

## КОЛИЧЕСТВЕНА ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НА ХОРИЗОНТАЛНИЯ ГРАДИЕНТ НА ГРАВИТАЦИОННОТО ПОЛЕ ЗА ПРАГОВИ СТРУКТУРИ ПО ДАННИ ОТ СТАТИСТИЧЕСКИ АНАЛИЗ

**Ради Радичев, Стефан Димовски**

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700, България  
 E-mail: radirad@mgu.bg; dimovski@mgu.bg

### РЕЗЮМЕ

Предложен е подход и методика за количествена интерпретация на гравитационното поле за прагови структури чрез използване на разпределението на хоризонталния градиент  $U_{xz}$  на различни нива.

Избрани са представителни характеристики, които могат сравнително еднозначно да се определят по данните от анализа на измереното гравитационно поле - максималната стойност на градиента  $U_{xz}^{max}$ , ширината на аномалията  $\Delta X_{1/2}$  за стойност  $U_{xz}^{max}/2$  и ширините за двете клонки на разпределението на хоризонталния градиент -  $\Delta X_{1/2}^-$  и  $\Delta X_{1/2}^+$ .

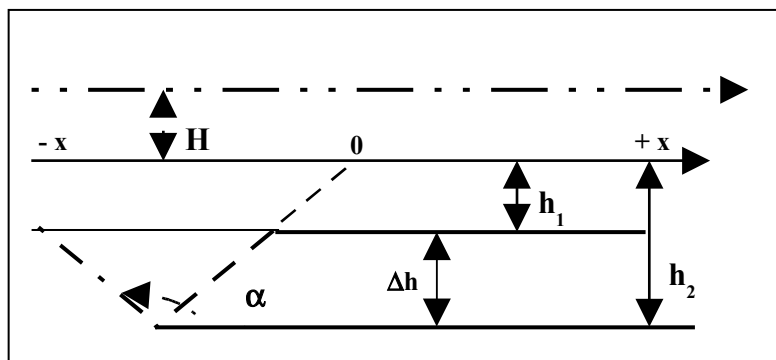
Изследвана е връзката на тези характеристики с основните параметри на наклонен праг - дълбочината  $h_1$ , до праговата структура, дебелината на прага  $\Delta h$  ( $\Delta h = h_2 - h_1$ ) и ъгъла на наклона  $\alpha$ . Въз основа на голям обем статистически изследвания са получени корелационни зависимости удобни за целите на количествената интерпретация.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Един от най-често срещаните в природата случаи на контакт между скали с различна плътност е наклоненият праг (W. Telford *et al.*, 1990; Гравиразведка, 1990). При тази геометрична форма, смущаващата маса е ограничена от

две хоризонтални и една наклонена равнина. На фиг.1 са илюстрирани традиционният двумерен модел на наклонен праг и обозначението на неговите основни параметри. Гравитационното действие  $U_z$  на наклонения праг се представя от следния аналитичен израз:

$$U_z = 2G\Delta\rho \left[ h \left( \frac{\pi}{2} + \arctg \frac{h \cdot \ctg\alpha + x}{h} \right) + x \cdot \sin\alpha \left\{ \frac{1}{2} \sin\alpha \cdot \ln \frac{1}{\sin^2\alpha} \left[ (h + x \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha)^2 + x^2 \cdot \sin^4\alpha \right] - \cos\alpha \cdot \arctg \frac{h + x \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha}{x \cdot \sin^2\alpha} \right\} \right] \Bigg|_{h_1}^{h_2}$$

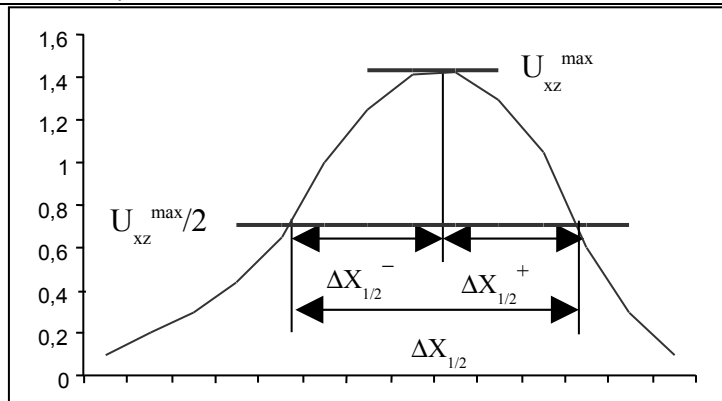


Фигура 1. Двумерен модел на наклонен праг с обозначение на основните параметри

Поради твърде сложния израз няма аналитични методи за решаване на обратната гравиметрична задача. Това насочи вниманието към детайлен статистически анализ на разноразмерните решения както за гравитационното поле, така и за хоризонталния  $U_{xz}$  и вертикалния  $U_{zz}$  градиенти на полето. Тези изследвания са ориентирани към получаване на геометричните параметри на праговата структура при изключване влиянието на разпределението на плътностите. Анализът на голям обем статистически данни показва, че най-целесъобразно е използването на характеристиката на разпределението на хоризонталния градиент  $U_{xz}$ , като се прилагат две нива - базово ниво и аналитично продължение на ниво  $H$ .

### ОСНОВНИ РЕЗУЛТАТИ ОТ СТАТИСТИЧЕСКИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Въз основа на голям обем статистически изследвания са избрани представителни характеристики, които могат сравнително еднозначно да се определят по данните от анализа на измереното гравитационно поле. Това са максималните стойности на градиента за базовото ниво -  $U_{xz}^{max}_0$  и за аналитичното продължение на ниво  $H$  -  $U_{xz}^{max}_H$ , както и разликата  $\Delta U_{xz}^{max}$  между тези стойности; ширината на аномалията  $\Delta X_{1/2}$  за стойност  $U_{xz}^{max}/2$  и ширините за двете клонки на разпределението на хоризонталния градиент -  $\Delta X_{1/2}^-$  и  $\Delta X_{1/2}^+$  (фиг.2).



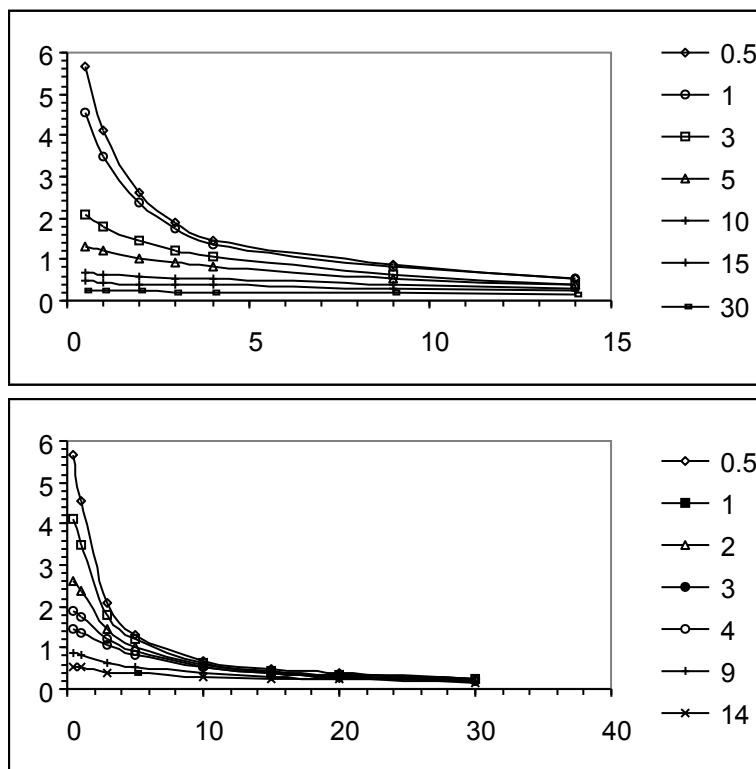
Фигура 2. Обозначение на параметрите, използвани при количествената интерпретация на разпределението на хоризонталния градиент на гравитационното поле

Изследвана е връзката на тези характеристики с основните параметри на наклонен праг - дълбочината  $h_1$  до праговата структура спрямо базовото ниво, дебелината на прага  $\Delta h$  ( $\Delta h = h_2 - h_1$ ) и ъгъла на наклона  $\alpha$  (фиг.1). Всички параметри с дименсия дължина се представят в използвания мащаб (метри или километри).

