

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՎԵՐԱԿԱՆԳՎՈՂ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱՅԻ ԵՎ ԷՆԵՐԳԱԽՆԱՅՈՂՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱԴՐԱՄ

“ԳԵՈՌԻՄԿ” ԳԻՏԱՀԵՏԱԶՈՏԱԿԱՆ ԸՆԿԵՐՈՒԹՅՈՒՆ Կ

# Քարքարի տեղանքում իրականացված Եռաչափ (3D) ՄՏ, ծանրաչափական – CO<sub>2</sub> հանույթների անկախ մեկնաբանություն Ծրագիր GEF-CS-4/2008

**Ծրագիր GEF-CS-4/2008**

Նախնական հաշվետվություն



ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՎԵՐԱԿԱՆԳՎՈՂ, ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱՅԻ ԵՎ ԷՆԵՐԳԱԽՆԱՅՈՂՈՒԹՅԱՆ  
ՀԻՄՆԱԴՐԱՄ

“ԳԵՈՌԻՄՎ” ԳԻՏԱՀԵՏԱԶՈՏԱԿԱՆ ԸՆԿԵՐՈՒԹՅՈՒՆ

**Քարքարի տեղանքում իրականացված  
երաչափ (3D) ՄՏ, ծանրաչափական և CO<sub>2</sub>  
հանույթների անկախ մեկնաբանություն**

Ծրագիր GEF-CS-4/2008

*Նախնական Հաշվետվություն*

Ապրիլ, 2012թ.

# Բովանդակություն

<b>0. Բացատրական ամփոփագիր</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Ներածություն</b> .....	<b>3</b>
1.1 Աշխատանքների ծավալը .....	3
<b>2. “Վեստերն Ջիկո” ընկերության հաշվետվության (2011թ) ՄՏ-ին վերաբերող բաժինների վերլուծություն (դոկտոր Ս. Սանդրեգի կողմից)</b> .....	<b>4</b>
2.1 Համեմատելով ՄՏ տվյալների գրանցման տեղադիրքերը՝ 2004, 2009 և 2011թ ՄՏ հանույթների ժամանակ .....	4
2.2 ՄՏ հանույթների մեկնաբանություններում օգտագործվող թվային մոդելավորումը.....	5
2.3 Ինվերսիայի մոդելների համեմատությունը՝ 3D (“Վեստերն Ջիկո”, 2011թ) և 2D («Գեոդիսկ»/ՀՖՀ, 2009թ) .....	8
2.3.1. <i>Կտրվածք</i> WE 1.....	10
2.3.2. <i>Կտրվածք</i> WE 3.....	13
2.4 Նախապես գոյություն ունեցող երկրաչերմային մոդելի վերստուգումը.....	14
2.5 Այլ դիտողություններ և վերլուծություն 3D մոդելի վերաբերյալ .....	18
<b>3. Գրավիմետրիա (դոկտոր Չարլզ Կոնոր, դոկտոր Լորա Կոնոր, դոկտոր Ջերեմի Ուայթ, դոկտոր Ռոկո Մալսերվիզի և դոկտոր Պոլ Վեսմոր)</b> .....	<b>19</b>
3.1 Ներածություն.....	19
3.2 Ծանրաչափական տվյալներ.....	21
3.3 Ծանրաչափական ձևափոխություններ .....	21
3.4 Ծանրաչափական առաջադեմ մոդել .....	28
3.5 Ծանրաչափական ինվերսիա .....	28
3.6 Ծանրաչափական մոդելի արդյունքներ .....	29
<b>4. Երկրաչերմային մոդել (դոկտոր Ջերեմի Ուայթ և դոկտոր Ջոն Հյուզ)</b> .....	<b>31</b>
<b>5. Հավելված 1</b> .....	<b>35</b>

# 0 Բացատրական ամփոփագիր

## 1 Ներածություն

Այս փաստաթուղթը իրենից ներկայացնում է **նախնական հաշվետվություն**՝ “Վեստերն Ջիկո” ընկերության կողմից 2011թ Հայաստանի Քարքար տեղանքում կատարված երկրաֆիզիկական վերլուծությունների և պատրաստված հաշվետվության ուռումնասիրման և մեկնաբանության առաջադրանքով: Մեկնաբանության նպատակներն են. գնահատել երկրաջերմային պաշարի ընդհանուր որակը, հայտնաբերել հորատման համար լավագույն թիրախներ և տալ առաջարկություններ՝ հետազոտությունների ծրագրի հաջորդ քայլերի ուղղությամբ: Ուստի մեր վերլուծությունը կազմված է մի քանի մասերից.

1. “Վեստերն Ջիկո” ընկերության կողմից հացաքաղցրված մագնիսատելուրային (ՄՏ) տվյալները ստուգվել են և համամատվել են նախորդ ուսումնասիրությունների ժամանակ կազմված մոդելների արդյունքների հետ:
2. “Վեստերն Ջիկո” ընկերության կողմից հավաքագրված ծանրաչափական /գրավի-մետրական/ տվյալները ստուգվել և վերլուծվել են: Կատարվել է ծանրաչափական նոր ինվերսիա՝ Քարքարի տարածաշրջանում խզվածքներով սահմանագծող ավազանի խորությունը հաշվարկելու նպատակով:
3. Կառուցվել է նոր հիդրոջերմային մոդել՝ ՄՏ, ծանրաչափական և հորատման տվյալների մեկնաբանության արդյունքում ստացված սահմանային պայմանների հիման վրա:

Երկրաբանական մեկնաբանությունը, երկրաջերմային մոդելը և հայեցակարգային մոդելը, ինչպես նաև առաջարկությունները, ներառվելու են ծրագրի Ավարտական հաշվետվության մեջ:

### 1.1 Աշխատանքների ծավալը

Այս հաշվետվությունում քննարկվող տվյալները հավաքվել են “Վեստերն Ջիկո” ընկերության աշխատակիցների կողմից 2011թ ամառվա վերջին: Ուր որ դա տեղի էր, ներառվել և քննարկվել են նաև լրացուցիչ տվյալները, որոնք ստացվել են համատեղ՝ “Գեոոիսկ” Գիտահետազոտական Ընկերության և ՀՖՀ /Հարվային Ֆլորիդայի Համալսարանի, ԱՄՆ/ աշխատակիցների կողմից 2009թ, իսկ Ռուսաստանյան և Հայկական Գիտությունների ակադեմիաների աշխատակիցների կողմից՝ 2004 թվականին: Այս լրացուցիչ տվյալները ներառում են տեղեկություններ Քարքարի շրջանում հորատված Հորատանցք 4-ից և 2009թ “Գեոոիսկ”/ՀՖՀ աշխատակիցների կողմից կատարված 2D ՄՏ հանույթների արդյունքները:

Տվյալ հաշվետվությունում գլխավորապես մեկնաբանվում են “Վեստերն Ջիկո” ընկերության կողմից առաջարկվող տվյալները և մոդելները: Ի լրումն դրան ներկայացվում են ծանրաչափական նոր ինվերսիայի արդյունքներ և մշակվում է մի նոր հիդրոջերմային մոդել, որի նպատակն է օգնել մեկնաբանելու երկրաֆիզիկական տվյալները:

Այդ տվյալների, մոդելների և մեկնաբանությունների լույսի ներքո տրվելու են առաջարկություններ՝ Քարքարի շրջանում հնարավոր երկրաջերմային պաշարների հետախուզության ծրագրի հաջորդ քայլերի վերաբերյալ:

## **2 «Վեստերն Ջիկո» ընկերության հաշվետվության (2011թ) ՄՏ-ին վերաբերող բաժինների վերլուծություն**

Մագնիսատելուրային (ՄՏ) գոնդավորումները կարևորագույն տեղեկություններ են ապահովում երկրաջերմային պաշարների գնահատման համար: Հաջորդ բաժիններում մենք ցույց ենք տալիս, որ, ընդհանուր առամբ, 2004, 2009 և 2011թ Քարքարի տարածքում հավաքագրված ՄՏ տվյալները տրամադրում են համատեղելի արդյունքներ: Ցածր դիմադրության անոմալիաները գտվել էին թե՛ 2D /երկչափ/ ու թե՛ 3D /եռաչափ/ ինվերսիաների մոդելներում և առավել ակնհայտ էին՝ ծովի մակերևույթից 2000-2500 մ բարձր՝ Հորատանցք 4-ից դեպի արևելք և Ջերմադրյուրի տաք աղբյուրների շրջանում: Հիշյալ ցածր դիմադրության անոմալիաները տարածվում են որպես դիսկրետ գոտիներ արևելքում գտնվող ու խզվածքներով սահմանազատվող գրաբեների մեջ: Խզվածքներով սահմանազծվող գրաբեների ներսում ցածր դիմադրության անոմալիաներ տարածվում են դեպի փոքր ինչ ավելի մեծ խորություններ՝ ծ.մ. 1500 մ կարգի:

2011թ «Վեստերն Ջիկո»-ի կողմից իրականացված ՄՏ հանույթի ստորև բերվող արդյունքները վերլուծվում ու համեմատվում են ավելի վաղ շրջանում կատարված հանույթների հետ:

### **2.1 Համեմատելով ՄՏ տվյալների գրանցման տեղադիրքերը 2004, 2009 և 2011թ ՄՏ հանույթների ժամանակ**

«Վեստերն Ջիկո»-ի ՄՏ տվյալները հավաքագրվել են 2011թ: Դա ՄՏ-ի երրորդ հանույթ էր տվյալ տարածաշրջանում, որի մասին մեզ հայտնի է, և դրանցից յուրաքանչյուրը իրականացվել էր հնարավոր երկրաջերմային պաշարների հետախուզման նպատակով: ՄՏ և աուդիոմագնիսատելուրային (ԱՄՏ) տվյալներ նախկինում ձեռք են բերվել Հայաստանի Գիտությունների Ակադեմիայի Երկրաֆիզիկայի և ինժեներային սեյսմոլոգիայի (IGES) ինստիտուտի կողմից՝ Մոսկվայի Պետական համալսարանի հետ համատեղ: Այդ ուսումնասիրությունը տեղի էր ունեցել 2004թ, և տվյալների գրանցման տարածքը հիմնականում գտնվում էր «Վեստերն Ջիկո»-ի տարածքից դեպի արևմուտք, կենտրոնանալով Ջերմադրյուրի տաք աղբյուրների տեղամասում: Երկրորդ հանույթն իրականացվեց 2009թ՝ «Գեոռիսկ» Գիտահետազոտական Ընկերության /Հայաստան/ և Հարավային Ֆլորիդայի համալսարանի (ՀՖՀ, ԱՄՆ) կողմից: Այդ հանույթը ներառել էր պրոֆիլ, որը հատեց տարածքը արևելքում տաք աղբյուրից սկսած և անցավ «Վեստերն Ջիկո»-ի ուսումնասիրված տարածքի միջով, որը, ըստ Հայկական Գիտությունների Ազգային Ակադեմիայի աշխատակիցների կողմից կատարված երկրաբանական քարտեզագրման և կառուցվածքային վերլուծության, համարվում էր խզվածքներով սահմանվող ավազանի շրջան: «Վեստերն Ջիկո»-ի ՄՏ հանույթը, որը մինչ օրս իրականացվածներից ամենամանրամասն է, բաղկացած էր ՄՏ տվյալների գրանցման ցանցից, որը սփռվում էր խզվածքներով սահմանազծվող ավազանով մեկ:

2004թ ՄՏ (և ԱՄՏ) գրանցումների տեղադիրքերը ցուցադրվում են Նկար 1-ում: 2009թ «Գեոռիսկի»/ՀՖՀ-ի ՄՏ հանույթի կայանների դիրքերը (TEM էլեկտրամագնիսական գոնդավորումների հետ միասին) ներկայացվում են Նկար 2-ում: 2004 և 2009 թվա-

կանների երկրաֆիզիկական ուսումնասիրությունների արդյունքները համեմատելու նպատակով Նկար 3-ում ներկայացվում է քարտեզ այդ երկու հանույթների տեղամասերի դիրքերով: Ինչպես կարելի է տեսնել Նկար 3-ի վրա, 2009թ երկրաֆիզիկական հանույթը ծածկում է 2004թ երկրաֆիզիկական հանույթի հյուսիսային հատվածը, իսկ 2009թ.-ի տվյալները տարածվում են ավելի հեռու դեպի արևելք:

Երկրաֆիզիկական տվյալների գրանցման դիրքերը 2011թ “Վեստերն Ջիկո”-ի հաշվետվությունից ցույց են տրվում 2009թ ՄՏ տվյալների գրանցման տեղամասերի հետ միասին Նկար 4-ում:

Ուշադրություն ենք դարձնում, որ Դր. Պյոտր Դլուգոշչը իր 2012թ հունվարի 4-ի մեկնաբանության մեջ ընդգծել է, որ հարկավոր է տվյալներ գրանցել “Վեստերն Ջիկո”-ի ուսումնասիրած տարածքից դեպի արևմուտք, ընդգրկելով Ջերմադրյուրի տաք աղբյուրների տեղամասը: Համաձայն ենք, որ “Վեստերն Ջիկո”-ի հանույթի և գոյություն ունեցող տաք աղբյուրների կոռելյացիան կարևոր է: Հավելում ենք նաև, որ փաստորեն 2009թ «Գեոոիսկի» և Հարավային Ֆլորիդայի համալսարանի ստացած տվյալները տարածվեցին մինչև այդ տաք աղբյուրները, ինչպես ցուցադրված է Նկար 2-ում: Այս հաշվետվության հաջորդ բաժնում մենք անդրադառնում ենք այդ երկու ուսումնասիրությունների տվյալների համապատասխանության և վերարտադրելիության հարցին: Այնուամենայնիվ, պարզ է, որ “Վեստերն Ջիկո”-ի կողմից կատարված եռաչափ մոդելավորման օգտակարությունը մեծապես կմեծանար՝ 2009թ «Գեոոիսկի»/ՀՖՀ-ի տվյալների և 2011թ “Վեստերն Ջիկո”-ի ստացված տվյալների համատեղ մոդելավորման շնորհիվ:

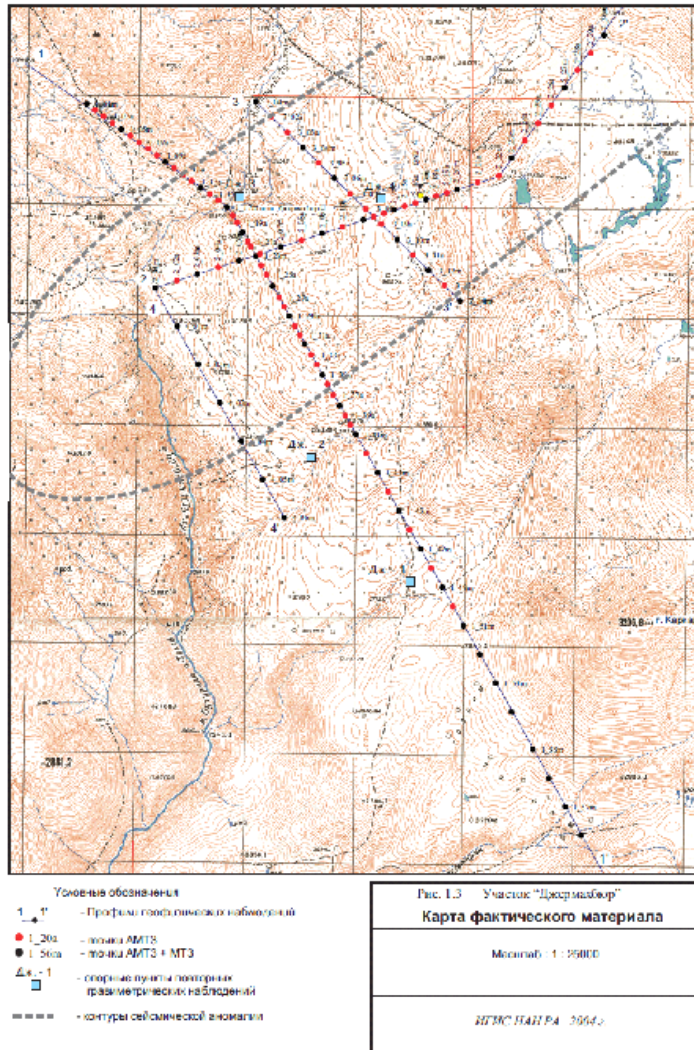
## **2.2 ՄՏ հանույթների մեկնաբանություններում օգտագործվող թվային մոդելավորումը**

2004թ ՄՏ հանույթը մոդելավորվել և մեկնաբանվել էր օգտագործելով առանձին տեղամասերի 1D մոդելներ, որոնք կայցվել էին մեկը մյուսին 2D մոդելներ ստանալու համար: «Գեոոիսկի»/ՀՖՀ-ի 2009թ տվյալները մոդելավորվել էին, օգտագործելով 2D ինվերսիայի մոդելավորում, իսկ 2011թ “Վեստերն Ջիկո”-ի տվյալները՝ օգտագործելով լիարժեք 3D ինվերսիայով մոդելավորման համակարգչային ծրագիրը: Այդ 3D /եռաչափ/ ինվերսիայով մոդելավորման ծրագիրը արդիականների շարքից է և հավանաբար կարող է համարվել ՄՏ մոդելավորման գոյություն ունեցող լավագույն ծրագիր: “Վեստերն Ջիկո”-ի եռաչափ մոդելը պետք է ապահովի ենթամակերևույթում դիմադրությունների բաշխման ավելի ճշգրիտ պատկեր, քան դա հանարավոր է եղել 1D կամ 2D ինվերսիայի մոդելների օգտագործմամբ:

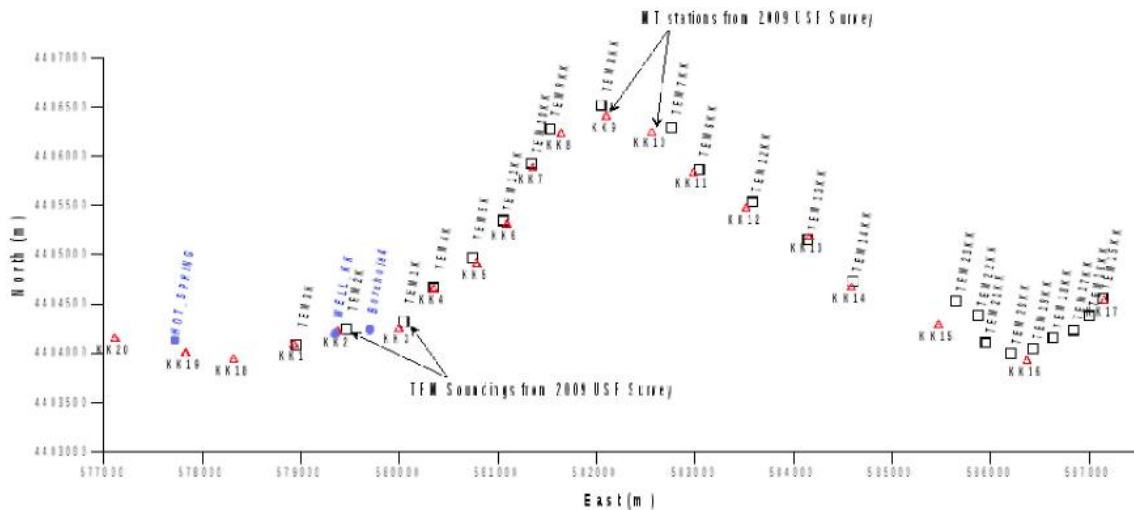
Այնուամենայնիվ, ինքստիսքյան ՄՏ տվյալները, որոնք օինակելի որակի են, նշում են, որ դաշտային տարածքի որոշ մասերում բավականաչափ կլինեին նաև 1D և/կամ 2D մոդելավորումները: Ինչ վերաբերում է 2009թ հանույթի մեկնաբանության, ապա նշվում էր, որ տվյալների պսևո-կտրվածքներում TM /ՄՄ/ և TE /ԱԷ/ ռեժիմներում մեծ նմանություններ կան, որոնք հուշում են, որ պրոֆիլի մեծ մասը միաչափ է /1D/, ինչի մասին վկայում էր նաև դիմադրության կիսաշերտավոր տեսքը 2D մոդելում: Բացի այդ 10 Հց բևեռային դիագրամներ 2009թ տվյալների համար դառնում են բավականին օղակաձև, ինչը նույնպես վկայում է 1D միտման մասին, առնվազն ոչ խորը ենթամակերևույթում: Թեև դա չի քննարկվել 2009թ

հաշվետվությունում, բայց 10 վայրկյանի բևեռային դիագրամները (տես Նկար 18 հիշյալ հաշվետվությունում) վկայում են դիրքորոշման նմանության մասին տեղամասերի մեծ մասի համար, երբ հիմնական առանցքը մոտավորապես տարածվում է արևմուտք-հյուսիսարևմտյան ուղղությամբ, դրանով հիմնավորելով մինչ 2D մոդելավորումը կատարված N90°E ռոտացիան:

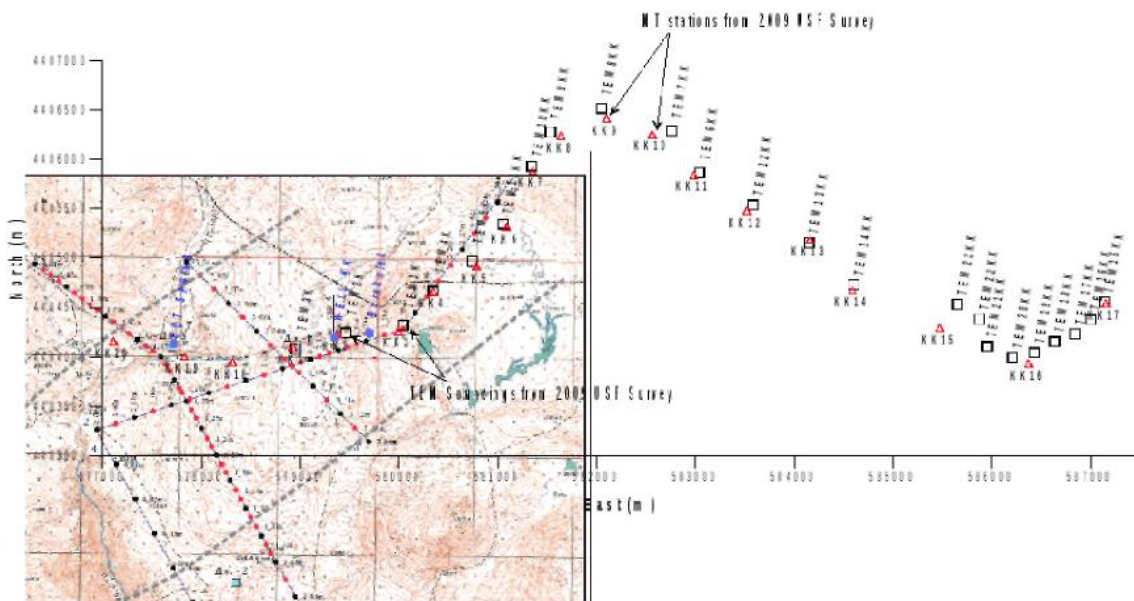
Ի լրումն դրան նկար 5-ում ցուցադրված են ինդուկցիայի սլաքներ, հաշվարկված ըստ 2004թ ՄՏ տվյալների: Ուշադրություն դարձրեք քարտեզի հյուսիս-արևելյան մասում սլաքների համընկնող ուղղությունների վրա, ուր գրանցվել էին 2009թ ՄՏ տվյալները և ուր ստացվել էին նաև “Վեստերն Ջիկո”-ի 2011թ ՄՏ տվյալներից մի քանիսը: Չափայնության այս ցուցիչը թույլ է տալիս ենթադրել նաև, որ այդ տարածքում լավ արդյունքներով հնարավոր կլինե՞ր կիրառել 2D մոդելավորման մոտեցումը: Հետևաբար ՄՏ արդյունքները ենթադրում են, որ, համապատասխանաբար, 2009թ և 2011թ հանույթներից 2D և 3D ինվերսիաներով մոդելավորումների համեմատությունը հիմնավորված է: Կա միայն մի վերապահում, որ 2011թվականին ավելի մանրամասն ու շատ բարձր որակի տվյալների գրանցումը պետք է բարելավվի մոդելի լուծունակության կարողությունը /ռեզոլյուցիան/:



**Նկար 1:** ՄՏ և ԱՄՏ տեղամասեր 2004թ երկրաֆիզիկական հանույթի ժամանակ: Հանույթը կատարվել էր ՀՀ ԳԱԱ Երկրաֆիզիկայի և Ինժեներային Մեյսմոլոգիայի ինստիտուտի (IGES) կողմից Մոսկվայի Պետական համալսարանի հետ համագործակցությամբ:



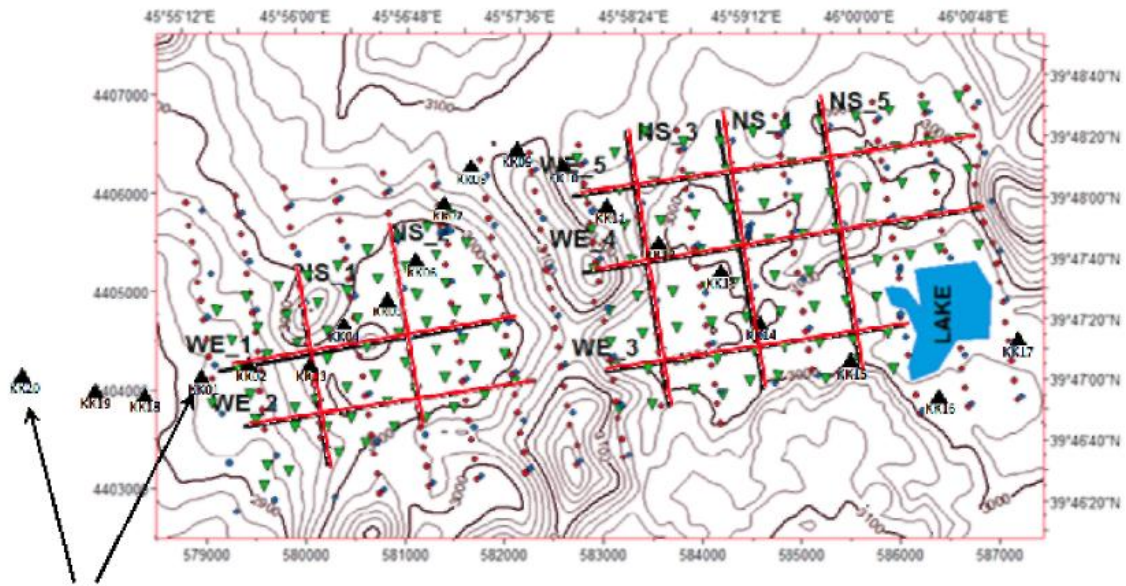
**Նկար 2:** ՄՏ և ԱԷՄ /TEM/ տվյալների գրանցման տեղամասեր 2009թ «Գեոդիսկի»/ՀՖՀ-ի կողմից կատարված երկրաֆիզիկական հանույթի ժամանակ: Նշվում են նաև Ջերմադրյուր տաք աղբյուրի և Հորատանցք 4-ի դիրքերը (ըստ կոորդինատների, որոնք տրամադրվեցին ՀՀ ԳԱԱ և «Գեոդիսկի» կողմից): Մյուս ցուցադրված հորը՝ WELL KK, նույնացվել էր 2009թ հանույթի ժամանակ հայկական դաշտային խմբի կողմից, չնայած որ ՀՖՀ-ի աշխատակիցները դաշտում չեն տեսել: Հետագա քննարկումները հուշում են, որ այդ հորը և Հորատանցք 4-ը հավանաբար նույն օբյեկտ են ներկայացնում:



**Նկար 3:** 2004թ և 2009թ հանույթների տեղադիրքեր միասին կապակցված: Այս քարտեզը կառուցվել է լավագույն հնարավոր ձևով համադրելով Նկար 1-ի մի մասը Նկար 2-ի հետ:



Միասնական պատկերման համար 2004թ տվյալների իրական կոորդինատները տրամադրության տակ չէին եղել:



**USF 2009 MT Stations**

**Նկար 4:** «Գեոոիսկի»/ՀՖՀ-ի 2009թ ՄՏ կայանները տեղադրված «Վեստերն Ջիկո»-ի հաշվետվությունից (2011թ) վերցված կայանների տեղադիրքերի քարտեզի վրա

### 2.3 Ինվերսիայի մոդելների համեմատությունը՝ 3D («Վեստերն Ջիկո», 2011թ) և 2D («Գեոոիսկի»/ՀՖՀ, 2009թ)

«Վեստերն Ջիկո»-ի հաշվետվությունում «դիմադրություն/խորություն» հարաբերությունը եռաչափ 3D մոդելից ներկայացված է երկու ձևաչափով: Նախ ներկայացվում է 10 լայնակի կտրվածքների շարք, ինչպես համարակալված է հիշյալ հաշվետվության Նկար 1-ում, և որպես մի մաս այն վերարտադրվում է Նկար 4-ում, այս հաշվետվության մեջ վերևում: Նկար 6-ը ցույց է տալիս այդ կտրվածքները 2009թ ՄՏ հանույթի դիրքերի հետ կապակցված: Երկրորդը՝ «Վեստերն Ջիկո»-ի եռաչափ 3D մոդելը պատկերվում է խորության շերտերով, որոնք ցույց են տալիս դիմադրությունը քարտեզի տեսքով ըստ բարձրության՝ հորիզոնական շերտերով՝ ծ.մ. 1000, 1500, 2000, 2250, 2500, 2750, և 3000 մետրի նիշերով: Սկսում ենք համեմատելով կտրվածքները երկչափ 2D («Գեոոիսկի»/ՀՖՀ, 2009թ) և եռաչափ 3D («Վեստերն Ջիկո» 2011թ) մոդելներում:

2009թ «Գեոոիսկի»/ՀՖՀ մոդելը համեմատվում է «Վեստերն Ջիկո»-ի 2011 թվականի՝ WE 1 և WE 3 լայնակի կտրվածքների հետ: Ուղղակիորեն համեմատել հնարավոր է միայն այդ երկու կտրվածքները, կայանների տեղադիրքերի երկրաչափության և 2009թ պրոֆիլի ուղղվածության պատճառով:

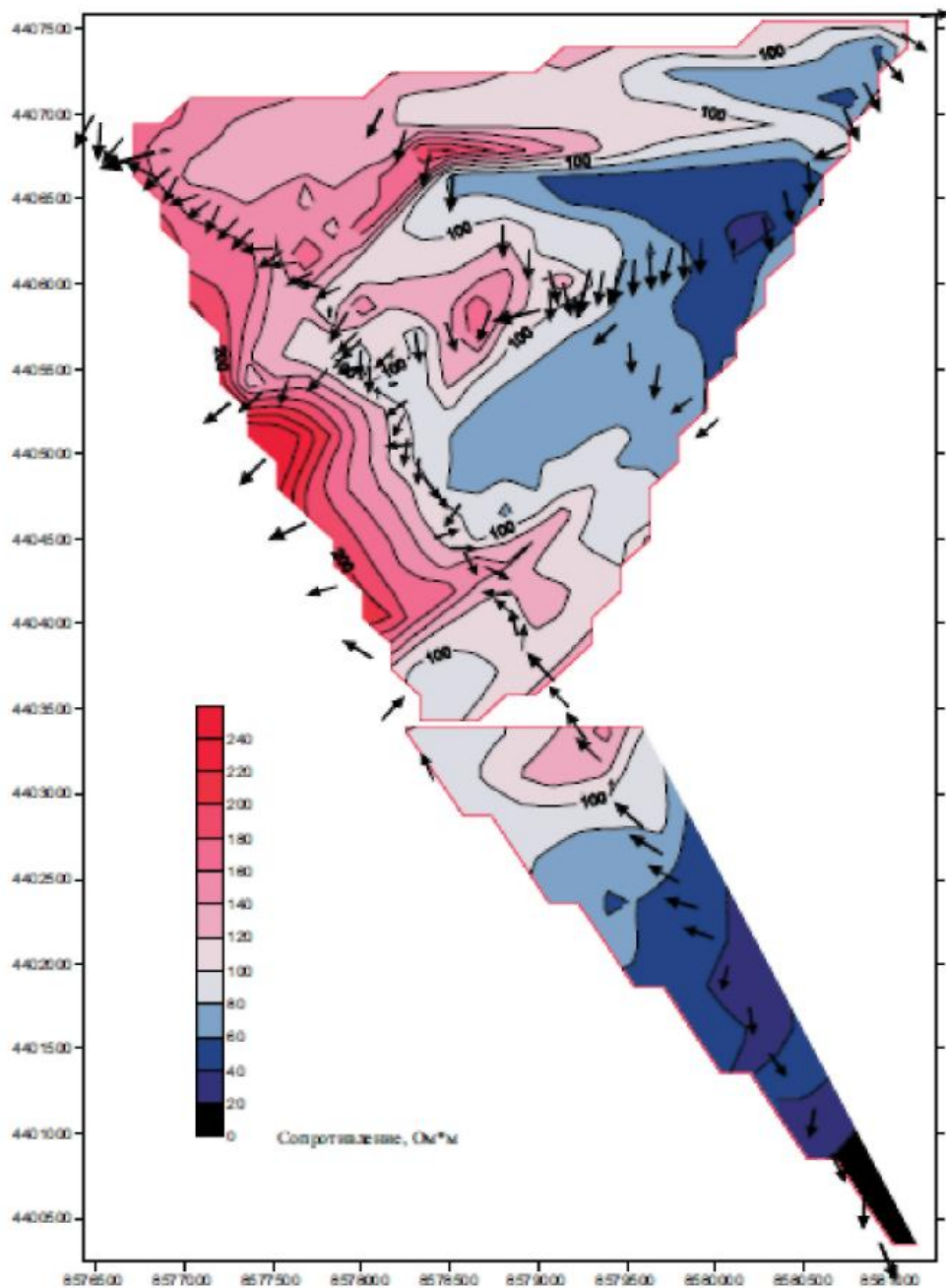
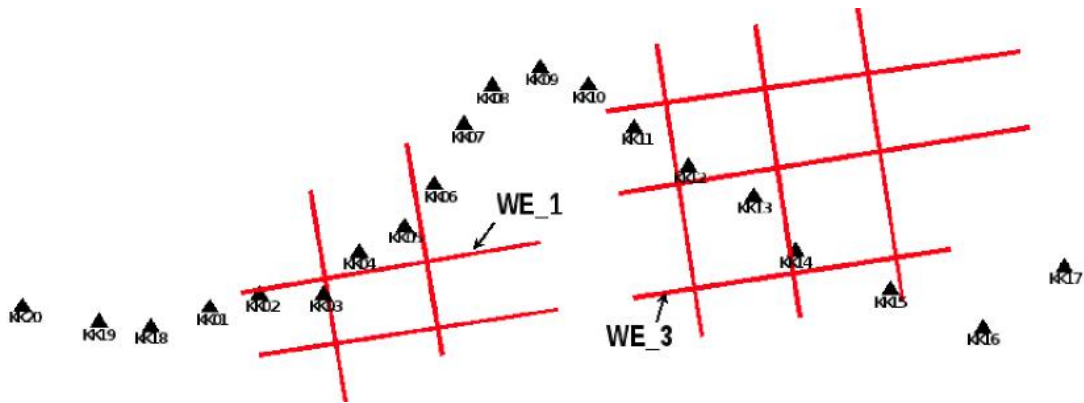


Рис. 3.14 Участок "Джермазюр"  
 Удельное электрическое сопротивление пород на абсолютной отметке 2000 м и индукционные стрелки на периоде 0.1 сек  
 Масштаб : 1 : 25000 (в 1 см 250 м)  
 ИГИС НАН РА 2004 г.

**Նկար 5.** Ինդուկցիայի սլաքներ 10 վ պարբերությունով, վերադրված դիմադրության տվյալների վրա 2000 մ բարձրության դեպքում՝ ըստ 2004թ. երկրաֆիզիկական հանույթի:



**Նկար 6:** 10 լայնակի կտրվածքներ “Վեստերն Ջիկո”-ի հաշվետվությունում ներկայացված եռաչափ US մոդելից, վերադրված 2009թ. հանույթի US տեղամասերի քարտեզի վրա: Նշված են WE 1 և WE 3 կտրվածքները:

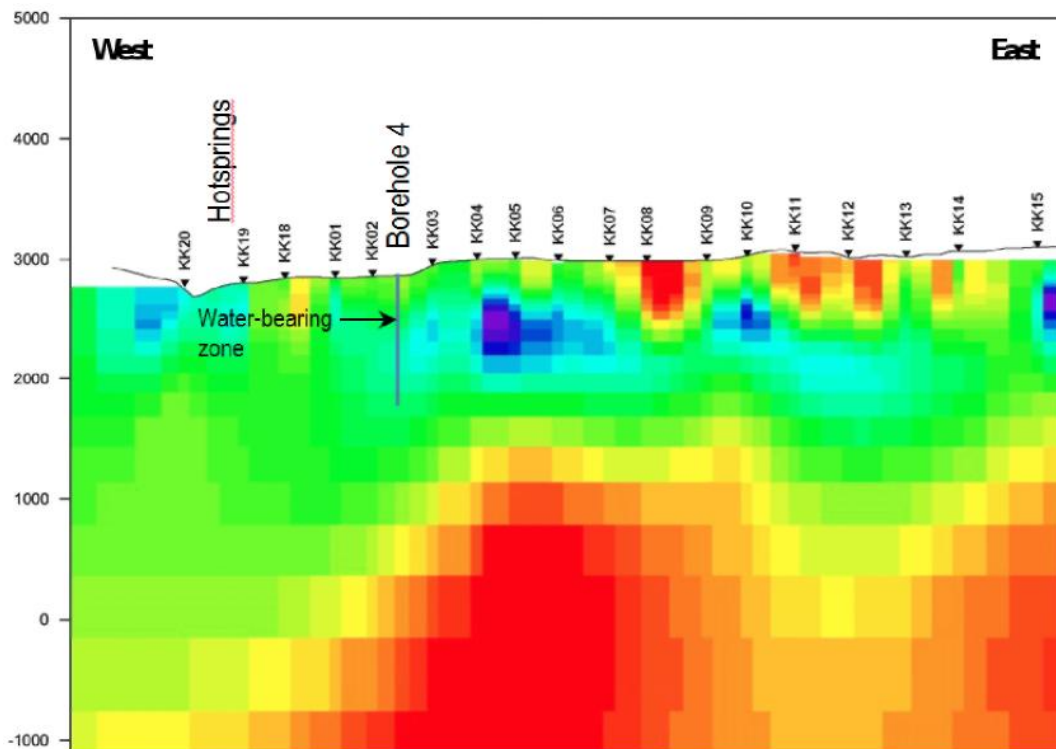
### 2.3.1 Կտրվածք WE 1

Նկար 7-ում պատկերված է 2009թ “Գեոռիսկի”/ՀՖՀ-ի մեկնաբանության երկչափ /2D/ Մոդել 3-ի արևմտյան հատվածը: Ցույց է տրված նաև Հորատանցք 4-ը, ինչպես նաև այդ մոդելի համաձայն վերլուծված՝ ջրատար միջակայքի դիրքը այդ հորատանցքում: Ուշադրություն դարձրեք, որ այս ջրապարունակ գոտին տարածականորեն համընկնում է հորից դեպի արևելք տարածվող՝ ցածր դիմադրության գոտու հետ (կապույտ/մանուշակագույն շրջան մոդելի մեջ): Այնուամենայնիվ, այդ շերտագրական մակադակում հորատանցքի և ամենացածր դիմադրության արժեքների միջև կա ընդմիջում, որը կազմում է մոտավորապես 1500 մ: Նկար 8-ում պատկերված է “Վեստերն Ջիկո”-ի կտրվածք WE 1-ը, վերադրված Նկար 7-ից 2009թ “Գեոռիսկի”/ՀՖՀ-ի մոդելի արևմտյան հատվածի վրա: Կարևոր է ի նկատի ունենալ, որ դիմադրության գույնային սանդղակները միմյանց նկատմամբ հակառակ են. 2009թ մոդելում ցածր դիմադրությունը ներկայացված է կապույտ ու կանաչ գույներով, իսկ “Վեստերն Ջիկո”-ի հատվածում ցածր դիմադրության արժեքներին համապատասխանում են կարմիր և դեղին գույները: Չունենալով “Վեստերն Ջիկո”-ին պատկանող համակարգչային ծրագրակազմը, որի միջոցով նա կառուցել է այդ նկարները, հնարավոր չէ արտահայտել դիմադրության անոմալիաները համարժեք գույնային սանդղակով:

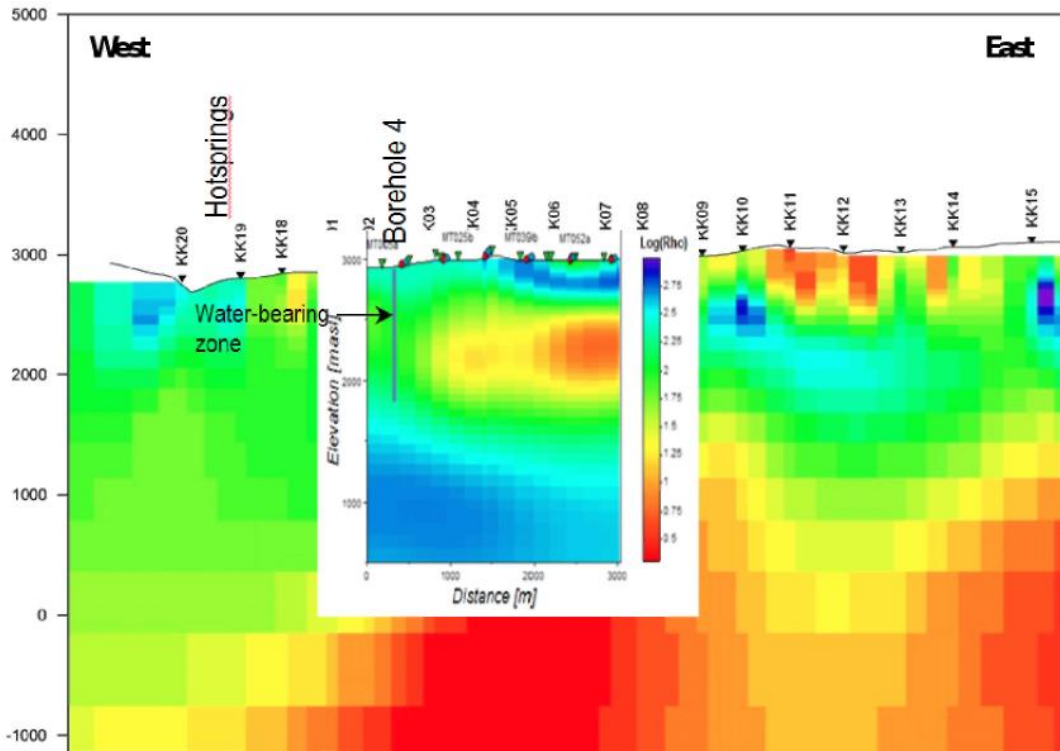
Դիմադրության արժեքների բաշխումները համեմատելու համար Նկար 9-ի եռաչափ 3D մոդելում ներկայացվում է ցածր դիմադրությամբ համեմատաբար ոչ խորը շրջան, որը սահմանազատված է կետագծով: Բացի այդ, մուգ կետագիծը կտրվածքի ավելի խորը մասում նշում է այն տեղը, ուր եռաչափ մոդելի դիմադրությունը աճում է խորության հետ զուգընթաց: Նկար 10-ում հաստ կետագծով ներկայացված են երկու մեկնաբանվող օբյեկտներ, որոնք 2009թ 2D մոդելի մեջ մտցվեցին Նկար 7-ից: Համեմատելով Նկար 9-ը և Նկար 10-ը ակնհայտ է դառնում, որ այդ երկու օբյեկտները ներկա են թե՛ 2D և թե՛ 3D մոդելում: Դա թույլ է տալիս ենթադրել, որ երկու մոդելների միջև կա դիմադրության անոմալիաների տեղադիրքի և խորության համապատասխանություն:

Նկատում ենք, որ 2D և 3D մոդելների միջև կա նաև անհամապատասխանություն, որը իր մեջ է ներգրավում ավելի ցածր դիմադրության կոնտակտ՝ շերտագրականորեն ավելի բարձր գտնվող՝ ցածր դիմադրության և շերտագրականորեն

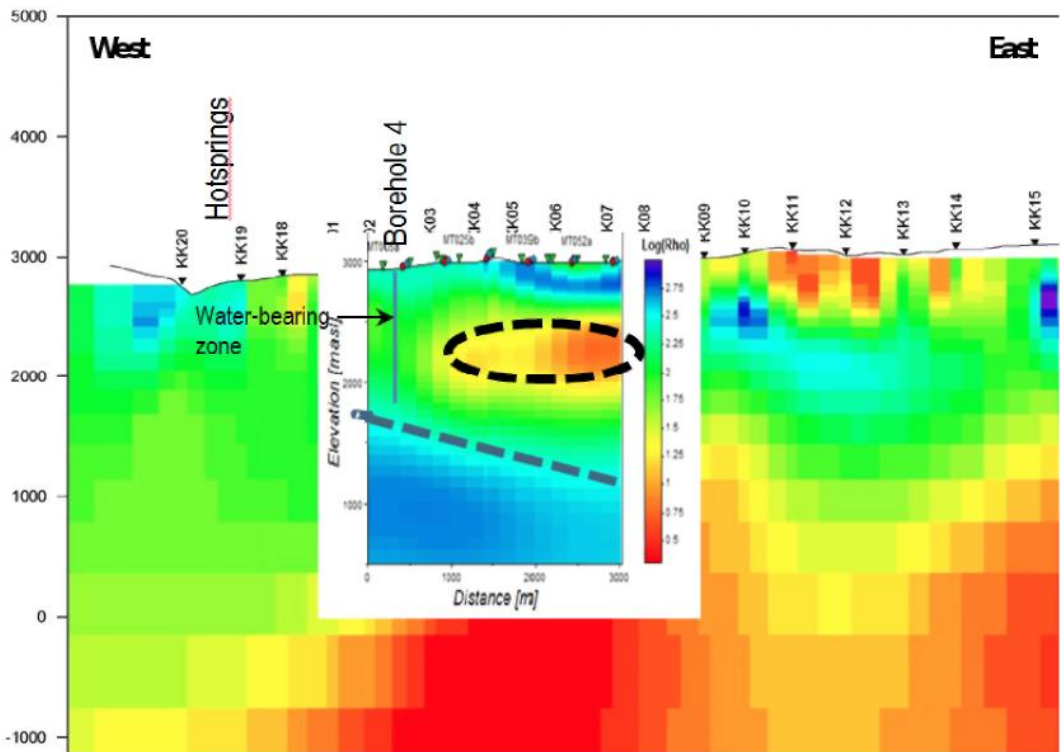
ավելի խորը գտնվող՝ բարձր դիմադրության միավորների միջև: Այդ կոնտակտը 9-րդ և 10-րդ նկարներում ցույց է տրված հաստ կետագծով: Եռաչափ 3D մոդելում դիմադրության այդ կոնտրաստը պատկերվում է իբրև գծային, դեպի արևելք անկում ունեցող կոնտակտ: Իսկ երկչափ 2D մոդելում այդ օբյեկտը ցույց է տրվում իբրև բարձր դիմադրություններով հիմք (?), որը իր ամենափոքր խորության կետում հասնում է մոտավորապես ծ.մ. 1500 մետրին, սակայն այս կետից դրսևորում է անկում դեպի արևմուտք և արևելք պրոֆիլի երկայնքով: Եթե համեմատենք դա Հորատանցք 4-ի շերտագրական նկարագրերի հետ, որոնք այս հաշվետվության մեջ մանրամասնությամբ քննարկվում են ավելի ուշ, ապա հնարավոր է դառնում, որ բարձր դիմադրությունների այդ գոտին համընկնում է հրաբխային, ոչ ճեղքավորված ինտրուզիայի հետ, որը գտնվում է ճեղքավոր հրաբխային ինտրուզիայի տակ (քվարց-մոնցոնիտ): Այս շրջանում անհամապատասխանությունը 2D և 3D մոդելների միջև առաջանում է եռաչափ մոդելի դեպի արևմուտք էքստրապոլյացիայի /արտարկման/ պատճառով, ինչը նրան դուրս է բերում 2011թ հանույթի ցանցի տվյալների հսկողության շրջանից: Դրա արդյունքում հիշյալ հպման հարթությունը /ինտերֆեյսը/ արևմտյան ուղղությամբ պակաս խորն է դառնում, ինչպես դա պատկերում է 3D մոդելը (Նկար 9): Այնուամենայնիվ երկչափ 2D մոդելը հենվում է 2009թ տվյալների վրա, որոնք տարածվում են ավելի հեռու դեպի արևմուտք, դեպի KK01, KK18, KK19, և KK20 կայանները, ինչի շնորհիվ կորում է մոդելը արտարկելու կարիքը: Այդ արդյունքը հուշում է, որ նախընտրելի կլիներ, որպեսզի “Վեստերն Ջիկո”-ն ընդգրկեր 2009թ պրոֆիլի տվյալները իր եռաչափ 3D մոդելում:



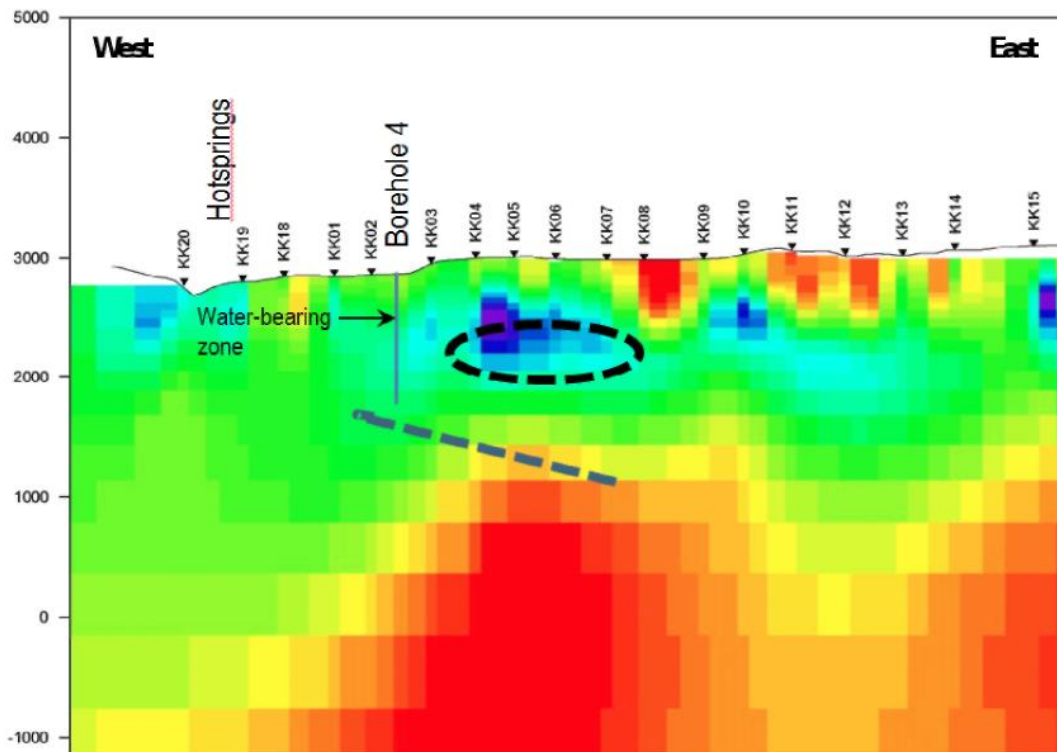
**Նկար 7:** 2D Մոդել 3-ի արևմտյան հատվածը (“Գեոֆիզիկ”/ՀՖՀ, 2009թ): Նկարում նաև ցույց են տրվել տաք աղբյուրների տեղադիրքերը և Հորատանցք 4-ը: Ի լրումն դրան ցույց է տրված հորատանցքի մեջ գրանցված ջրատար գոտու մեկնաբանվող տեղադիրքը:



**Նկար 8:** “Վեստերն Ջիկո”-ի WE 1 կտրվածքը համատեղված “Գեոթիսկի”/ՀՖՀ-ի 2009թ մոդելի վերնի մասի հետ: Ի նկատի ունեցեք, որ դիմադրության պատկերման գույնային սանդղակները ճիշտ հակառակն են. 2009թ. մոդելում ցածր դիմադրությունները ներկայացվում են կապույտ և կանաչ գույներով, իսկ “Վեստերն Ջիկո”-ի կտրվածքում՝ նրանք ներկայացվում են կարմիր և դեղին գույներով:



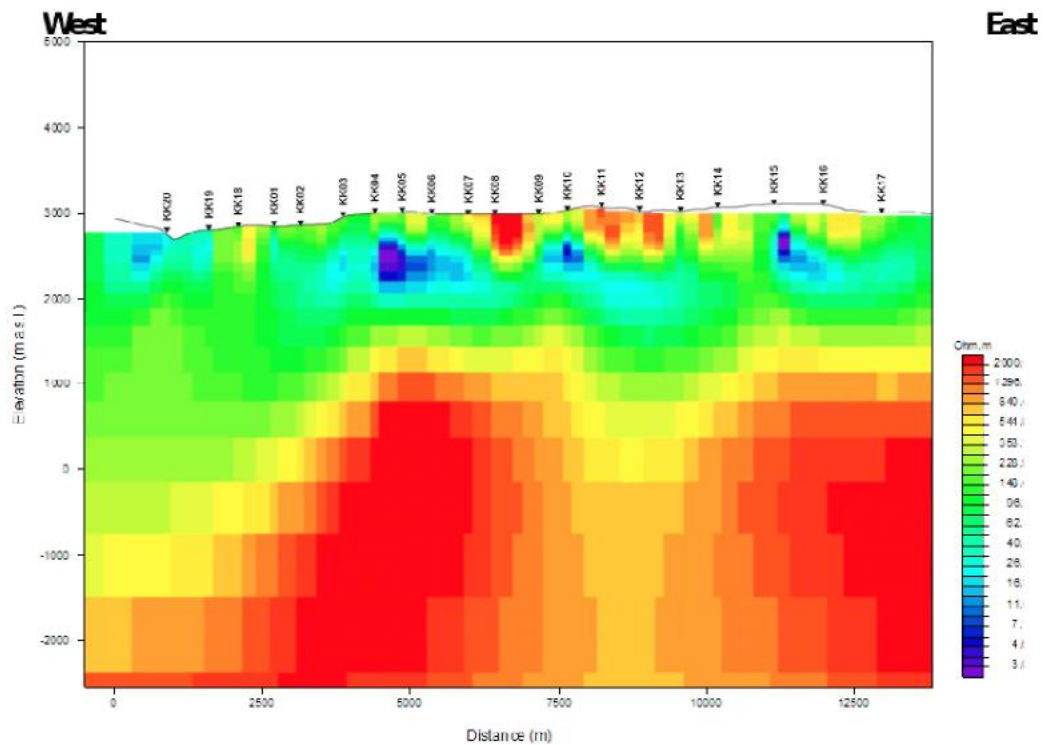
**Նկար 9:** Դիմադրությունների կտրվածք WE 1, որը վերադրված է 2009թ “Գեոթիսկի”/ՀՖՀ-ի մոդելի վրա, ինչպես Նկար 8-ում, բացառությամբ մեկնաբանվող օբյեկտների, որոնք զծված են հաստ կետագծերով:



**Նկար 10:** Երկչափ 2D մոդել (“Գեոֆիսկ”/ՀՖՀ, 2009թ), ինչպես և Նկար 7-ում, բացառությամբ այն, որ ավելացվել են մեկնաբանվող օբյեկտներ Նկար 9-ից:

### 2.3.2 Կտրվածք WE 3

2009թ “Գեոֆիսկ”-ի/ՀՖՀ-ի 2D մոդելը, արևելյան հատվածը ներառյալ, ներկայացված է Նկար 11-ում: Իսկ Նկար 12-ում ցույց է տրված “Վեստերն Ջիկո”-ի WE 1 կտրվածքը, որը բերվել է Նկար 10-ից և համատեղվել է այդ երկչափ /2D/ մոդելի մեջ: Կրկին անգամ ուշադրություն ենք դարձնում 2D և 3D մոդելներում հակառակ գույնային սանդղակների վրա: Բացի այդ Նկար 12-ը ցույց է տալիս մեկնաբանվող 3 օբյեկտ, որոնք են դիմադրությունների սահմանները մոդելում, դրա համար օգտագործելով հաստ կետագծեր: Համեմատության համար այդ երեք մեկնաբանվող օբյեկտները ցույց են տրվում ուղղակիորեն Նկար 13-ի երկչափ 2D մոդելում: Ինչպես կարելի է նկատել այս նկարների վրա, 2D և 3D մոդելների միջև գոյություն ունի էական համապատասխանություն:



**Նկար 11:** 2009թ «Գեոտիսկ»/ՀՖՀ-ի 2D մոդել, իր արևելային հատվածը ներառյալ: Ուշադրություն դարձրեք դիմադրությունների պատկերման գույնային սանդղակի վրա, որը նույնն է ինչը և նախորդ նկարներում:

## 2.4 Նախապես գոյություն ունեցող երկրաջերմային մոդելի վերստուգումը

Կտրվածքների մեր վերլուծությունների հիման վրա ցույց տվեցինք, որ 2009թ «Գեոտիսկ»-ի/ՀՖՀ-ի 2D US մոդելի և 2011թ «Վեստերն Ջիկո»-ի 3D US մոդելի միջև կա զգալի համապատասխանություն: Արդեն հիմնավորվել է, որ 2009թ մոդելը համաձայնության մեջ է նաև 2004թ հանույթների արդյունքում մշակված մոդելների և հետակա միաչափ 1D մոդելավորման հետ: Ուստի եզրակացնում ենք, որ «Վեստերն Ջիկո»-ի մոդելը հավաստի է և, բացի այդ, իր մոդելավորման 3D բնույթի շնորհիվ, որն իդեալ ամենաարդիականն է, ենթամակերևութային դիմադրությունների 3D մոդելը առավել ճշգրտությամբ է նկարագրում դիմադրությունների բաշխումը, քան նախորդ աշխատանքները:

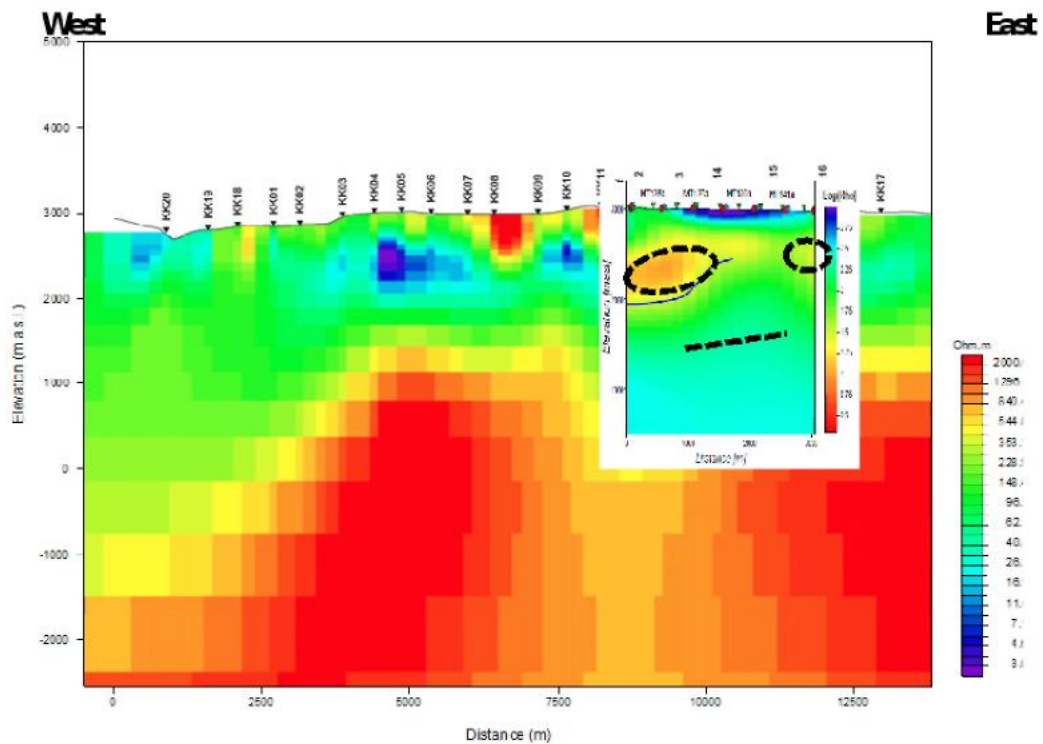
Սակայն կա մի վերապահում: Եռաչափ 3D մոդելը համարվում է ավելի ճշգրիտ միայն այն տվյալների սահմաններում, որոնք օգտագործվել են այն մշակելու նպատակով: Օրիակ, մենք արդեն ցույց ենք տվել, որ դիմադրությունների հիմքը WE 1 կտրվածքում 3D մոդելավորմամբ արտարկվել է և շարունակվել է դեպի արևմուտք, մինչև չափազանց նոսր խորություն՝ 2D մոդելի համեմատությամբ, որը կիրառել էր այդ ուղղությամբ ավելի հեռու տարածվող տվյալներ: Հնարավոր է, որ այդ տարբերությունը նշանակություն կունենա հիդրաջերմային մոդելների համար, հաշվի առնելով տաք աղբյուրների, Հորատանցք 4-ի և խզվածքներով սահմանազատվող գրաբենի հարաբերակցական դիրքերը այդ բարձր դիմադրության գոտու նկատմամբ:

2011թ տվյալների հավաքագրման միջոցով փորձարկվելիք երկրաջերմային մոդելը իր մեջ պարունակում էր «փուլ-ապարտ» ավազանի և կապակցված

խզվածքների գաղափարը, ինչպես դա ներկայացված է Նկար 14-ում: Մենք ցուցադրեցինք, որ «Վեստերն Ջիկո»-ի 3D մոդելը համահունչ է «Գեոդիսկի»/ՀՖՀ-ի 2D մոդելի որոշ հատվածների հետ, ինչը և ներկայացվել է նկարի ֆոնում: 3D մոդելը պետք է ցույց տա այդ կառույցների մանրամասնություններ տվյալ մոդելից դեպի հյուսիս և հարավ ուղղություններով: Նկար 15-ը պատկերում է 3D մոդելի դիմադրությունները ծ.մ. 1000 մետր բարձրության վրա:

Թեև դիմադրությունների գույնային պատկերման ուրվագծերի միջակայքը բավականին լայն է, կա ցուցում, որ մոդելի արևմտակենտրոնական մասում գոյություն ունի ցածր դիմադրության մի անոմալիա (դա նկարում նշվում է որպես Ցածր Դիմադրության Գոտի A): Արևելքից և արևմուտքից այդ օբյեկտը սահմանազատում են ավելի բարձր դիմադրությունների գոտիներ: Այդ ցածր դիմադրության անոմալիան գտնվում է ծ.մ. 1000 մետրի վրա և պատկերված է 2D մոդելում Նկար 16-ի վրա: Խորը հատվածում՝ 2D և 3D մոդելների միջև կա դիմադրությունների ակնհայտ տարբերություն: Սակայն, այն պատճառով, որ երկչափ մոդելի ստեղծման համար կիրառված 2009թ ՄՏ հանույթը ծածկել էր ավելի մեծ տարածք արևմտյան ուղղությամբ, հավանական է, որ 2D մոդելում արևմտյան վերջավորությունը ավելի ճշգրիտ է, իսկ Նկար 16-ում ավելի բարձր դիմադրություններ, ներկայացված պակաս դիմադրողականությամբ գոտուց արևմտյան ուղղությամբ, կարող են ոչ ճշգրիտ լինել:

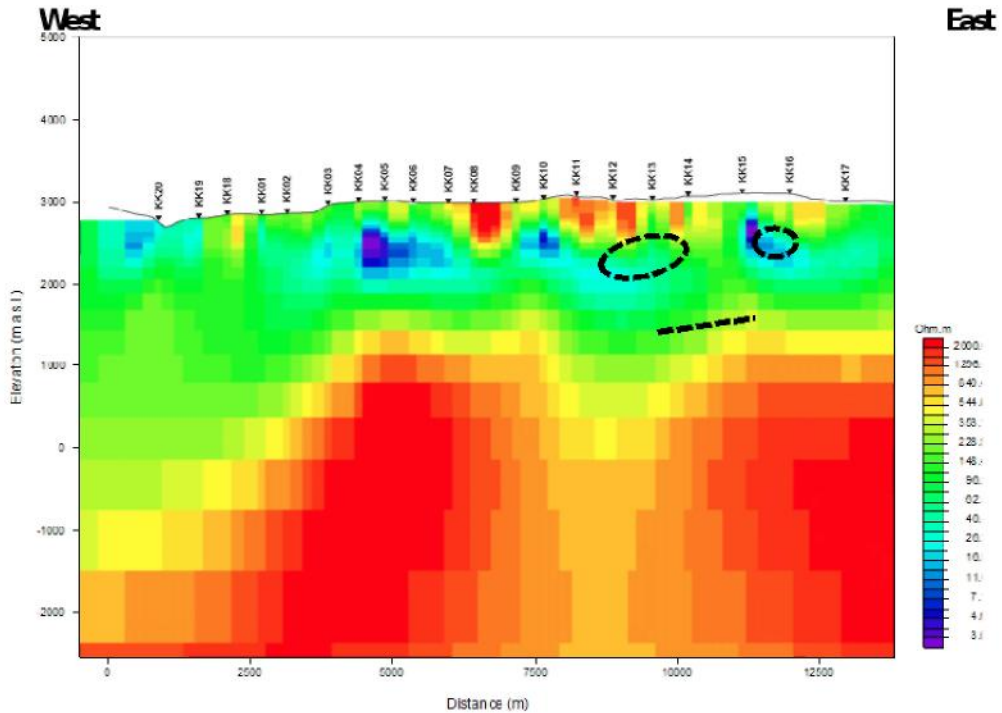
Ինչպես արդեն նշվել է, կարծում ենք, որ ընդհանուր առմամբ 3D մոդելը պետք է ավելի ճշգրիտ լինի, ուստի նախկին երկրաչերմային մոդելը, որը պատկերվել է Նկար 14-ում, վերանայում կպահանաջի: Դարձյալ այն պատճառով, որ 3D մոդելում արդյունքները յուրահատուկ կերպով են ներկայացվել, դժվար է կառուցել «դիմադրություն/խորություն» կտրվածքներ 3D մոդելի համար:



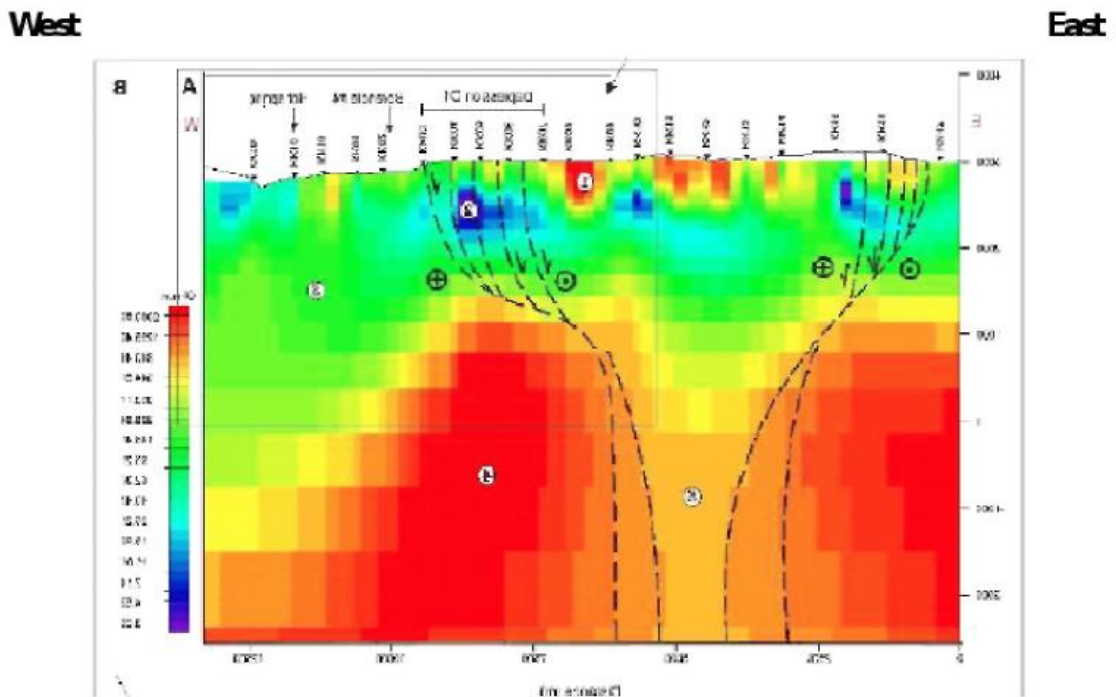
**Նկար 12:** 3D դիմադրությունների կտրվածք WE 3-ը ցույց է տրված իր մոտավոր տեղադիրքում՝ Նկար 11-ի երկչափ մոդելի հարաբերությամբ: Ուշադրություն դարձրեք, որ դիմադրությունների պատկերման գունային սանդղակները երկչափ և եռաչափ մոդելներում փոխադարձաբար



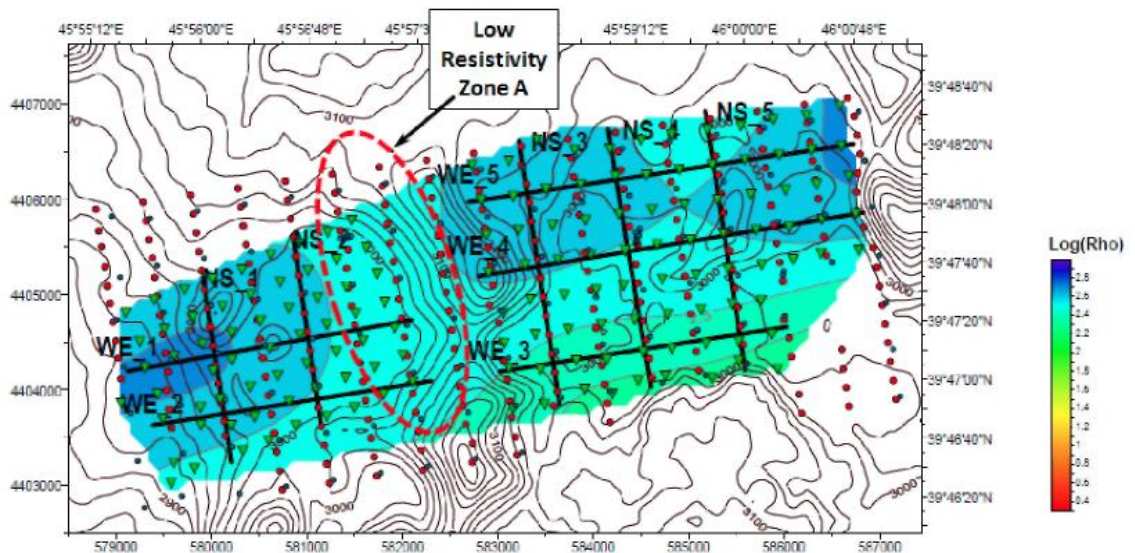
հակառակ են, ինչպես դա քննարկվում է Նկար 8-ի տակ: Բացի այդ հաստ կետագծերով ցուցադրված են երեք մեկնաբանվող օբյեկտներ:



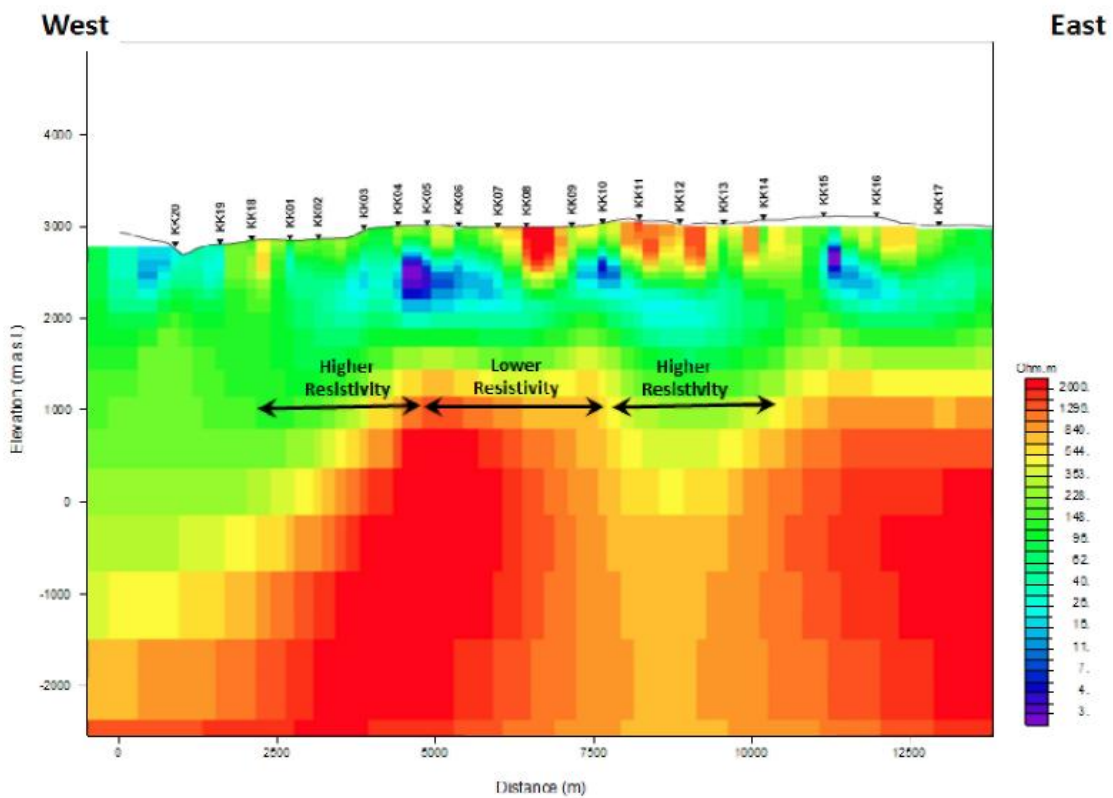
**Նկար 13:** 2D մոդել Նկար 11-ից, որը ցուցադրված է Նկար 12-ից վերցված՝ հաստ կետագծերով սահմանվող մեկնաբանվող օբյեկտների հետ միասին:



**Նկար 14:** «Գեոդիսկ»-ի/ՀՖՀ-ի 2D մոդելը խզվածքների մեկնաբանությամբ: Այս խզվածքները կապակցված են «վուլ-ապարտ» ավազանի հետ: Նկարը շրջվել է այնպես, որպեսզի համընկնի «Վեստերն Ջիկո»-ի հաշվետվությունում ներկայացված նկարների հետ:



**Նկար 15:** Դիմադրությունը 1000 մ բարձրության վրա՝ քաղվածք 3D մոդելից («Վեստերն Ջիկո»-ի հաշվետվություն, Պլանշետ 2գ, 2011թ նոյեմբեր): Ցուցադրված է նաև ցածր դիմադրությունների Գոտի A-ն, ինչպես նկարագրված է հաշվետվությունում:

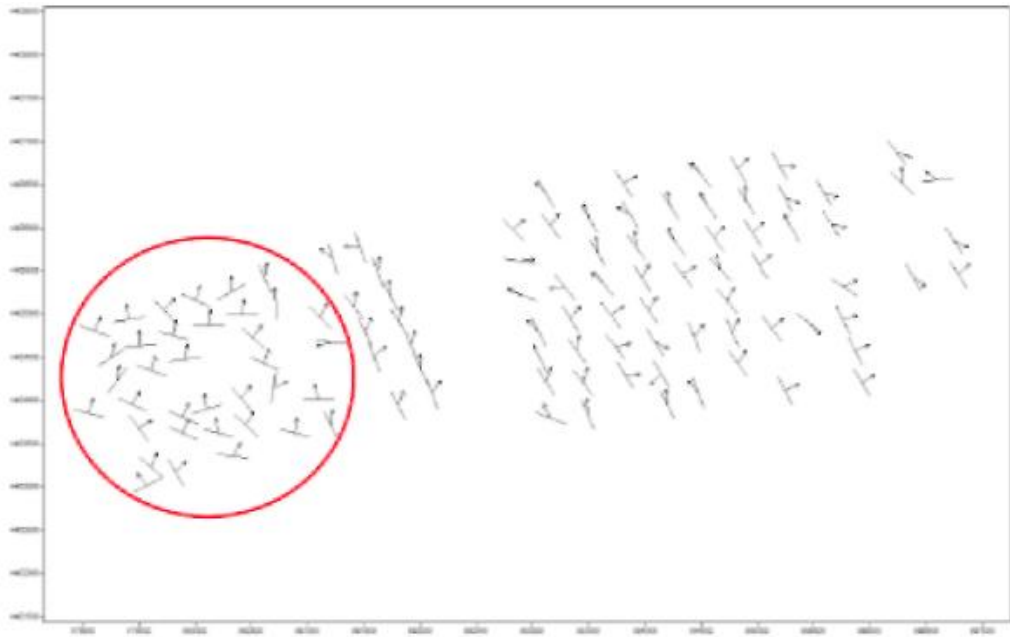


**Նկար 16:** Երկչափ 2D մոդել, որը ցույց է տալիս, որ նրա տարածայնությունները 3D մոդելի հետ գտնվում են 1000 մ բարձրության վրա: «Ցածր դիմադրություն» նշվող շրջանը՝ դա ցածր դիմադրությունների Գոտի Ա-ն է Նկար 15-ում:

## 2.5 Այլ դիտողություններ և վերլուծություն 3D մոդելի վերաբերյալ

Վերադառնալով Նկար 5-ին և համեմատելով 2004թ ՄՏ հանույթի տեղադիրքերը 2009թ ՄՏ հանույթի կետերի հետ, որոնք ներկայացված են Նկար 3-ում, ինչպես նաև 2011թ ՄՏ հանույթի դիրքերը՝ ըստ Նկար 4-ի և 6-ի՝ համապատասխանաբար 2009թ հանույթի հետ, կարելի է վերլուծել ինդուկցիայի սլաքները թե՛ 2004թ. և թե՛ 2011թ. թվականների դեպքում:

Նկար 17-ը ցույց է տալիս տարածման ուղղվածությունը և ինդուկցիայի սլաքները “Վեստերն Ջիկո”-ի հաշվետվությունից: Այն շրջանը, որը “Վեստերն Ջիկո”-ի հաշվետվությունում ուրվագծվում է կարմիր օղակով, համարվում է անոմալ, և հակիրճ քննարկվում է որպես իրենց ուսումնասիրված տարածքի արևմտյան հատվածում բազմաչափայնության օրինակ: Այնուամենայնիվ ի նկատի ունեցեք, որ այդ սլաքների մեծ մասը ուղղված են դեպի հյուսիս-արևելք, ինչը հուշում է, որ հարավ-արևմտյան ուղղությամբ գոյություն ունի հաղորդիչ մարմին: Այդ սլաքները հաշվարկվել են 100 վ տվյալներից, որոնք այդ տարածքում ունեն դիմադրության արժեքների առնվազն 15 կմ “սկին”-էֆեկտ: Դա համապատասխանում է Նկար 16-ում ներկայացված՝ երկչափ 2D մոդելի արևմտյան մասում, խորության վրա գտնվող ցածր դիմադրությանը: Դա ևս մի նշան է, որ 2D մոդելը կարող է ավելի ճշգրիտ լինել արևմուտքում՝ դեպի տաք աղբյուրների տարածքը:

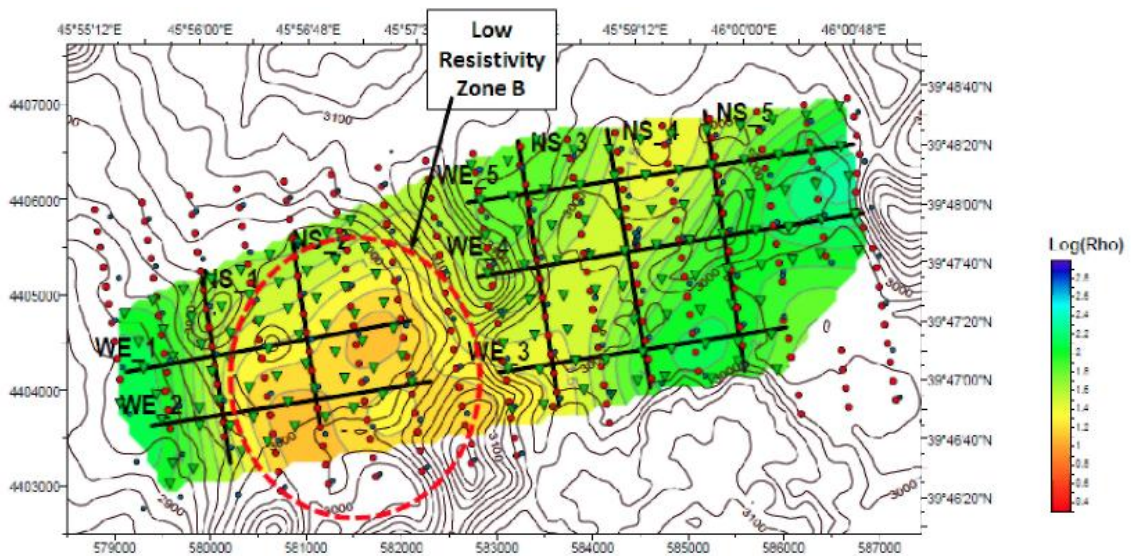


**Նկար 17:** «Թիպեր-ստրայկ» տարածում և ինդուկցիայի սլաքներ 100 վ դեպքում (ըստ “Վեստերն Ջիկո”-ի հաշվետվության (2011թ), Նկար 3): Ցուցադրված է նաև կարմիր օղակ, որով ուրվագծվում է անոմալ տարածք, ինչպես դա նշվում է “Վեստերն Ջիկո”-ի հաշվետվությունում:

Նկար 18-ը ցույց է տալիս 3D մոդելի դիմադրությունները ծ.մ. 2000 մ բարձրության վրա: Ի լրումն դրան նկարը ցույց է տալիս ցածր դիմադրությամբ գոտի՝ «Գոտի B» նշանով: Պարզվում է, որ այդ ցածր դիմադրության գոտին որոշակի կոռելյացիա ունի տեղագրական իջվածքի հետ: Նկար 5-ում, B Գոտուց դեպի հարավ-արևմուտք ինդուկցիայի սլաքներից շատերը ուղղված են դուրս՝ դեպի հարավ-արևմուտք, դարձյալ հաստատելով, որ այդ հաղորդիչ շրջանը՝ Գոտի B-ն՝ իսկապես

ներկա է: 2004 թվականի տվյալները հաշվարկվել են 10 վ պարբերությունով, ինչը տալիս է մոտավորապես 10 կմ “սկին”-խորություն և ինչը համապատասխանում է այդ վերլուծություններին:

Դրանով եզրափակում ենք “Վեստերն Ջիկո”-ի 3D մոդելի և 2009թ. “Գեոոիսկ”-ի/ՀՖՀ-ի 2D մոդելի հետ 3D մոդելի հարաբերակցության վերլուծությունը: Ինչպես նշվել է վերևում, ապացուցված է, որ 2004թ մոդելավորումը համապատասխանում է “Գեոոիսկ”-ի/ՀՖՀ-ի 2D մոդելին:



**Նկար 18:** Դիմադրությունը 2000 մ բարձրության վրա. Քաղված է 3D մոդելից (Վեստերն Ջիկո”-ի հաշվետվության (2011թ), Պլանշետ 2e): Բացի այդ ներկայացված է ցածր դիմադրությունների Գոտի B-ն, ինչպես դա նկարագրվում է տեքստում:

### 3. Գրավիմետրիա /Ծանրաչափություն/

#### 3.1 Ներածություն

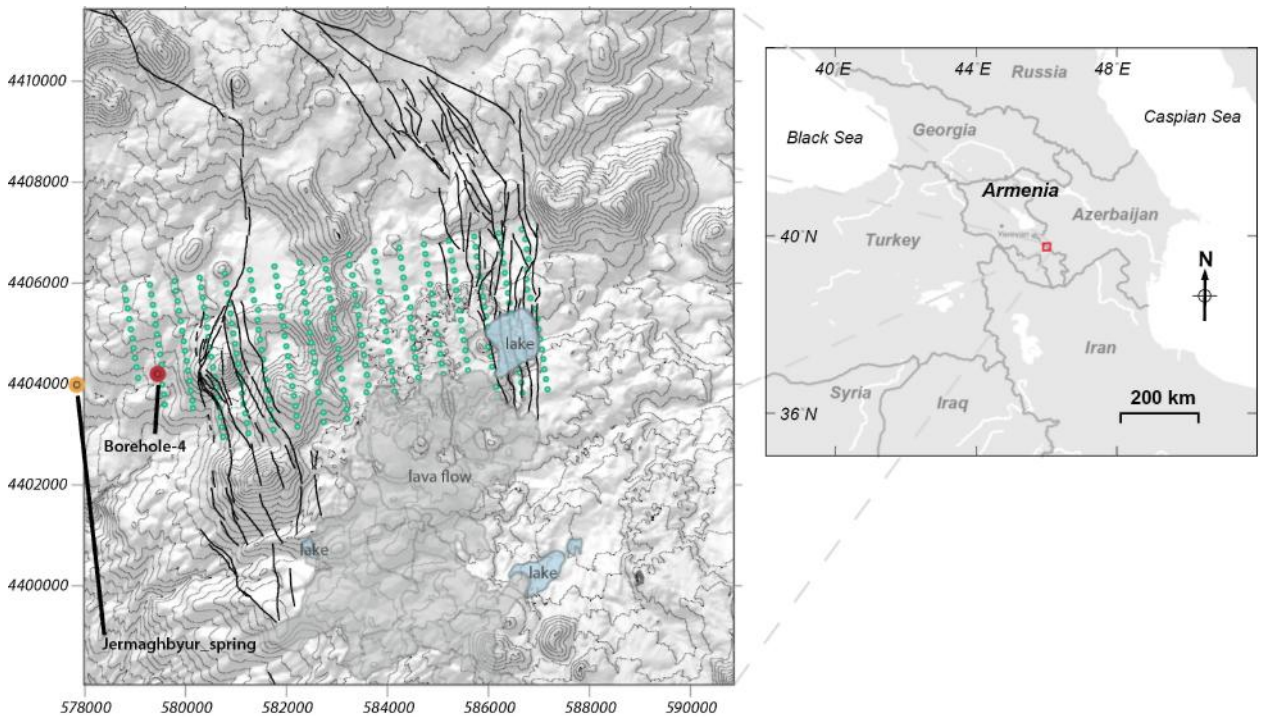
Ծանրաչափական անոմալիաներ ստեղծում են երկրաբանական կառույցները, որոնք Երկրի կեղևում առաջացնում են կողմնային /լատերալ/ խախտումներ: Օրինակ, խզվածքներ կարող են հպման մեջ բերել տարեր խտությունների ապարներ և արդյունքում ծանրաչափական անոմալիաները (օրինակ, ծանրության ուժի գրադիենտի փոփոխություն) հաճախ կապակցված են խզվածքների հետ: Ծանրաչափական չափումներ իրենց մեջ ընդգրկում են առանձին գրավիմետրական կայաններում տվյալների գրանցում, որոնց համար որոշված են թե՛ ծանրության ուժի համեմատական փոփոխությունը և թե՛ նրանց ճշգրիտ դիրքը (հորիզոնական և ուղղահայաց): Քարքարի երկրաչեփմային գնահատման համար “Վեստերն Ջիկո”-ն կատարել էր ծանրաչափական հանույթ համեմատաբար փոքր տարածքով սփռվող ցանցի հիման վրա, որը գտնվում է հետքորություն ներկայացնող շատ ավելի լայն տարածքի սահմաններում: Այս ծանրաչափական քարտեզը կազմվել էր հետևյալ

նպատակներով. (i) հայտնաբերել խզվածքներով սահմանագծվող հնարավոր ավազանների հետ կապակցված երկրաբանական խախտումներ, (ii) ապահովել տվյալներ ուսումնասիրվող տարածքում ավազանների խորությունը /-ները/ որոշելու համար, քանի որ դա ամենակարևոր պարամետր է ստորգետնյա ջրերի շրջանառությունը և տաքացումը հասկանալու համար, և (iii) համեմատել ծանրաչափական անոմալիաներ (և արդյունքում մշակված մոդելներ) դիմադրությունների անոմալիաների հետ, որոնք հայտնաբերվել են 3D մագնիսատելուրային (US) հանույթի և մոդելավորման աշխատանքի շրջանակներում: Տարածաշրջանում ծանրաչափական անոմալիաների ծագումը հիմնականում կապված է խտությունների կոնտրաստի հետ, որն առաջանում է Հորատանցք 4-ի մեջ գրանցված քվարց-մոնցոնիտի և ուսումնասիրվող շրջանում քարտեզագրված՝ խզվածքներով սահմանագծվող ավազանը լցնող լավային հոսքի և այլովիալ /գետաբերուկային/ փաթեթի ապարների միջև:

“Վեստերն Ջիկո”-ի ծանրաչափական դիտարկումների տվյալների հավաքածուն ներառել էր 257 գրավիմետրական չափումներ և առանձին կայաններ, որոնք իրականացվել են “Վեստերն Ջիկո”-ի կողմից: Տվյալները գրանցվել էին մոտավորապես կանոնավոր ցանցով (Նկար 19): Նկատվող ցածր գրավիմետրական անոմալիան հավանաբար արդյունք է ցածր խտություն ունեցող նստվածքի և համեմատաբար ցածր խտության լավային հոսքերի ներկայության, որոնք լցնում են հովիտը: Հովիտը առաջացրել են Հյուսիս-Հարավ ձգվող ավազանը սահմանագծող խզվածքները: Խզվածքների երկայնքով քվարց-մոնցոնիտը կամ հիմքի կապակցված ապարները հպվում են ավելի փոքր դիմադրություն ունեցող ապարների հետ:

Հաջորդ բաժիններում մենք.

