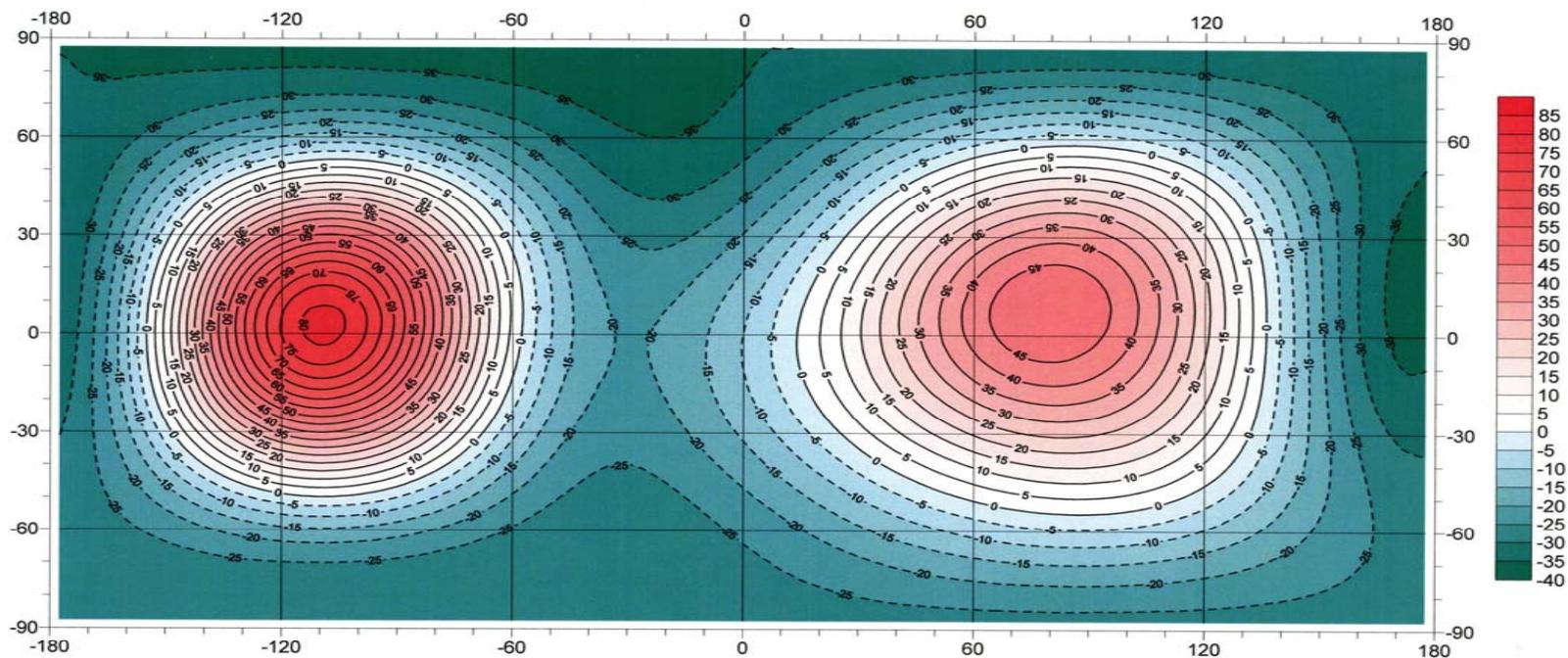


Рис.5а. Относительные аномалии притяжения в нижней мантии над границей ядра (на глубине 1580 км), сечение изолиний $5 \cdot 10^{-4} g_0$, диапазон изменений $(-37.0, 81.7) \cdot 10^{-4} g_0$ ($g_0 = 3.73 \text{ м/с}^2$).

Рис. 5b. Относительные аномалии притяжения в нижней мантии над пограничным слоем мантия-ядро (на глубине 1180 км), сечение изолиний $5 \cdot 10^{-4} g_0$, диапазон изменений $(-63.0, 32.2) \cdot 10^{-4} g_0$