Методически и практически интерес представлява анализирането на някои от получените основни

статистически зависимости, като за всички е използвано аналитично продължение на ниво  $N=1$  спрямо базовото.

На фиг. 3 се представя отношението  $U_{xz}^{max,b}/U_{z,b}$  като функция съответно от дълбочината  $h_1$  (а) и от дебелината  $\Delta h$  (б) на праговата структура. Илюстрираните зависимости показват, че отношението  $U_{xz}^{max,b}/U_{z,b}$  сравнително добре диференцира дълбочината  $h_1$  до около 4 за прагови структури с дебелина  $\Delta h$  до около 5.

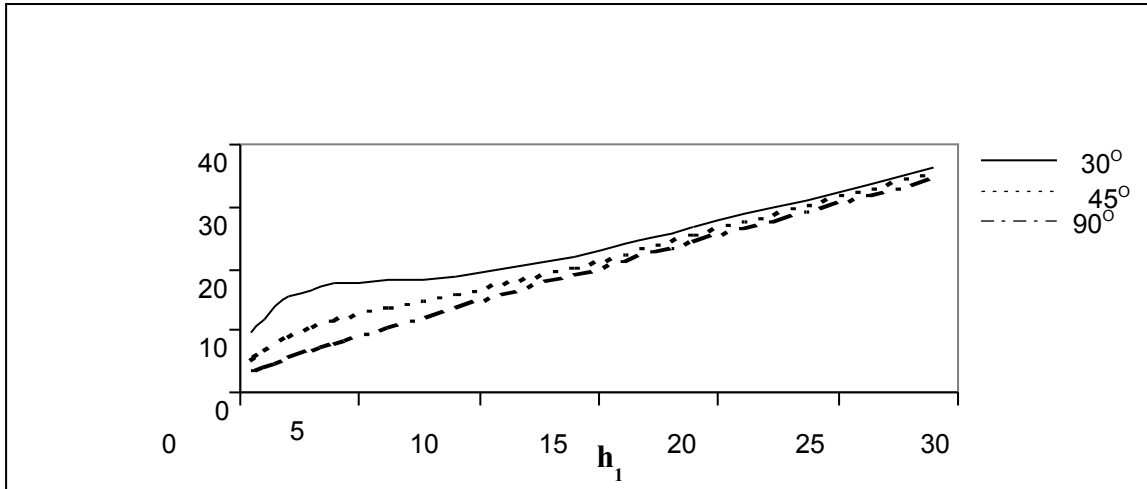


Фигура 3. а. Отношението  $U_{xz}^{max,b}/U_{z,b}$  като функция от дълбочината  $h_1$  на праговата структура за различни дебелини  $\Delta h$  на праговата структура

б. Отношението  $U_{xz}^{max,b}/U_{z,b}$  като функция от дебелината  $\Delta h$  на праговата структура за различни дълбочини  $h_1$  до праговата структура

Отношението на максималната стойност на градиента  $U_{xz}^{max,b}$  за базовото ниво към разликата  $\Delta U_{xz}^{max}$  между максималните стойности на градиентите за базовото ниво ( $U_{xz}^{max,b}$ ) и за ниво  $N=1$  ( $U_{xz}^{max,H=1}$ ) като функция от дълбочината  $h_1$  до праговата структура за различни ъгли на наклона  $\alpha$  и дебелина  $\Delta h=10$  е представено на фиг.4.

Обобщеният анализ на илюстрираната зависимост и аналогичните зависимости при изменение на дебелината  $\Delta h$  в границите на 0,1-50 показва, че за  $h_1 > 15$  ъгълът на наклона влияе пренебрежимо малко и комплексният параметър  $\Delta U_{xz}^{max}/U_{xz}^{max,b}$  за  $\Delta h = \text{const}$  е линейно свързан с дълбочината  $h_1$  до праговата структура.

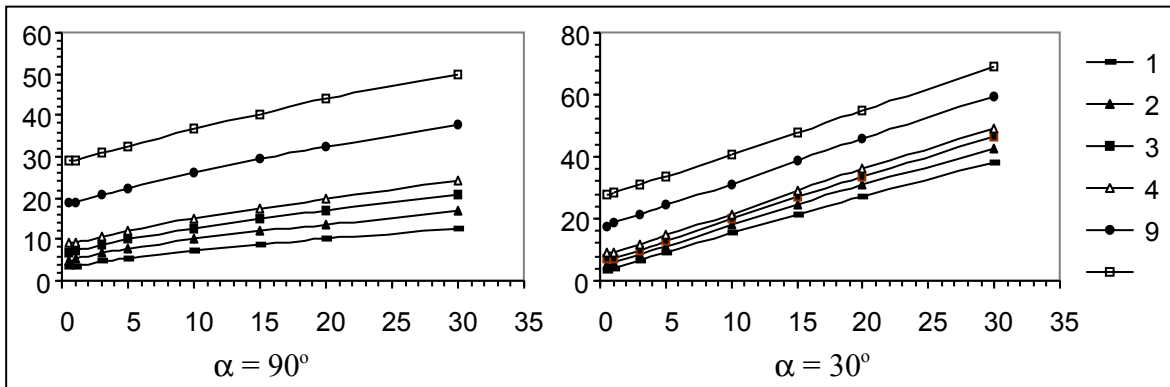


При  $h_1 < 15$  зависимостта не е еднозначна, което се проявява особено за  $\alpha < 30^\circ$  (съответно  $\alpha > 150^\circ$ ). Така например, при дълбочина  $h_1 = 10$ , стойностите на отношението  $U_{max} / U_{xz}^{max/2}$  са съответно 60%, 45% и 30% за ъгли  $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$  и  $90^\circ$ . За дълбочина  $h_1 = 20$  тези стойности намаляват съответно до 2%, 4% и 8%.

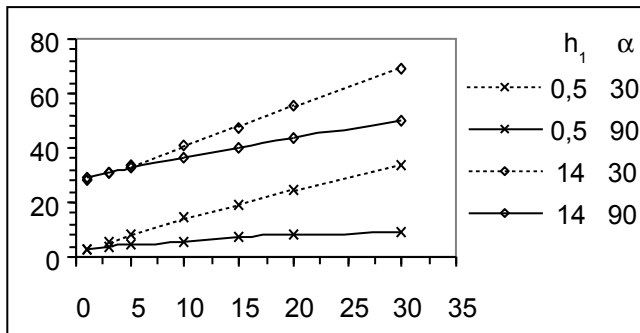
Анализът на илюстрираните графици, както и на подобни, построени за други ъгли, показва, че при  $h_1 = \text{const}$  и  $\alpha = \text{const}$  ширината на аномалията  $\Delta X_{1/2}$  за стойност  $U_{xz}^{max/2}$  е свързана с ъгъла на наклона  $\alpha$  и дебелината  $\Delta h$  на праговата структура.

На фиг.5 е представена ширината  $\Delta X_{1/2}$  на разпределението на градиента за стойност  $U_{xz}^{max/2}$  като функция от дебелината  $\Delta h$  за различни дълбочини  $h_1$  до праговата структура и ъгли на наклона съответно  $\alpha = 90^\circ$  и

Зависимостта се детайлизира на фиг.6, където е показано непосредствено съпоставяне за двата ъгъла и за две дълбочини до праговата структура – 0,5 и 14. При малка стойност на  $\Delta h$  ъгълът не влияе, а с увеличаване на дебелината на прага влиянието нараства линейно.



