

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТА ПЛОТНОСТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОРЫ ПРИ ГЛУБИННЫХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ (НА ПРИМЕРЕ ПРОФИЛЕЙ ГСЗ ПРИАМУРЬЯ)

**Ю. Ф. Манилов**

*Институт тектоники и геофизики ДВО РАН, г. Хабаровск*

Проведена оценка влияния эффекта приповерхностных петроплотностных неоднородностей при изучении элементов глубинного строения. Составлена номограмма для определения минимальных граничных параметров неоднородностей, начиная с которых необходим их учет при разномасштабных глубинных исследованиях. На примере сейсмогравитационного профиля р.Зея - р.Бурей показана практическая необходимость картирования глубинных границ раздела с учетом приповерхностных неоднородностей. Использование зависимости  $\Delta g_{\text{ост}} = f(H_{\text{мо}})$ , полученной на профиле р.Зея - р.Бурей позволили оценить глубины до границы Мохо на соседнем профиле Свободный - Комсомольск и сопоставить с данными ГСЗ.

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из главных источников глубинной информации являются данные исследований по сейсмическим профилям. Однако в настоящее время количество профилей в большинстве регионов ограничено.

В этой связи актуальными остаются разработки, опирающиеся на комплексирование сейсмических и гравиметрических методов - сейсмогравитационное моделирование, корреляционные способы передачи опорных профильных сейсмогравитационных данных при помощи площадных гравитационных съемок на обширные территории. К положительным сторонам гравиметрии можно отнести: широкий охват территории разномасштабными съемками, высокую информативность в отношении крупных крутопадающих объектов. В качестве отрицательных моментов следует отметить пониженную чувствительность к субгоризонтальным границам раздела, сложность извлечения глубинной информации в связи с наложением полей разноглубинных и разнопородных источников, отсутствие корректных способов разделения полей. Существенным фактором, затрудняющим глубинные исследования, является высокая плотностная контрастность верхней части коры, создающая аномальный эффект, нередко соизмеримый с аномальным эффектом глубинных неоднородностей.

Предлагаемая работа посвящена проблеме методических подходов повышения эффективности гравиметрии при глубинных исследованиях. Из узловых моментов основное внимание было акцентировано на двух направлениях.

**Первое** - принципиальная оценка необходимости учета приповерхностных неоднородностей при глубинной интерпретации разномасштабных гравиметрических материалов в различных физико-геологических обстановках, определение граничных значений параметров неоднородностей (гео-

метрических и физических), начиная с которых необходим количественный учет их эффекта при разномасштабных исследованиях.

**Второе** - поиски способов вычленения из суммарного поля силы тяжести части, несущей информацию о глубинных субгоризонтальных границах раздела, с целью обеспечения возможности интерполяции этих границ от опорных сейсмогравитационных пересечений.

### МЕТОДИКА

Особенности реализованного методического подхода можно сформулировать следующим образом:

1. В основу исследований положен принцип "раздевания" поля силы тяжести путем последовательного исключения аномальных эффектов верхней и средней частей разрезов [1,7,8, 11, и др.].

2. Использование корреляционных методов с одной стороны для оценки правильности принятых решений, с другой - интерполяции и экстраполяции глубинных границ разделов, установленных на сейсмогравитационных пересечениях в пределах всего изучаемого блока коры.

3. В качестве исходной позиции принимаем, что в первом приближении аномальное поле силы тяжести может быть представлено четырьмя составляющими:

а) Аномалии, обусловленные контрастными неоднородностями в верхней части коры. Они могут быть оценены в результате прямого изучения их источников (поверхность, горные выработки).

б) Локальные аномалии, вызванные компактными неоднородностями в средней части коры, проявленные контрастными аномалиями  $\Delta g$ .

в) Аномалии, обусловленные морфологией глубинных границ раздела (Мохоровичича, Конрада).

г) Слабоконтрастные с большими латеральными размерами аномалии, связанные с неоднородностями в верхней мантии.

На базе изложенного реализована следующая технология исследований:

1. Проведена принципиальная оценка граничных (предельных) параметров (геометрических, физических) приповерхностных неоднородностей, начиная с которых необходим их учет при глубинных исследованиях. Параметры эти варьируют в зависимости от масштаба интерпретируемых гравиметрических карт. При решении этой задачи за основу принято следующее: эффект плотностных неоднородностей с латеральными параметрами, превышающими глубину до кромки более чем в 5 раз, может быть оценен по формуле для плоскопараллельного слоя с точностью менее 10%.