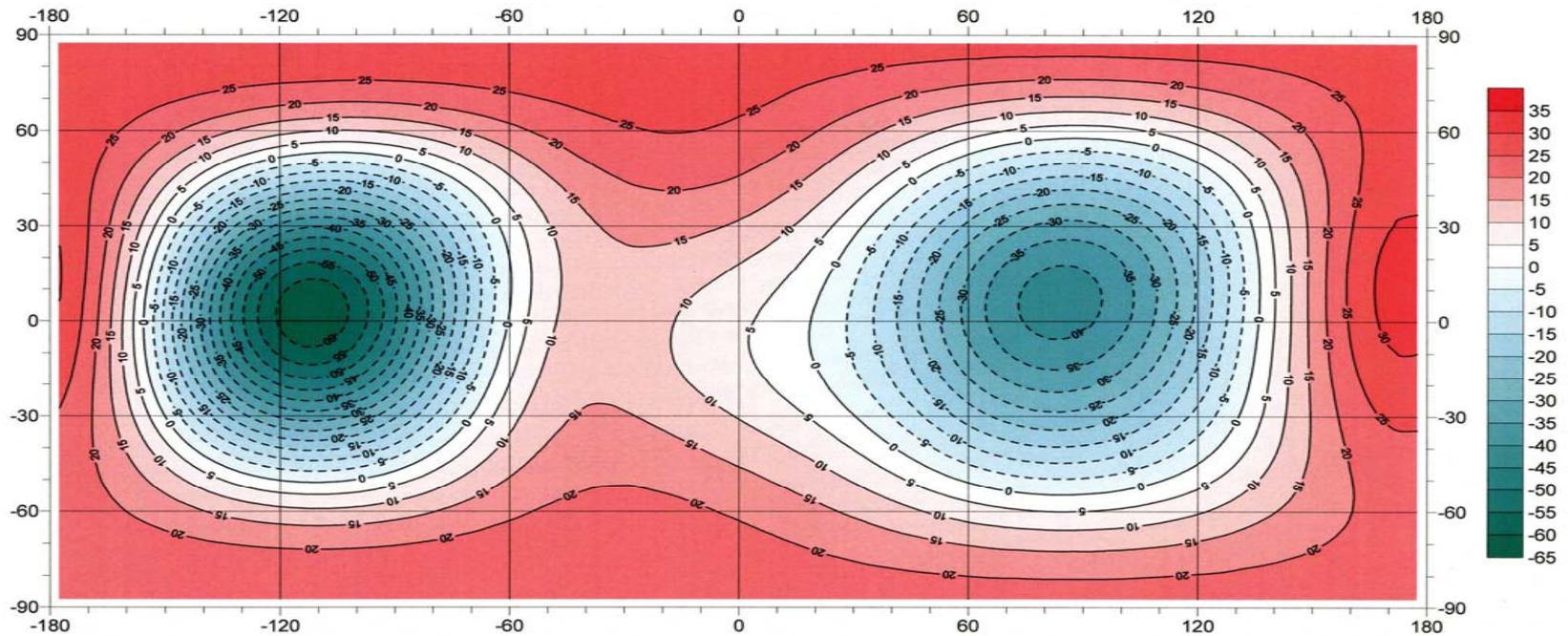
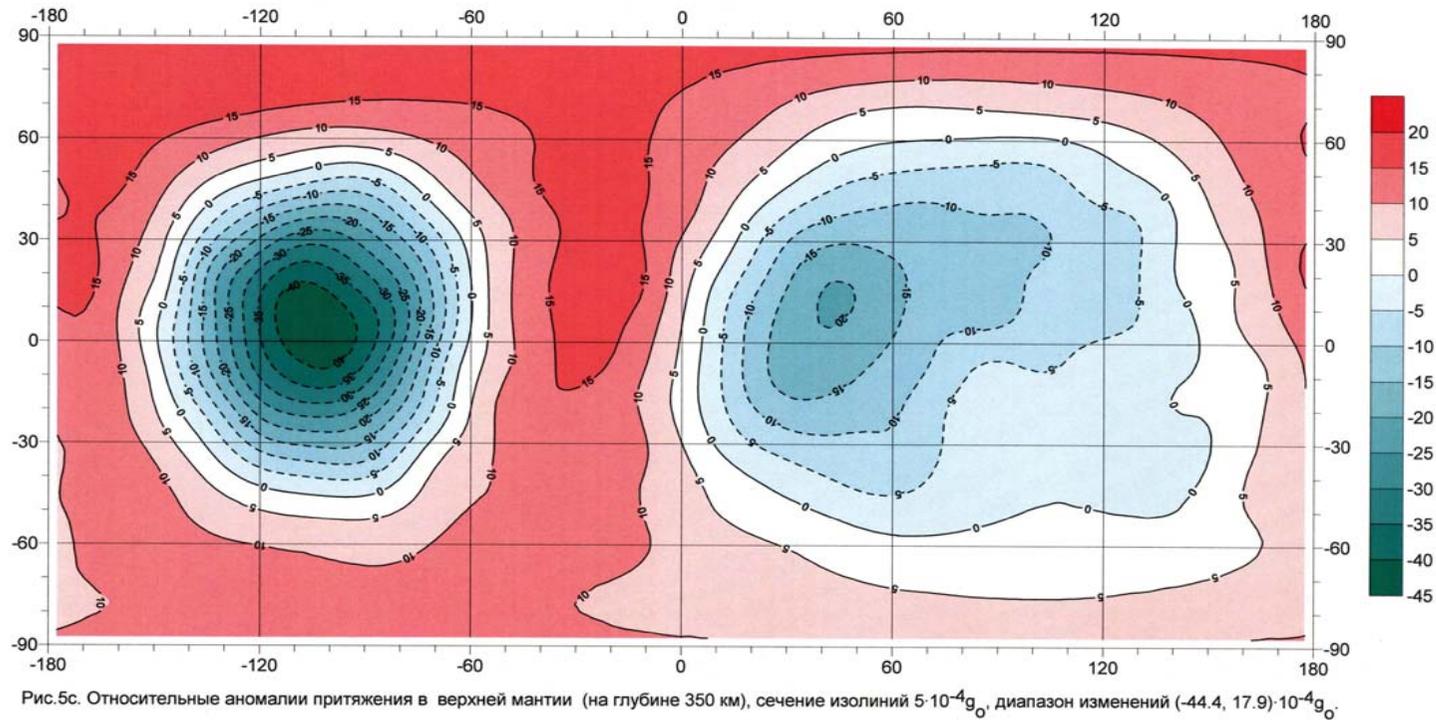


Рис.5b. Относительные аномалии притяжения в нижней мантии над пограничным слоем мантия-ядро (на глубине 1080 км), сечение изолиний $5 \cdot 10^{-4} g_0$, диапазон изменений $(-63.9, 32.2) \cdot 10^{-4} g_0$.