Фигура 5. Ширината  $\Delta X_{1/2}$  на разпределението на градиента за стойност  $U_{xz}^{max/2}$  като функция от дебелината  $\Delta h$  за различни дълбочини  $h_1$  до праговата структура и ъгли на наклона  $\alpha = 90^\circ$  и  $\alpha = 30^\circ$

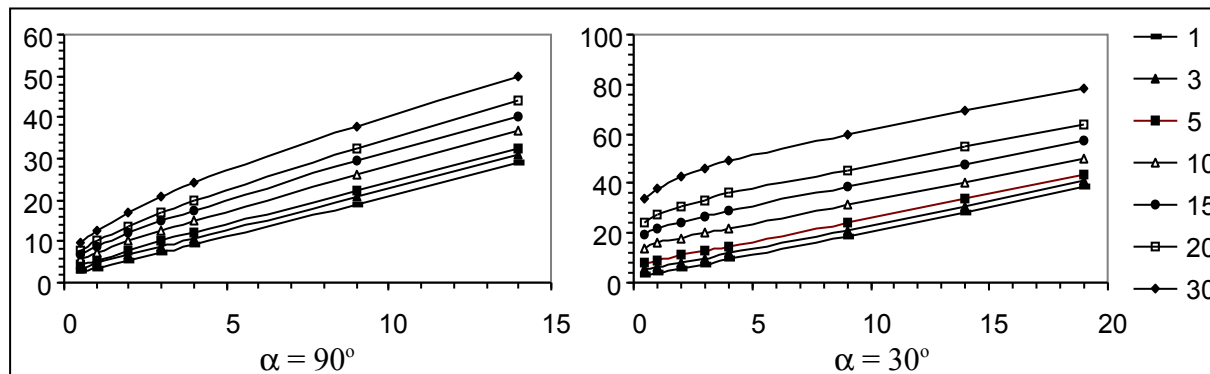


Фигура 6. Ширината  $\Delta X_{1/2}$  за стойност  $U_{xz}^{max/2}$  като функция от дебелината  $\Delta h$  на праговата структура за дълбочини съответно  $h_1 = 0,5$  и  $h_1 = 14$  и ъгли на наклона  $\alpha = 90^\circ$  и  $\alpha = 30^\circ$

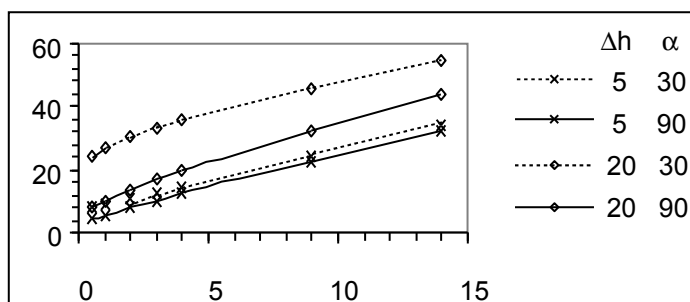
На фиг.7 е представена ширината  $\Delta X_{1/2}$  на разпределението на градиента за стойност  $U_{xz}^{max}/2$  като функция от дълбочината  $h_1$  за различни дебелини  $\Delta h$  на праговата структура и ъгли на наклона съответно  $\alpha=90^\circ$  и  $\alpha=30^\circ$ . От графиките следва, че връзката е експоненциална, като за дълбочини по-големи от около 5 тя вече е линейна.

На фиг.8 се представя детайлизиране на зависимостта между дълбочината  $h_1$  до праговата структура и ширината

$\Delta X_{1/2}$  на разпределението на градиента за стойност  $U_{xz}^{max}/2$ , като се съпоставят графиките за двата ъгла и за две дебелини  $\Delta h$  на праговата структура – 5 и 30. На тази фигура по-отчетливо се отразява влиянието на ъгъла и дебелината. До  $\Delta h$  около 5 влияние на ъгъла практически отсъства. При увеличаване на дебелината ширината  $\Delta X_{1/2}$  на аномалията за ъгъл  $30^\circ$  нараства спрямо ширината за ъгъл  $90^\circ$ , като с увеличаване на дълбочината до праговата структура тази тенденция намалява.



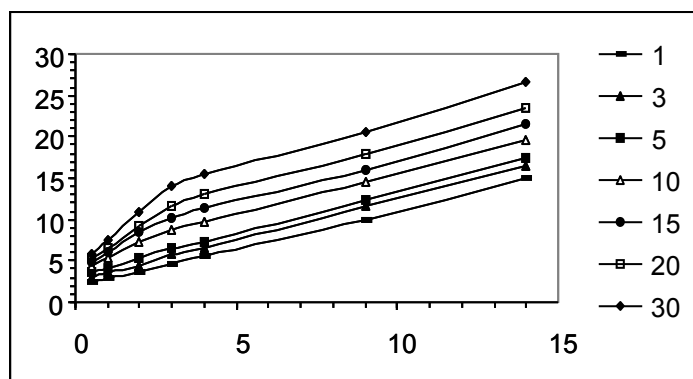
Фигура 7. Ширината  $\Delta X_{1/2}$  на разпределението на градиента за стойност  $U_{xz}^{max}/2$  като функция от дълбочината  $h_1$  за различни дебелини  $\Delta h$  на праговата структура и ъгли на наклона  $\alpha = 90^\circ$  и  $\alpha = 30^\circ$



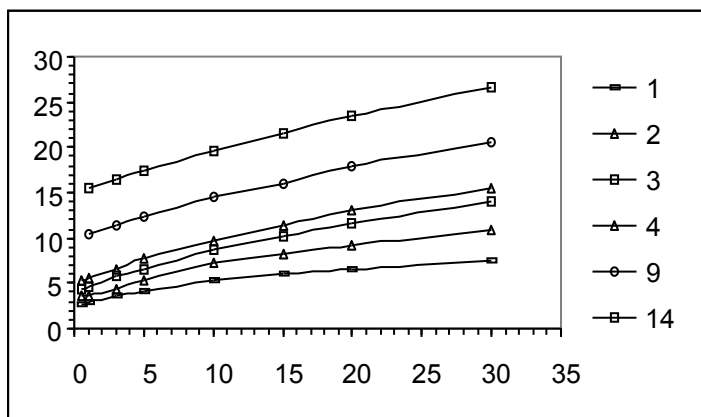
Фигура 8. Ширината  $\Delta X_{1/2}$  за стойност  $U_{xz}^{max}/2$  като функция от дълбочината  $h_1$  до праговата структура за дебелини съответно  $\Delta h = 5$  и  $\Delta h = 20$  и ъгли на наклона  $\alpha = 90^\circ$  и  $\alpha = 30^\circ$

На фиг.9 се илюстрира отношението на максималната стойност на градиента  $U_{xz}^{max,b}$  за базовото ниво към разликата  $\Delta U_{xz}^{max}$  между максималните стойности на градиентите за базовото ниво ( $U_{xz}^{max,b}$ ) и ниво  $H=1$  ( $U_{xz}^{max,H=1}$ ) като функция от дълбочината  $h_1$  до праговата структура за различни дебелини  $\Delta h$ , при праг с ъгъл на наклона  $\alpha=60^\circ$ . Връзката е експоненциална, като за дълбочини по-големи от около 5 тя е почти линейна.

На фиг.10 се представя отношението на максималната стойност на градиента  $U_{xz}^{max,b}$  за базовото ниво към разликата  $\Delta U_{xz}^{max}$  между максималните стойности на градиентите за базовото ниво ( $U_{xz}^{max,b}$ ) и ниво  $H=1$  ( $U_{xz}^{max,H=1}$ ) като функция от дебелината  $\Delta h$  на праговата структура за различни дълбочини  $h_1$ , при праг с ъгъл на наклона  $\alpha=60^\circ$ . И тази връзка е експоненциална.



Фигура 9. Отношението на максималната стойност на градиента  $U_{xz}^{max,b}$  за базовото ниво към разликата  $\Delta U_{xz}^{max}$  между максималните стойности на градиентите за базовото ниво ( $U_{xz}^{max,b}$ ) и ниво  $H=1$  ( $U_{xz}^{max,H=1}$ ) като функция от дълбочината  $h_1$  до праговата структура за различни дебелини  $\Delta h$ , при праг с ъгъл на наклона  $\alpha = 60^\circ$ .