2. Оценка ожидаемого эффекта для неоднородностей, выходящих на дневную поверхность, либо вскрытых под маломощным рыхлым чехлом для масштаба 1:50000, имеющих в поперечнике 1 см и более, а для 1:200000 и мельче - более 2 мм может быть выполнена по формуле:

$$\Delta g = 2\pi f \Delta \sigma \Delta H,$$

где  $f$  - постоянная тяготения,  $\Delta \sigma$  - дефицит плотности,  $\Delta H$  - распространение тел на глубину.

В качестве минимальных значений аномалий приповерхностной природы, начиная с которых необходим их учет, принято сечения гравиметрических карт соответствующего масштаба. Так для карт масштаба 1:50000 имеет смысл учет поправок, начиная со значений 0,5 мГл, для масштаба 1:200000 - 2 мГл, 1:500000 - 5 мГл, 1:1000000 - свыше 10 мГл.

Для оценки минимальных геометрических параметров неоднородностей с различными плотностными характеристиками для анализируемых материалов разномасштабных съемок составлена номограмма (рис.1). Здесь семейство наклонных прямых выражает зависимость интенсивности аномалий  $\Delta g$  от вертикальной мощности неоднородности  $\Delta H$  для различных значений избыточной плотности  $\Delta \sigma$  от 0,1 до 1 г/см<sup>3</sup>. Горизонтальные прямые соответствую-

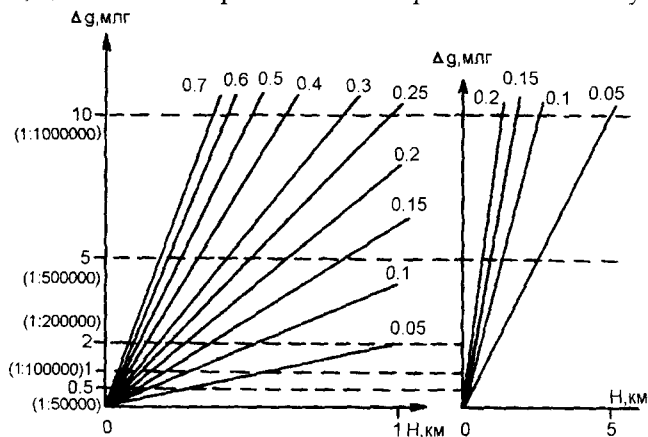


Рис.1. Номограмма для оценки граничных значений параметров петроплотностных неоднородностей для гравиметрических материалов различного масштаба.

ют предельным (нижний предел) значениям  $\Delta g$ , начиная с которого необходим учет эффекта неоднородностей для материалов гравиметрических съемок соответствующего масштаба. Абсциссы точек пересечения горизонтальных прямых с наклонными дают значения минимальной мощности при соответствующей  $\Delta \sigma$ , начиная с которых необходим учет аномалий при заданном масштабе исследований. Граничные значения параметров ( $\Delta \sigma, \Delta H$ ) для разномасштабных съемок сведены в таблице предельных параметров плотностных неоднородностей верхней части коры, ниже которых их учет нецелесообразен при глубинных исследованиях (табл.1).

В связи с тем, что рассматриваемая работа была проведена на материалах съемок масштаба 1:1000000 (сводная карта масштаба 1:2500000) дефект контрастных неоднородностей верхней части коры при  $\Delta \sigma = 0,1$  г/см<sup>3</sup> учитывался, начиная с вертикальной мощности  $\Delta H = 2,4$  км, что ощутимо сократило объем расчетов.

Аномальный эффект в процессе работы рассчитывался по формуле для плоскопараллельного слоя и вычитался из значения поля. Избыточная плотность определялась как величина отклонения от средней плотности верхнего слоя.  $\Delta H$  по опорным пересечениям взята по данным сейсмогравитационного моделирования [2, 9]. Для промежуточных пересечений по контрастным аномалиям проводилась оценка кромок магнитных неоднородностей фундамента депрессионных структур, выполненных магнитопрозрачными осадками. Поэтому наряду с редкими оценками по данным сейсморазведки и электро-разведки глубина днища депрессии определяется на основании расчетов верхних кромок магнитоактивных тел (метод касательных). Кроме того массовые оценки могут быть сделаны с помощью машинных программ [5].

3. Расчет эффекта компактных неоднородностей средней части разреза проводится путем количественной интерпретации аномалий, оставшихся после исключения эффекта неоднородностей верхней части разреза, и последующим моделированием.