**Рис. 5с. Относительные аномалии притяжения в верхней мантии
(на глубине 350 км),
сечение изолиний $5 \cdot 10^{-4} g_0$,
диапазон изменений $(-44.4, 17.9) 10^{-4} g_0$**



**Рис. 5d. Относительные аномалии притяжения в коре
(на глубине 30 км), сечение изолиний $5 \cdot 10^{-4} g_0$,
диапазон изменений $(-48.2, 22.9) \cdot 10^{-4} g_0$**

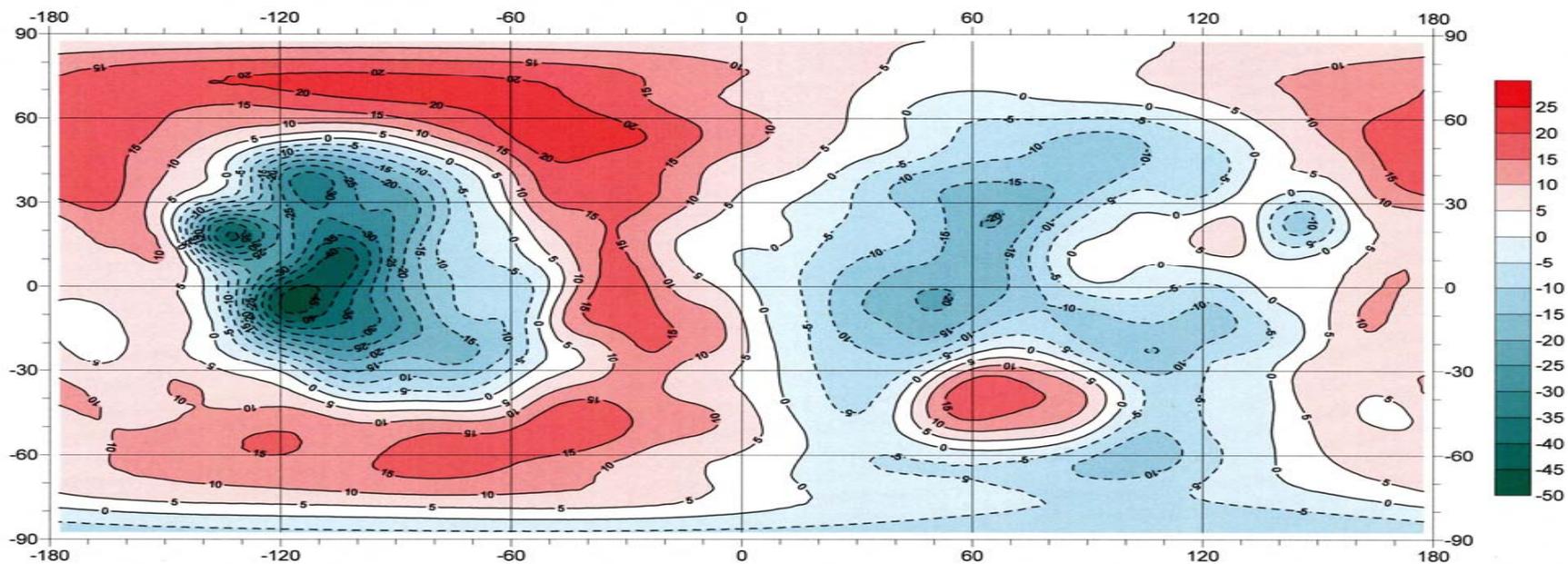


Рис.5d. Относительные аномалии притяжения в коре (на глубине 30 км), сечение изолиний $5 \cdot 10^{-4} g_0$, диапазон изменений $(-48.2, 22.9) \cdot 10^{-4} g_0$.

Выводы

Кора и мантия Марса характеризуется неоднородным распределением плотности и напряжений вплоть до глубины 1400 км. Аномалии рельефа вулканического плато Фарсида и симметричного образования в восточном полушарии, возможно, возникли и динамически поддерживаются за счет наличия двух плюмов обогащенного флюидами расплавленного вещества мантии, берущих свое начало на границе ядра. Возможной причиной возникновения и поддержки существования плюмов могут являться аномалии внутренних сил притяжения. Вулканические кратеры повышенной плотности и крупные депрессии рельефа поддерживаются в основном за счет упругих свойств литосферы и создают напряжения, не превышающие предела прочности литосферы.

БЛАГОДАРИМ ЗА ВНИМАНИЕ!