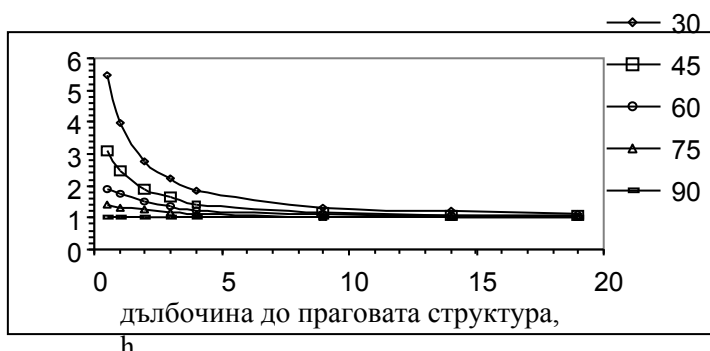


Фигура 10. Отношението на максималната стойност на градиента  $U_{xz, b}^{max}$  за базовото ниво към разликата  $\Delta U_{xz}^{max}$  между максималните стойности на градиентите за базовото ниво ( $U_{xz, b}^{max}$ ) и ниво  $H=1$  ( $U_{xz, H=1}^{max}$ ) като функция от дебелината  $\Delta h$  на праговата структура за различни дълбочини  $h_1$ , при праг с ъгъл на наклона  $\alpha = 60^\circ$

На фиг.11 се илюстрира отношението  $\Delta X_{1/2}^- / \Delta X_{1/2}^+$  като функция от дълбочината  $h_1$  до праговата структура за различни ъгли на наклона  $\alpha$ , при прагова структура с

дебелина  $\Delta h=10$ . За стойности на  $h_1$  по-големи от 7 отношението клони към 1, а в посока на малките дълбочини бързо нараства експоненциално, като за ъгъл  $\alpha=30^\circ$  и дълбочина  $h_1=0,5$  то е около 6.

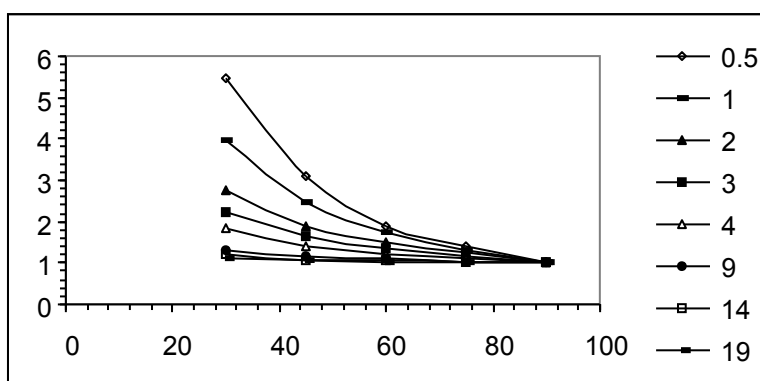
$$\frac{\Delta X_{1/2}^-}{\Delta X_{1/2}^+}$$



Фигура 11. Отношението  $\Delta X_{1/2}^- / \Delta X_{1/2}^+$  като функция от дълбочината  $h_1$  до праговата структура за различни ъгли на наклона  $\alpha$  при прагова структура с дебелина  $\Delta h = 10$

На фиг.12 се представя отношението  $\Delta X_{1/2}^- / \Delta X_{1/2}^+$  като функция от ъгъла на наклона  $\alpha$  за различни дълбочини  $h_1$

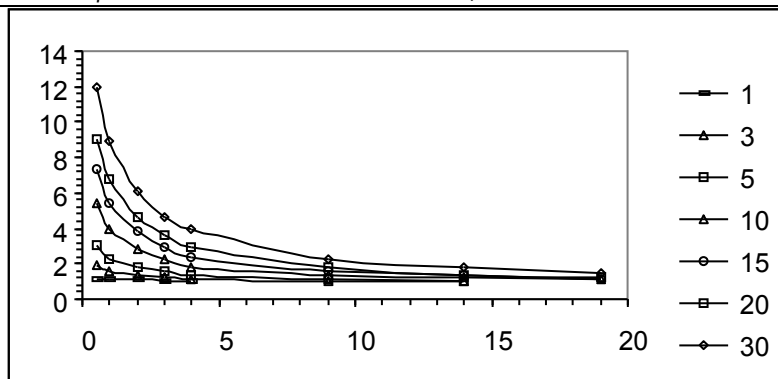
до праговата структура, при праг с дебелина  $\Delta h=10$ . Зависимостите показват, че ъгълът формира изразена асиметрия при стойности на  $h_1 < 7$ .



Фигура 12. Отношението  $\Delta X_{1/2}^- / \Delta X_{1/2}^+$  като функция от ъгъла на наклона  $\alpha$  за различни дълбочини  $h_1$  до праговата структура, при праг с дебелина  $\Delta h = 10$

Допълнителна детайлизация се представя на фиг.13, където се илюстрира отношението  $\Delta X_{1/2}^- / \Delta X_{1/2}^+$  като функция от дълбочината  $h_1$  за различни дебелини  $\Delta h$  на

праговата структура, при праг с ъгъл на наклона  $\alpha=30^\circ$ . Отражено е бързото нарастване на асиметрията при увеличаване на дебелината и намаляване на дълбочината на праговата структура.



Фигура 13. Отношението  $\Delta X_{1/2}^- / \Delta X_{1/2}^+$  като функция от дълбочината  $h_1$  за различни дебелини  $\Delta h$  на праговата структура, при праг с ъгъл на наклона  $\alpha = 30^\circ$

### ИЗВОДИ

Въз основа на аналитични изчисления на хоризонталния градиент на разпределение на гравитационното поле за разновариантни модели на наклонен праг са извършени статистически изследвания, които позволяват да се предложи методика за определяне параметрите на праговата структура. Тази методика включва три последователни етапа:

- За определяне на дълбочината  $h_1$  до праговата структура се използва множествена регресия с

независими променливи отношението  $\frac{U_{xz,b}^{\max}}{\Delta U_{xz}^{\max}}$  на

максималната стойност на градиента  $U_{xz,b}^{\max}$  за базовото ниво към разликата  $\Delta U_{xz}^{\max}$  между максималните стойности на градиентите за базовото ниво ( $U_{xz,b}^{\max}$ ) и ниво  $H=1$  ( $U_{xz,H=1}^{\max}$ ), ширината  $\Delta X_{1/2}$  на разпределението на градиента за стойност  $\frac{U_{xz}^{\max}}{2}$  и натуралният логаритъм от

отношението  $\frac{\Delta X_{1/2}^-}{\Delta X_{1/2}^+}$  между ширините за двете клонки на

разпределението на хоризонталния градиент:

$$h_1 = f \left( \frac{U_{xz,b}^{\max}}{\Delta U_{xz}^{\max}}, \Delta X_{1/2}, \ln \frac{\Delta X_{1/2}^-}{\Delta X_{1/2}^+} \right)$$

Препоръчана за публикуване от катедра "Приложна геофизика", ГПФ

Коефициентът на множествена корелация е много висок. При ограничаване на диапазона на изменение на данните

за  $\frac{U_{xz,b}^{\max}}{\Delta U_{xz}^{\max}}$ ,  $\Delta X_{1/2}$  и  $\frac{\Delta X_{1/2}^-}{\Delta X_{1/2}^+}$  този коефициент е над 0,99.

Установената тясна връзка позволява с много висока степен на достоверност да се определи дълбочината  $h_1$  до праговата структура.

- След намиране на дълбочината  $h_1$  до праговата структура се определя дебелината  $\Delta h$  на прага. За целта се използва множествената регресия:

$$\Delta h = f \left( h_1, \frac{U_{xz,b}^{\max}}{\Delta U_{xz}^{\max}}, \Delta X_{1/2}, \ln \frac{\Delta X_{1/2}^-}{\Delta X_{1/2}^+} \right).$$

- При известни стойности за  $h_1$  и  $\Delta h$  се определя ъгълът на наклона  $\alpha$ . За целта в зависимост от известните и получени данни се определя диапазона за съставяне на регресия:

$$\alpha = f \left( h_1, \Delta h, \frac{U_{xz,b}^{\max}}{\Delta U_{xz}^{\max}}, \Delta X_{1/2}, \ln \frac{\Delta X_{1/2}^-}{\Delta X_{1/2}^+} \right).$$

### ЛИТЕРАТУРА

Справочник геофизика, Гравиразведка. 1990. М., Недра.  
Telford, W., L. Geldart, R. Sheriff, D. Keys. 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge, Cambridge University Press.