Основной целью рассматриваемого методического подхода являлось подавление эффектов неоднородностей в пределах верхней и средней частей разреза для поисков составляющей поля, коррелируемой с глубинными субгоризонтальными границами. Этого можно достигнуть методом сглаживания кривой с исключенным эффектом верхней части разреза. Сглаживание проводится по точкам перегибов [6, 10].

4. Следующий этап - проведение корреляционного анализа между значениями глубин до одной из интересующих нас глубинных границ раздела.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Реализация предлагаемого подхода иллюстрируется на примере одной из площадей среднего Приамурья. Она имеет достаточно сложное геологическое

Таблица 1. Предельные параметры петроплотностных неоднородностей верхней части коры, подлежащих учету при разномасштабном геологическом редуцировании

Масштаб исследования	Дефицит плотности $\Delta g$ (г/см <sup>3</sup> )									
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
	<b>Вертикальная мощность <math>\Delta H</math> (км)</b>									
1:50 000	0,24	0,12	0,08	0,06	0,048	0,04	0,03	0,024	0,02	0,017
1:100 000	0,48	0,24	0,16	0,12	0,096	0,08	0,06	0,048	0,04	0,034
1:200 000	0,96	0,48	0,32	0,24	0,132	0,16	0,12	0,096	0,08	0,068
1:500 000	2,4	1,2	0,8	0,6	0,48	0,4	0,3	0,24	0,2	0,17
1:1000 000 и мельче	4,8	2,4	1,6	1,2	0,96	0,8	0,6	0,48	0,4	0,34

строение [3, 4]. Рассматриваемые сейсмогеологические разрезы охватывают Буреинский массив и Сихотэ-Алинскую складчатую систему, пересекают (с запада на восток) Зейскую, Гарьскую, Зее-Буреинскую, Верхне-Буреинскую впадины; Гонжинский выступ, Баджальский вулканоген. Из разломов наиболее крупные: Селемджинский и Западно-Туранский (рис.2,3).

Анализ геологического строения рассматриваемой территории, слагающих ее геологических образований, с учетом их петрофизических характеристик показывает, что наибольшие локальные аномалии гравитационного поля создают глубокие грабенообразные провалы, заполненные осадочными комплексами; массивы кислых и основных интрузий на фоне осадочно-метаморфического комплекса; вулканогенные образования; крупнообъемные метасоматиты.

В консолидированной части коры наиболее вероятные источники контрастных аномалий - круп-

ные интрузивы кислых, основных и ультраосновных пород, крупные блоки разуплотнения.

В настоящей работе исключение эффектов выполнено для двух сейсмогравитационных разрезов (рис.3,5)

1. р.Зей - р.Буря (интерпретация Ю.Ф.Малышева) (рис. 2,3) [9];

2. Свободный - Комсомольск-на-Амуре (Брянский Л.И., Подгорный В.Я.) (рис.3,5) [2].

В результате выполненного на 1-м разрезе последовательного "раздевания", т.е. компенсации избытка или недостатка плотности поверхностного чехла, коэффициент корреляции  $\Delta g$  с  $H_m$  (до границы Мохо) вырос с  $r = 0,3$  до  $r = 0,7-0,9$  (в зависимости от блока). Выяснилось, что наибольший отрицательный эффект наблюдается в районах Зейской и Верхнебуреинской впадин. Его создают рыхлые отложения осадочно-метаморфического комплекса, которыми эти депрессии выполнены. Кроме того определенное влияние оказывает уплотнение, которое установлено под Буреинским массивом (рис.3).

После "раздевания" было получено два уравнения регрессии. Одно уравнение  $\Delta H_m = -0,23 \Delta g + 35,8$  описывает поведение границы Мохо к западу от Западно-Туранского разлома, а другое  $\Delta H_m = -0,4\Delta g + 29,4$  для района к востоку от разлома (рис.4).

Для второго разреза также был исключен эффект верхней части коры. Здесь наибольшие отрицательные аномалии созданы отложениями Буреинской впадины, а также разуплотнениями, которые наблюдаются в пределах Сихотэ-Алинской системы. Затем, по зависимостям, полученным при анализе первого разреза были рассчитаны глубины до границы Мохо (рис.5).

При сравнении глубин, полученных аналитическим путем с данными сейсморазведки относительная ошибка не превысила 11 %.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги изложенному, необходимо подчеркнуть следующее.