# QUANTITATIVE INTERPRETATION OF THE HORIZONTAL GRAVITY GRADIENT FOR SEMI-INFINITE HORIZONTAL SLAB STRUCTURES ACCORDING TO DATA FROM STATISTICAL ANALYSIS

Radi Raditchev, Stefan Dimovski

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700, Bulgaria

E-mail: radirad@mgu.bg; dimovski@mgu.bg

## ABSTRACT

The applied method for quantitative interpretation of the gravitational field caused by semi-infinite horizontal slab structures is based on the horizontal gradient  $U_{xz}$  distribution on different levels.

Representative characteristics are chosen, that can be obtained without ambiguity from the data after analysis of the measured gravitational field – the maximum value of the horizontal gradient  $U_{xz}^{max}$ , the anomaly width  $\Delta X_{1/2}$  for gradient value  $U_{xz}^{max}/2$  and the widths of the two branches of the horizontal gradient distribution -  $\Delta X_{1/2}^-$  and  $\Delta X_{1/2}^+$ .

Subject of the study is the relationship between these characteristics and the main parameters of a semi-infinite edged horizontal slab – the depth  $h_1$  to the slab structure, the thickness of the slab  $\Delta h$  ( $\Delta h = h_2 - h_1$ ) and the angle of the edge  $\alpha$ . On the base of statistical studies for a wide range of different model parameters are obtained correlation ties suitable for the aims of the quantitative interpretation.

## INTRODUCTION

The semi-infinite edged horizontal slab is one of the most common cases of contact between rocks having different density (W. Telford *et al.*, 1990; Gravity surveying, 1990). In this geometrical model the anomaly forming mass is confined by two horizontal and one dipping planes. In fig.1 is illustrated the traditional 2-D model of a semi-infinite edged horizontal slab, as well as the notation of its basic parameters. The gravitational effect  $U_z$  of the edged slab is presented by the following analytical expression:

$$U_z = 2G\Delta\rho \left[ h \left( \frac{\pi}{2} + \arctg \frac{h \cdot \text{ctg}\alpha + x}{h} \right) + x \cdot \sin\alpha \left\{ \frac{1}{2} \sin\alpha \cdot \ln \frac{1}{\sin^2\alpha} [(h + x \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha)^2 + x^2 \cdot \sin^4\alpha] - \cos\alpha \cdot \arctg \frac{h + x \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha}{x \cdot \sin^2\alpha} \right\} \right] \Big|_{h_1}^{h_2}$$

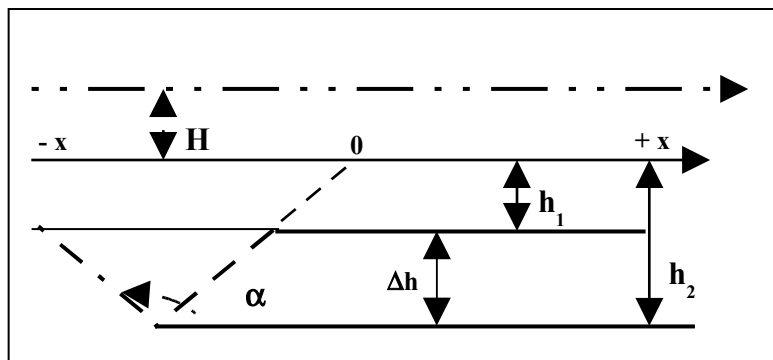


Figure 1. A 2-D model of a semi-infinite edged horizontal slab and notation of its basic parameters

Due to the quite complex expression there are no analytical methods for solving the reverse gravity problem. For that reason a detailed statistical analysis was performed over a wide range of different models solutions not only for the gravitational field, but also for its horizontal  $U_{xz}$  and vertical  $U_{zz}$  gradients. The aim of the studies is to obtain results for the geometrical parameters of the slab structure after excluding the influence of the density distribution. The analysis of a big volume of statistical data shows that it is most suitable to apply the distribution characteristics of the horizontal gradient  $U_{xz}$  on two levels – basic one and upward continuation on height H.

## MAIN RESULTS FROM THE STATISTICAL STUDIES

After many statistical studies are selected representative characteristics that can be obtained without ambiguity from the data after analysis of the measured gravitational field – the maximum values of the horizontal gradient on the basic level  $U_{xz}^{max,b}$  and on the upward continuation on level H -  $U_{xz}^{max,H}$ , as well as the difference  $\Delta U_{xz}^{max}$  between these values; the anomaly width  $\Delta X_{1/2}$  for gradient value  $U_{xz}^{max}/2$  and the widths of the two branches of the horizontal gradient distribution -  $\Delta X_{1/2}^-$  and  $\Delta X_{1/2}^+$  (fig.2).

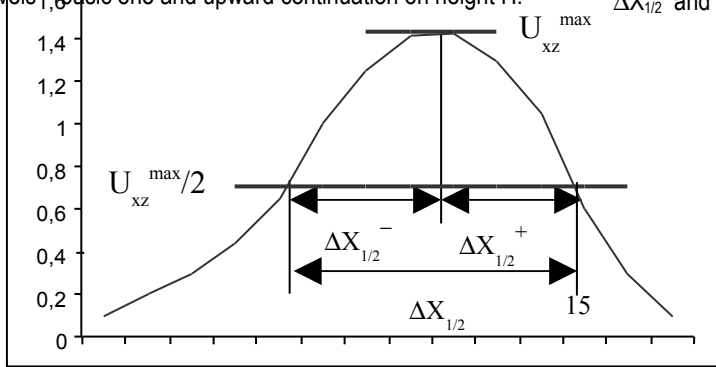


Figure 2. Notation of the parameters utilized in the quantitative interpretation of the horizontal gravity gradient for semi-infinite horizontal slab structures

Subject of the study is the relationship between these characteristics and the main parameters of a semi-infinite edged horizontal slab – the depth  $h_1$  to the slab structure, the thickness of the slab  $\Delta h$  ( $\Delta h=h_2-h_1$ ) and the angle of the edge  $\alpha$  (fig.1). All parameters having dimension length are presented in the utilized scale (metres or kilometres).

The analysis of some of the obtained main statistical relations is of definite methodical and practical interest. In all

presented cases is applied upward continuation on level  $H=1$  toward the basic level.

In fig.3 is presented the ratio  $U_{xz}^{max,b}/U_{z,b}$  as function of the depth  $h_1$  towards the slab structure (a) and as function of the slab thickness  $\Delta h$  (b) respectively. The illustrated relations are showing that the ratio  $U_{xz}^{max,b}/U_{z,b}$  differentiates reasonably well the depth  $h_1$  down to about 4 for slab structures having thickness  $\Delta h$  up to about 5.

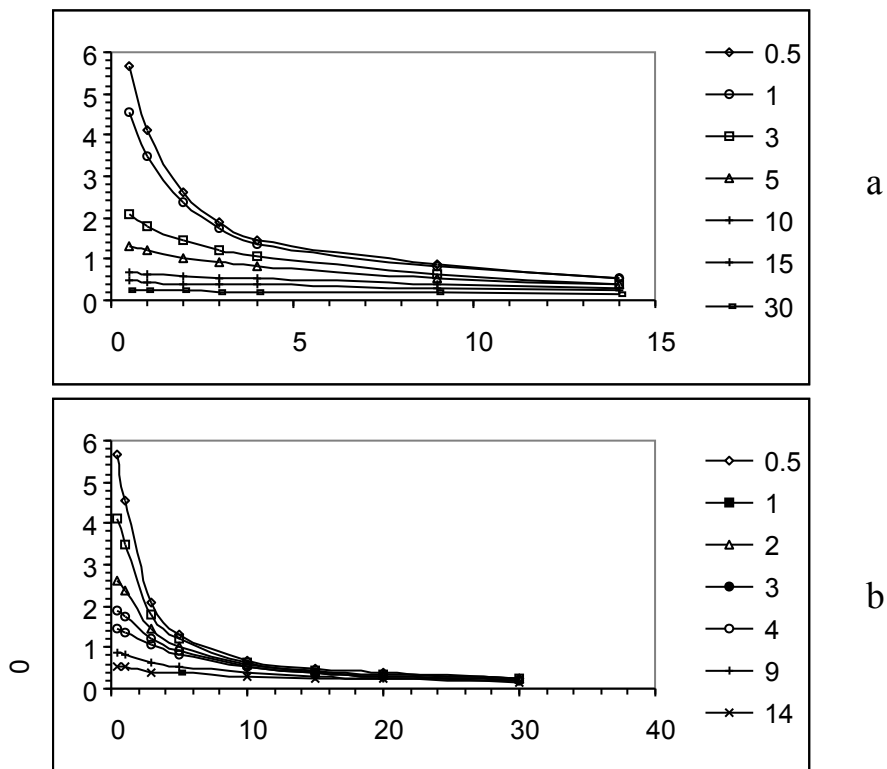


Figure 3. a. The ratio  $U_{xz}^{max,b}/U_{z,b}$  as function of the depth  $h_1$  towards the slab structure for various slab thicknesses  $\Delta h$

In fig.4 is presented the ratio of the maximum gradient value  $U_{xz}^{max,b}$  on the basic level towards the difference  $\Delta U_{xz}^{max}$  between the maximum gradient values on the basic level ( $U_{xz}^{max,b}$ ) and on level  $H=1$  ( $U_{xz}^{max,H=1}$ ) as function of the depth  $h_1$  towards the slab structure for various angles of the edge  $\alpha$  and slab thickness  $\Delta h=10$ .

The compound analysis of the illustrated dependence as well as the similar relations for slab thicknesses  $\Delta h$  in the range 0,1-50 is showing that for depths  $h_1 > 15$  the angle of the edge has practically no influence and that the complex parameter  $\Delta U_{xz}^{max}/U_{xz}^{max,b}$  for  $\Delta h = \text{const}$  is connected linearly to the depth  $h_1$  towards the slab structure.

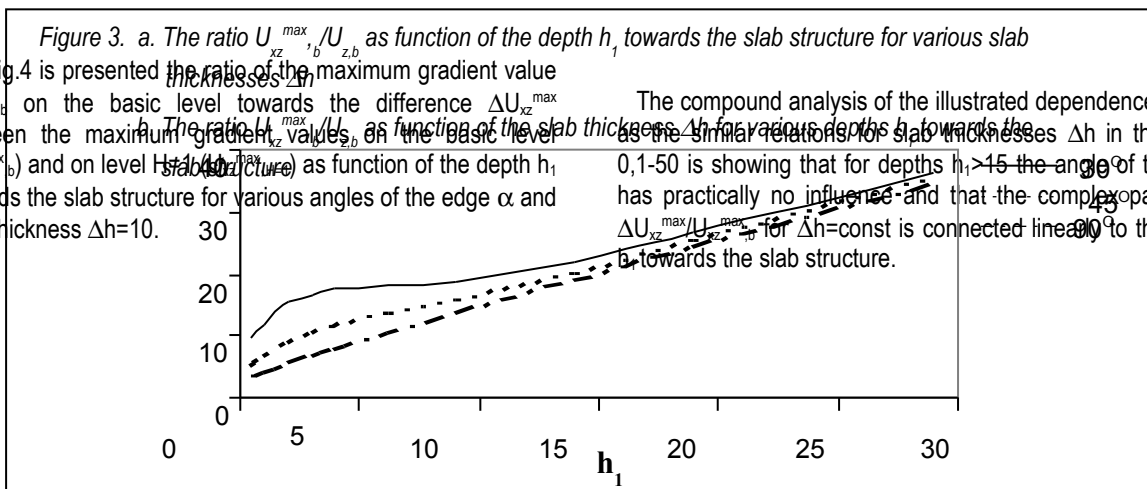


Figure 4. The ratio of the maximum gradient value  $U_{xz}^{max,b}$  on the basic level towards the difference  $\Delta U_{xz}^{max}$  between the maximum gradient values on the basic level ( $U_{xz}^{max,b}$ ) and on level  $H=1$  ( $U_{xz}^{max,H=1}$ ) as function of the depth  $h_1$  towards the slab structure for various angles of the edge  $\alpha$  and slab thickness  $\Delta h = 10$



When  $h_1 < 15$  the relationship is showing ambiguity. This is revealed clearly for  $\alpha < 30^\circ$  ( $\alpha > 150^\circ$  respectively). For example, for depth  $h_1 = 10$  the values of the ratio  $\Delta U_{xz}^{max}/U_{xz}^{max,b}$  for angles  $60^\circ$ ,  $45^\circ$  and  $30^\circ$  are 4%, 13% and 23% respectively if compared towards the value for  $90^\circ$ . For depth  $h_1 = 20$  these values decrease to 2%, 4% and 8% respectively.

In fig.5 is presented the anomaly width  $\Delta X_{1/2}$  for gradient value  $U_{xz}^{max}/2$  as function of the slab thickness  $\Delta h$  for various depths  $h_1$  towards the slab structure and angles of the edge  $\alpha = 90^\circ$  and  $\alpha = 30^\circ$  respectively. The analysis of the illustrated

dependence as well as the similar relations for other angles of the edge is showing that for  $h_1 = \text{const}$  and  $\alpha = \text{const}$  the anomaly width  $\Delta X_{1/2}$  for gradient value  $U_{xz}^{max}/2$  is connected almost linearly to the thickness  $\Delta h$  of the slab structure.

This dependence is detailed in fig.6. There is illustrated the relationship for two angles of the edge and two depths towards the slab structure – 0,5 and 14 respectively. For small values of  $\Delta h$  the angle of the edge has no influence and with the increase of the slab thickness the angle influence is increasing linearly.

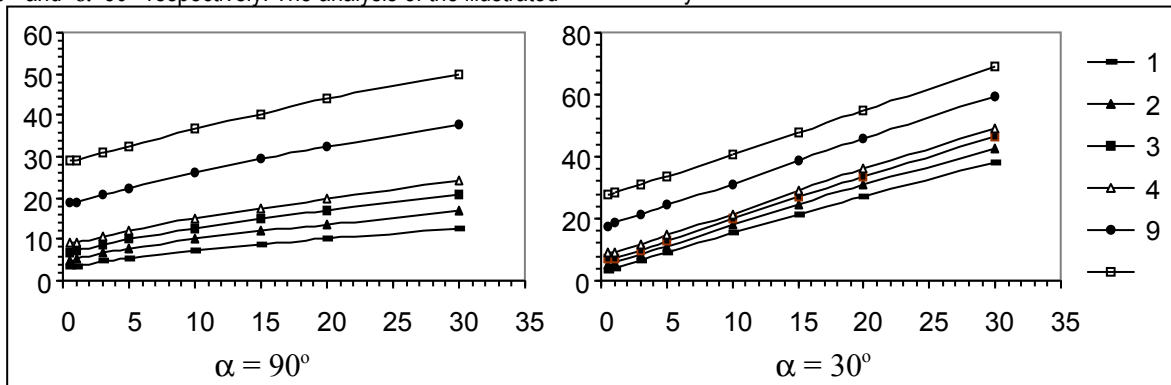


Figure 5. The anomaly width  $\Delta X_{1/2}$  for gradient value  $U_{xz}^{max}/2$  as function of the slab thickness  $\Delta h$  for various depths  $h_1$  towards the slab structure and angles of the edge  $\alpha = 90^\circ$  and  $\alpha = 30^\circ$  respectively

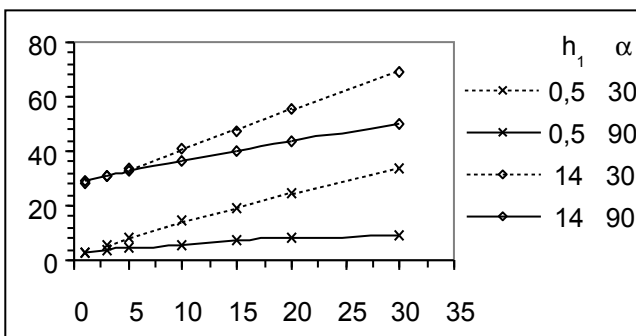


Figure 6. The anomaly width  $\Delta X_{1/2}$  for gradient value  $U_{xz}^{max}/2$  as function of the slab thickness  $\Delta h$  for depths towards the slab structure  $h_1 = 0,5$  and  $h_1 = 14$ , and angles of the edge  $\alpha = 90^\circ$  and  $\alpha = 30^\circ$  respectively

In fig.7 is presented the anomaly width  $\Delta X_{1/2}$  for gradient value  $U_{xz}^{max}/2$  as function of the depth  $h_1$  towards the slab structure for various slab thicknesses  $\Delta h$  and angles of the edge  $\alpha = 90^\circ$  and  $\alpha = 30^\circ$  respectively. The dependence is showing that the connection is exponential and for depths greater than 5 the tie becomes linear.