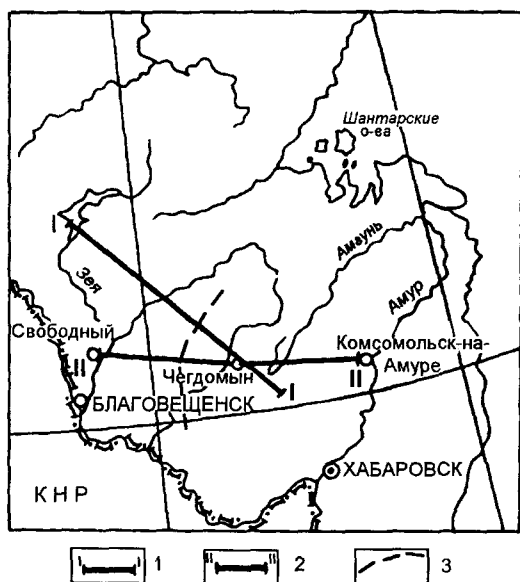
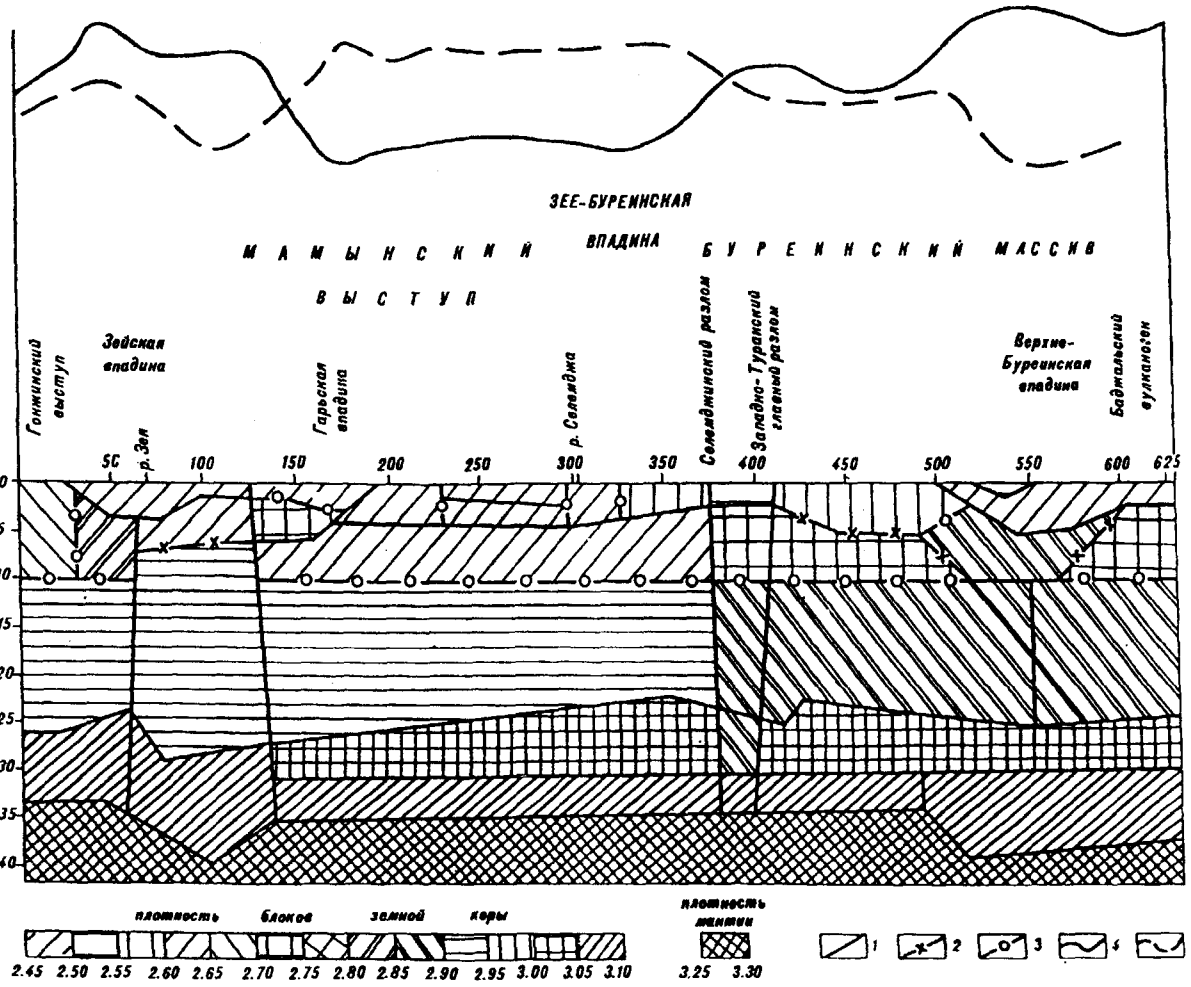


Рис.2. Схема размещения расчетных профилей.