The function between the depth  $h_1$  towards the slab structure and the anomaly width  $\Delta X_{1/2}$  for gradient value  $U_{xz}^{max}/2$  is detailed in fig.8. There is illustrated the relationship for two angles of the edge –  $30^\circ$  and  $90^\circ$ , and two thicknesses of the slab structure – 5 and 30 respectively. On this figure the influence of the angle of the edge and the slab thickness is becoming clearer. For values of  $\Delta h$  smaller than 5 the angle of the edge has no influence. With the increase of the slab

thickness the anomaly width  $\Delta X_{1/2}$  for angle  $30^\circ$  increases compared to the width for angle  $90^\circ$ . This tendency is

decreasing with the increase of the depth towards the slab structure.

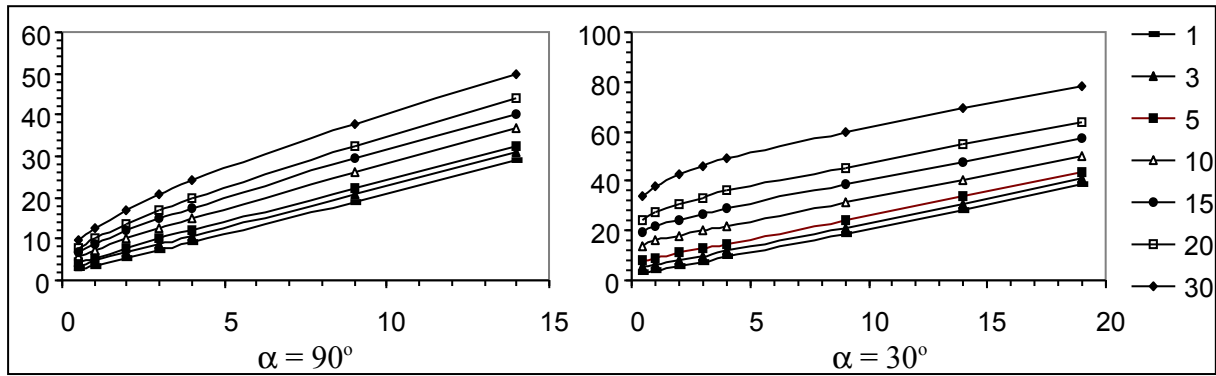


Figure 7. The anomaly width  $\Delta X_{1/2}$  for gradient value  $U_{xz}^{max}/2$  as function of the depth  $h_1$  towards the slab structure for various slab thicknesses  $\Delta h$  and angles of the edge  $\alpha = 90^\circ$  and  $\alpha = 30^\circ$  respectively

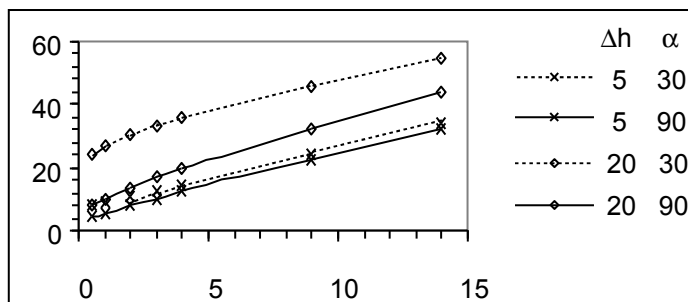


Figure 8. The anomaly width  $\Delta X_{1/2}$  for gradient value  $U_{xz}^{max}/2$  as function of the depth  $h_1$  towards the slab structure for slab thicknesses  $\Delta h = 5$  and  $\Delta h = 20$ , and angles of the edge  $\alpha = 90^\circ$  and  $\alpha = 30^\circ$  respectively

In fig.9 is presented the ratio of the maximum gradient value  $U_{xz}^{max},b$  on the basic level towards the difference  $\Delta U_{xz}^{max}$  between the maximum gradient values on the basic level ( $U_{xz}^{max},b$ ) and on level  $H=1$  ( $U_{xz}^{max},H=1$ ) as function of the depth  $h_1$  towards the slab structure for various slab thicknesses  $\Delta h$  and angle of the edge  $\alpha=60^\circ$ . The dependence is showing that the connection is exponential and for depths greater than 5 the tie becomes linear.

In fig.10 is illustrated the ratio of the maximum gradient value  $U_{xz}^{max},b$  on the basic level towards the difference  $\Delta U_{xz}^{max}$  between the maximum gradient values on the basic level ( $U_{xz}^{max},b$ ) and on level  $H=1$  ( $U_{xz}^{max},H=1$ ) as function of the slab thickness  $\Delta h$  for various depths  $h_1$  towards the slab structure and angle of the edge  $\alpha=60^\circ$ . The dependence is showing that the connection is exponential as the above-mentioned one.

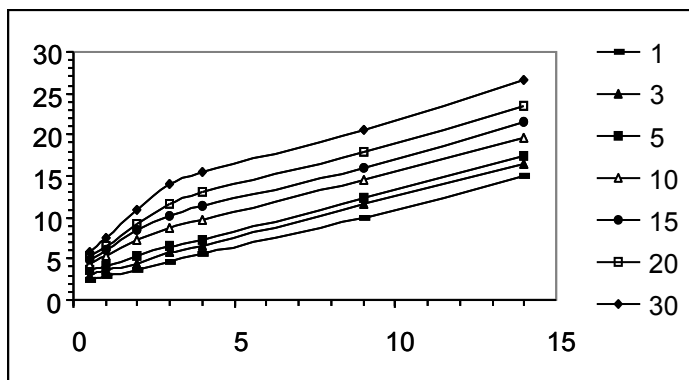


Figure 9. The ratio of the maximum gradient value  $U_{xz}^{max},b$  on the basic level towards the difference  $\Delta U_{xz}^{max}$  between the maximum gradient values on the basic level ( $U_{xz}^{max},b$ ) and on level  $H=1$  ( $U_{xz}^{max},H=1$ ) as function of the depth  $h_1$  towards the slab structure for various thicknesses  $\Delta h$  of the slab and angle of the edge  $\alpha = 60^\circ$

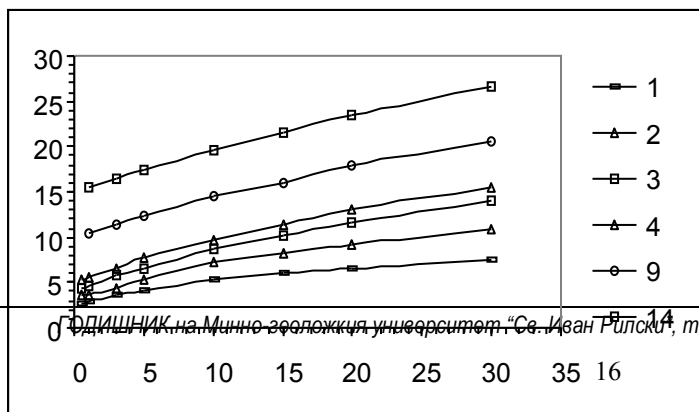


Figure 10. The ratio of the maximum gradient value  $U_{xz}^{max},b$  on the basic level towards the difference  $\Delta U_{xz}^{max}$  between the maximum gradient values on the basic level ( $U_{xz}^{max},b$ ) and on level  $H=1$  ( $U_{xz}^{max},H=1$ ) as function of the slab thickness  $\Delta h$  for various depths  $h_1$  towards the slab structure and angle of the edge  $\alpha = 60^\circ$