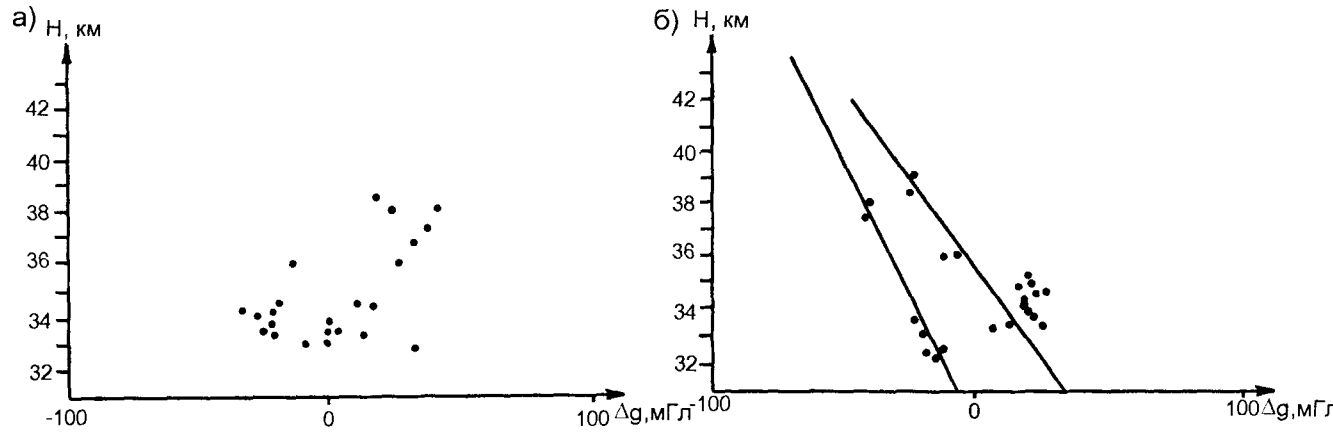
1-профиль р.Зей - р.Буря

2- профиль Свободный - Комсомольск-на-Амуре

3-Западно - Туранский разлом.



**Рис.3.** Плотностной разрез земной коры по профилю ГСЗ р.Зея-р.Буря.  
 Границы на разрезе по данным (1-3): 1 – МОВЗ, 2 – Магнитоспектральных расчетов, 3 – Гравитационное моделирование.  
 Кривые  $\Delta g$  (4-5): 4 – исходная; 5-исправленная с учетом эффекта в.ч.к.



**Рис.4.** Графики зависимости  $\Delta N_{(M_0)}$  от  $\Delta g$ :  
 а)- без учета эффекта верхней части коры; б)- с учетом эффекта верхней части коры.

1. Предложенный методический подход способствует изучению морфологии глубинных границ разделов в условиях контрастности верхней и средней частях коры корреляционными методами.

2. Составлена номограмма граничных значений геометрических и физических параметров, начиная с сочетания которых необходим их учет при использовании гравиметрических материалов разного