In fig.11 is illustrated the ratio  $\Delta X_{1/2}^- / \Delta X_{1/2}^+$  as function of the depth  $h_1$  towards the slab structure for various angles of the edge  $\alpha$  and slab thickness  $\Delta h=10$ . For values of the depth

greater than 7 the ratio inclines towards 1. For smaller depths the ratio is increasing with the decrease in the depth towards the slab structure and for angle  $\alpha=30^\circ$  and  $h_1=0,5$  it has a value of about 6.

$$\frac{\Delta X_{1/2}^-}{\Delta X_{1/2}^+}$$

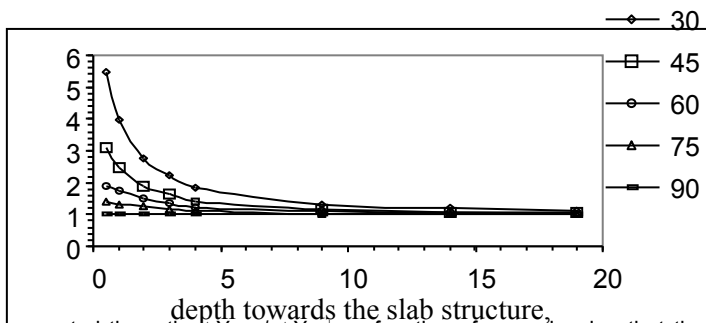


Figure 11. The proportion  $\Delta X_{1/2}^- / \Delta X_{1/2}^+$  as function of the depth  $h_1$  towards the slab structure for various angles of the edge  $\alpha$  and slab thickness  $\Delta h = 10$

In fig.12 is presented the ratio  $\Delta X_{1/2}^- / \Delta X_{1/2}^+$  as function of the angle of the edge  $\alpha$  for various depths  $h_1$  towards the slab structure and slab thickness  $\Delta h=10$ . The illustrated relation is

showing that the angles of the edge  $\alpha < 75^\circ$  ( $\alpha > 105^\circ$ ) are forming a well-pronounced asymmetry in the case of relatively small values for the depth ( $h_1 < 7$ ).

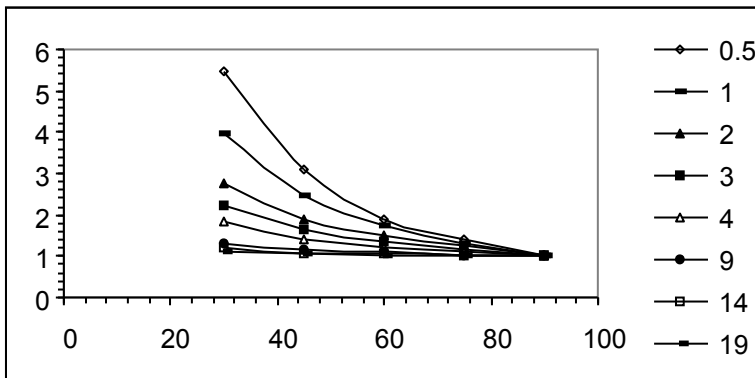


Figure 12. The proportion  $\Delta X_{1/2}^- / \Delta X_{1/2}^+$  as function of the angle of the edge  $\alpha$  for various depths  $h_1$  towards the slab structure and slab thickness  $\Delta h = 10$

Some more detailed information is presented in fig.13. It illustrates the ratio  $\Delta X_{1/2}^- / \Delta X_{1/2}^+$  as function of the depth  $h_1$  towards the slab structure for various slab thicknesses  $\Delta h$  and

angle of the edge  $\alpha=30^\circ$ . This dependence reveals the quick increase of the asymmetry related to the increase of the slab thickness and the decrease of the depth towards the slab structure.

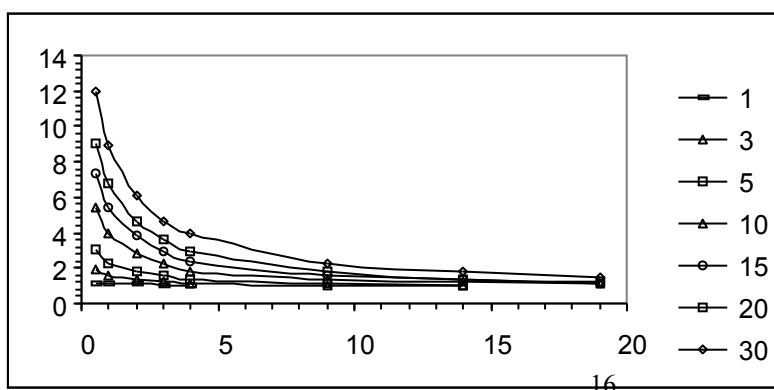


Figure 13. The proportion  $\Delta X_{1/2}^- / \Delta X_{1/2}^+$  as function of the depth  $h_1$  towards the slab structure for various slab thicknesses  $\Delta h$  and angle of the edge  $\alpha = 30^\circ$

## CONCLUSIONS

On the base of analytical calculations of the gravitational field horizontal gradient  $U_{xz}$  for multiple models of semi-infinite edged horizontal slab are performed statistical studies that make possible the proposal of a method for estimating the slab structure parameters. This method includes three successive stages:

- For estimating the depth  $h_1$  towards the slab structure is used a multiple regression with independent variables

the ratio  $\frac{U_{xz}^{\max, b}}{\Delta U_{xz}^{\max}}$  of the maximum gradient value  $U_{xz}^{\max, b}$

on the basic level towards the difference  $\Delta U_{xz}^{\max}$  between the maximum gradient values on the basic level ( $U_{xz}^{\max, b}$ ) and on level  $H=1$  ( $U_{xz}^{\max, H=1}$ ), the anomaly width  $\Delta X_{1/2}$  for gradient value  $\frac{U_{xz}^{\max}}{2}$  and the natural logarithm of the

ratio  $\frac{\Delta X_{1/2}^-}{\Delta X_{1/2}^+}$  between the widths of the two branches of

the horizontal gradient distribution on the basic level:

$$h_1 = f \left( \frac{U_{xz}^{\max, b}}{\Delta U_{xz}^{\max}}, \Delta X_{1/2}, \ln \frac{\Delta X_{1/2}^-}{\Delta X_{1/2}^+} \right)$$

The R-squared value of the multiple regression is very high.

After limiting the range of the independent variables  $\frac{U_{xz}^{\max, b}}{\Delta U_{xz}^{\max}}$ ,

$\Delta X_{1/2}$  and  $\frac{\Delta X_{1/2}^-}{\Delta X_{1/2}^+}$ , the R-squared value is above 0,99. The

established close relationship provides a high level of confidence in the estimation of the depth  $h_1$  towards the slab structure.

- Once the depth  $h_1$  towards the slab structure is found, the thickness  $\Delta h$  of the slab can be estimated. The following multiple regression is used:

$$\Delta h = f \left( h_1, \frac{U_{xz}^{\max, b}}{\Delta U_{xz}^{\max}}, \Delta X_{1/2}, \ln \frac{\Delta X_{1/2}^-}{\Delta X_{1/2}^+} \right).$$

- When the values for  $h_1$  and  $\Delta h$  are known the angle of the edge  $\alpha$  can be estimated using the following multiple regression:

$$\alpha = f \left( h_1, \Delta h, \frac{U_{xz}^{\max, b}}{\Delta U_{xz}^{\max}}, \Delta X_{1/2}, \ln \frac{\Delta X_{1/2}^-}{\Delta X_{1/2}^+} \right).$$

## REFERENCES

- Guidebook in Geophysics, 1990, volume *Gravity Surveying*, Moscow, "Nedra". (in Russian)
- W. Telford, L. Geldart, R. Sheriff and D. Keys, 1990, *Applied Geophysics*. Cambridge, Cambridge University Press

Recommended for publication by Department of Applied Geophysics, Faculty of Geology and Prospecting