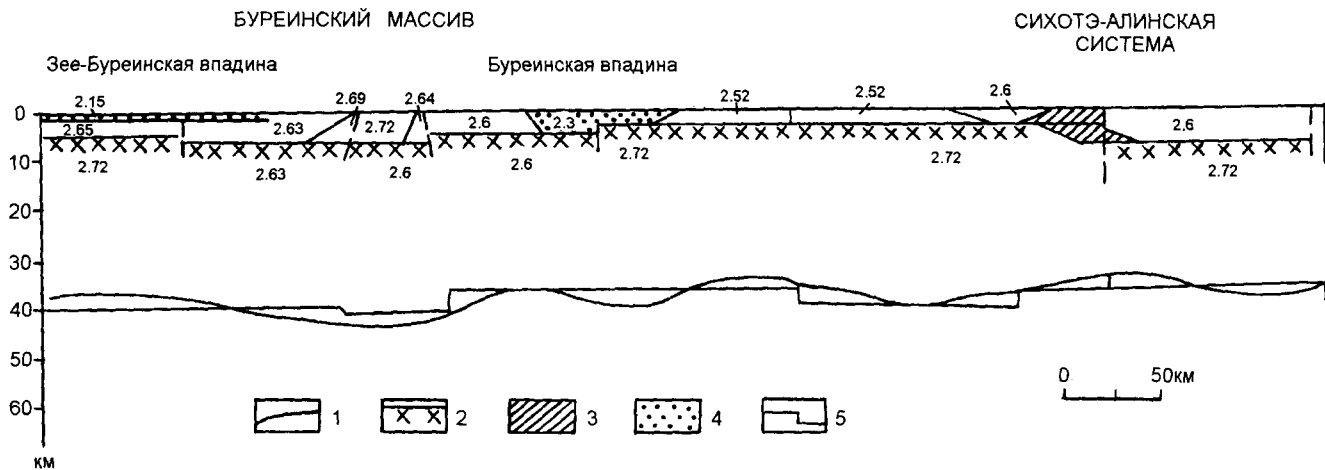


Рис.5. Глубинный разрез по профилю II-II.

1. Граница Мохо, рассчитанная по зависимостям. 2. Граница консолидированной коры. 3. Относительные разуплотнения. 4. Осалочные отложения мезозойско-кайнозойских впадин. 5. Граница Мохо по сейсмическим данным.

масштаба. Показана необходимость при глубинных исследованиях количественного учета гравитационного эффекта петроплотностных неоднородностей в верхней части земной коры.

3. Эффективность предлагаемого методического подхода иллюстрируется на примере сейсмогравитационных профилей в пределах Среднего Приамурья и позволяет получать новые данные о морфологии границы Мохо в пределах рассматриваемого района.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Б.А., Клушин И.Т. Геологическая интерпретация гравитационных аномалий. М.: Недра, 1965. 495 с.
2. Брянский Л.И., Подгорный В.Я. Гравитационная модель глубинного строения земной коры по профилю Свободный - Комсомольск - мыс Сюркум // Тихоокеан. геология. 1984. №5. С.76-81.
3. Геология Дальнего Востока // АН СССР. ДВНЦ. ИТИГ. Владивосток, 1975. 320 с.
4. Геология СССР. Т. 19, ч.1. М.: Недра, 1966. 736 с.
5. Лойтер П.П. Применение магнито-спектральных разре-

зов при исследовании глубинного строения земной коры: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. Хабаровск, 1986. 21 с.

6. Малышев Ю.Ф., Брянский Л.И. и др. Глубинное строение срединных массивов Северо-Востока Азии и их роль в формировании Тихоокеанской окраины // Тихоокеан. геология. 1983. № 3. С.27-34
7. Манилов Ф.И., Саксин Б.Г. Объемное геолого-геофизическое картирование (на примерах Буреинского и Ханкайского срединных массивов). Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984. 130 с.
8. Никольский Ю.И. Некоторые вопросы методики интерпретации гравитационных аномалий в пределах геологически закрытых территорий запада Средней Азии. Сб. Проблемы нефтегазаносности Средней Азии. М.: Госгостехиздат, 1960. Вып.1. С.70-84
9. Современная динамика литосферы континентов. М.: Недра, 1995. С.31-70
10. Шевченко Б.Ф. Геолого-геофизические модели верхней части земной коры Буреинского массива // Геология и геофизика. 1981. N7. С.91-99.
11. Hummer S. Deep gravity interpretation by stripping // Geophysics. 1963. V. 28, N3. P.369-378.

Поступила в редакцию 26 января 1998 г.

Рекомендована к печати Малышевым Ю.Ф.

*Yu.F. Manilov*

### Evaluation of the effect of density heterogeneities in the upper part of the crust by deep gravimetric studies (as exemplified by deep seismic sounding profiles of Priamurie)

The effect of subsurface petrodensity heterogeneities is evaluated when studying deep structure. A nomogram was plotted to determine the minimum boundary heterogeneity parameters starting from which the above heterogeneities are to be taken into account when carrying out different-scale deep investigations. The necessity of mapping deep interfaces with reference to the subsurface heterogeneities is illustrated by the Zeya R. - Bureya R. seismogravitational profile. The dependence  $Dg_{\text{от}} = f(H_{\text{мо}})$  obtained on the Zeya R. - Bureya R. profile allows us to estimate the depths to the Moho boundary on the adjacent profile Svobodny - Komsomolsk and to compare the data obtained with those of deep seismic sounding.