1. Վերլուծում ենք “Վեստերն Ջիկո”-ի կողմից կիրառված նմուշարկման ընթացակարգերը;
2. Ավարտում ենք ծանրաչափական տվյալների ձևափոխությունները, օգտագործելով “Վեստերն Ջիկո”-ի տվյալների հավաքածուն և մի շարք Բուգեի խտություններ, և համեմատում ենք արդյունքները տեղագրական հատկությունների հետ, այդպիսով հայտնաբերելով Բուգեի խտությունների համապատասխան ընդգրկույթ՝ մոդելավորման աշխատանքի համար;
3. Կատարում ենք “Վեստերն Ջիկո”-ի տվյալների հավաքածուի բարձր չափայնության ծանրաչափական ինվերսիա, կիրառելով մի շարք տարբեր Բուգեի խտություններ՝ ավազանի երկրաբանական մոդել կառուցելու նպատակով;
4. Համեմատում ենք մոդելի արդյունքները US արդյունքների հետ և քննարկում ենք մոդելի համեմատությունը և ներգործությունը՝ հիդրոջերմային մոդելի մշակման վրա:



**Նկար 19:** Ծանրաչափական կայանների տեղադիրքեր “Վեստերն Ջիկո”-ի կողմից ստեղծված հանույթի ցանցում (հոծ օղակներ): Քարտեզագրված խզվածքները ցույց են տրված հաստ հոծ գծերով. Տեղագրությունը ուրվագծվում է նուրբ հոծ գծերով` DEM-ի / բարձրությունների թվային մոդելի/ ստվերային ռելիեֆի վրա տեղադրմամբ: Հորատանցք 4-ը (հոծ կարմիր օղակ) գտնվում է այս ցանցի արևմտյան հատվածում: Նույնպես նշված են լճեր և երիտասարդ (հոլոցենային?) լավային հոսքը: Տաք աղբյուրները գտնվում են ցանցի արևմուտքում: UTM պրոյեկցիան` WGS84 է:

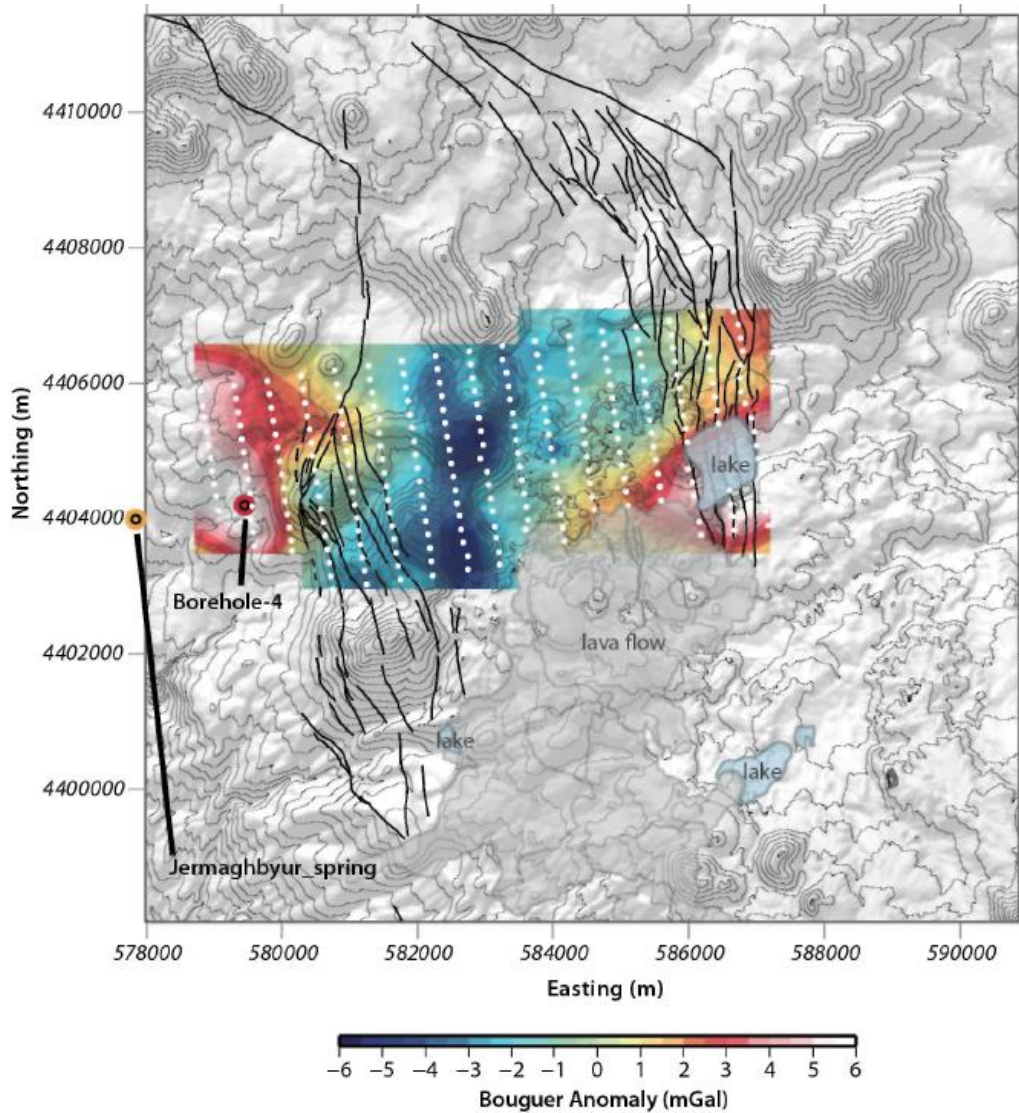
### 3.2 Ծանրաչափական տվյալներ

Ճանրաչափական տվյալները գրանցվել էին “Վեստերն Ջիկո”-ի կողմից 2011թ ամռանը: Դաշտային ընթացակարգերի վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ “Վեստերն Ջիկո”-ի աշխատակազմը գերազանց աշխատանք է կատարել բարձր լուծունակության ծանրաչափական տվյալների հավաքագրման գործում: Սարքերի դրեյֆը /տեղաշարժը/ թվում է նվազագույն է եղել: Հաջողվել է հասնել ծանրաչափական կայանների բարձրության ուղղահայաց մեծ ճշգրտության: Թեև հաշվետվությունում մանրամասն չեն ներկայացվել ռելիեֆի գործոնով ճշտումները, հատկապես չի գրվել այն մասին, թե ինչպես տեղական ռելիեֆի տարբերությունները հաշվի են առնվել ըստ ռելիեֆի թվային մոդելի (DEM) կատարված ճշտման մեջ, կարծում ենք, որ “Վեստերն Ջիկո”-ի մոտեցումը հիմնավորված է եղել (ինչի արդյունքում ճշտումները ըստ ռելիեֆի ընդհանուր առմամբ եղել են  $< 1$  միլիգալ, Նկար 20):

### 3.3 Ծանրաչափական ձևափոխություններ

Ծանրաչափական ձևափոխությունները, հատկապես Բուգեի ճշտումների համար խտության արժեքի ընտրությունը, կարևոր ազդեցություն ունեն մոդելավորման վրա: “Վեստերն Ջիկո”-ի աշխատակիցները կիրառեցին  $2700 \text{ կգ.մ}^{-3}$  խտությունը Բուգեի խտության համար: Դա ավելի մեծ արժեք է, քան սովորաբար օգտագործվում է

տեղական ծանրաչափական հանույթներում, և կարող է հանգել համապատասխանության՝ մոդելավորվող երկրաբանական օբյեկտների և տեղագրության միջև՝ ինչպես նշված է “Վեստերն Ջիկո-ի” հաշվետվությունում: Փաստորեն, Նկար 20-ի ստուգումը հուշում է, որ որոշակի կոռելյացիա իսկապես գոյություն ունի, հատկապես Հյուսիս-Հարավ տարածվող ցածր գրավիմետրական արժեքների և քարտեզի տարածքի կենտրոնական մասում տեղագրական շրթայի միջև: Հաշվի առնելով դա, մենք նախաձեռնեցինք ծանրաչափական ձևափոխությունների կրկնում, օգտագործելով մի շարք Բուգեի խտություններ և “Վեստերն Ջիկո”-ի հաշվետվությունում ներկայացված տվյալներ՝ նպատակ դնելով գնահատել այդ ենթադրության (2700 կգ մ<sup>-3</sup> որպես Բուգեի խտություն) ազդեցությունը մոդելի արդյունքների վրա:



**Նկար 20.** Բուգեի լիարժեք անոմալիան, որը քարտեզագրվել է “Վեստերն Ջիկո”-ի աշխատակիցների կողմից (գունավոր ստվերով շրջան): Ներկայացված քարտեզագրված խզվածքները ցուցադրվում են հոծ հաստ գծերով; տեղագրական ուրվագծերը կատարված են բաց գույնի հոծ գծերով; DEM-ի / բարձրությունների թվային մոդելի/ ստվերային ռելյեֆի վրա տեղադրմամբ/։ Հորատանցք 4-ը (հոծ կարմիր օղակ) գտնվում է այս ցանցի արևմտյան հատվածում: Լճեր և երիտասարդ (հոլոցենային?) լավային հոսքը նույնպես նշված են: Տաք աղբյուրները գտնվում են ցանցի արևմուտքում: UTM պրոյեկցիան՝ WGS84 է:

**Ճշտումներ դրեյֆի և մակընթացության գործոններով:** «Վեստերն Ջիկո»-ի աշխատակիցների հաշվետվությունում հայտնվում է, որ սարքերը աշխատել են փոքր դրեյֆով /տեղաշարժով/, որը նմուշարկման ընթացքում հավանաբար եղել է գծային տեսքի: Օգտագործված ծանրաչափական սարքում մակընթացության ճշտումները կատարվում են ինքնաբերաբար, Լոնգմանի բանաձևերի կիրառմամբ: Մենք չունենք այդ տեղեկություններ և անհրաժեշտ չենք համարում վերահաշվարկել դրեյֆի և մակընթացության ճշտումները:

**Տեսական ծանրության ուժ (մԳալ):** Ծանրության ուժի արժեքը տատանվում է ըստ լայնության՝ Երկրի տրամագծի և անկյունային արագացման արժեքի լայնության հետ փոփոխման պատճառով: Ծանրության ուժի փոփոխությունը լայնության հետ՝ դա տեսական ծանրության ուժն է: Մենք կիրառում ենք Սոմիլյանայի /Somigliana/ փակ ձևի լուծում տեսական ծանրության ուժը հաշվարկելու նպատակով.

$$g_T = \frac{g_e(1 + k \sin^2 \phi)}{(1 - e^2 \sin^2 \phi)^{\frac{1}{2}}}, \quad (1)$$

որտեղ  $g_T$ ՝ տեսական ծանրության ուժն է GRS80 հարաբերակցական էլիպսոիդում  $\phi$  լայնության վրա,  $g_e$  - նորմալ ծանրության ուժն է հասարակածում, 978032.67715 մԳալ-ին հավասար,  $k$  – դա հաշվարկային չափագուրկ հաստատուն մեծություն է՝ 0.001931851353, իսկ  $e$  – առաջին թվային էքսցենտրիսիտետն է, ուր  $e^2$  ունի 0.0066943800229 արժեքը:

**Ճշտում Ազատ Օդի գործոնով (մԳալ):** Հենակայանի և չափման կետի միջև եղած բարձրության տարբերությունը արդյունքում առաջացնում է ծանրաչափական արագացման տարբերություն: Ազատ օդի ճշտումը կիրառվում է ծանրության ուժի չափման բարձրությամբ պայմանավորված տարբերությունը հաշվի առնելու նպատակով: GRS80 էլիպսոիդի դեպքում երկրորդ կարգի բանաձևը ազատ օդի ճշգրիտ ճշտման համար հետևյալն է.

$$\delta g_h = -(0.3087691 - 0.0004398 \sin^2 \phi)h + 7.2125 \times 10^{-8} h^2; \quad (2)$$

որտեղ ազատ օդի ճշտումը՝  $\delta g_h$ -ը՝ հաշվարկվում է միլիգալերով և  $h$ -ը՝ ծանրաչափական կայանի էլիպսոիդ բարձրությունն է մետրերով:

**Մթնոլորտային ճշտում (մԳալ):** Մթնոլորտի քաշը տատանվում է ըստ բարձրության և այդ փոփոխությունը անդրադառնում է ծանրաչափական չափումների վրա: Մթնոլորտային ճշտումը հաշվի է առնում մթնոլորտի քաշի փոփոխությունը՝ էլակետային /բազիսային/ կայանի և չափման կետի միջև: Մթնոլորտային ճշտման համար բանաձևը հետևյալն է.

$$\delta g_{atm} = 0.874 - 9.9 \times 10^{-5} h + 3.56 \times 10^{-9} h^2, \quad (3)$$

ուր մթնոլորտային ճշտումը՝  $\delta g_{atm}$ -ը, ներկայացվում է միլիգալերով, իսկ  $h$ -ը՝ ծանրաչափական կայանի էլիպսոիդ բարձրությունն է մետրերով:



**Բուգեյի ճշտում (մԳ-այ):** Բուգեյի ճշտումը հաշվի է առնում ելակետային կայանի և չափման կետի միջև երկրակեղևի միջին զանգվածը՝ երբ հայտնի է նրանց միջև բարձրության տարբերությունը: Այստեղ օգտագործված Բուգեյի ճշտումը հաշվի է առնում ապարների զանգվածի գնդաձև «գլխարկի» տեսքը, ինչպես նկարագրվում է LaFehr (1991) աշխատությունում: Բուգեյի ճշտման բանաձևը հետևյալն է.

$$g_{sc} = 2\pi G\rho[(1 + \mu)h - \lambda R], \quad (4)$$

ուր  $g_{sc}$ ՝ դա միլիգալերով արտահայտվող ծանրաչափական ճշտումն է գնդաձև «գլխարկի» գործոնով,  $\rho$ ՝ դա գնդաձև «գլխարկ» կազմող նյութի խտությունն է,  $\mu$  և  $\lambda$ ՝ դա չափագուրկ գործակիցներ են, իսկ  $R = R_0 + h$ , որտեղ  $R_0$ ՝ դա Երկրի միջին տրամագիծն է, իսկ  $h$ -ը՝ դա ծանրաչափական կայանի բարձրությունն է հարաբերակցության էլիպսոիդում:

**Ճշտում ռեյեֆի գործոնով (մԳ-այ):** Ազատ օդի և Բուգեյի ճշտումները լիարժեք չեն հաշվառում տեղագրական ազդեցությունները ծանրաչափական չափումների վրա: Ճշտումը ըստ ռեյեֆի հաշվի է առնում այն տարբերությունները, որոնք առաջացնում է փաստացի ռեյեֆը, և պահանջվում է ԲԹՄ-ի իրականացման ժամանակ: «Վեստերն Ջիկո»-ն կատարել է ռեյեֆի գործոնով ճշտումները, օգտագործելով ԲԹՄ /DEM/ և բարձրությունների տարբերություններ, չափված յուրաքանչյուր ծանրաչափական կայանին մոտ՝ 2700 կգ. մ<sup>-3</sup> Բուգեյի խտության կիրառմամբ:

«Վեստերն Ջիկո»-ի հաշվետվությունից մենք չենք կարող հստակ պատկերացնել, թե ինչպես է կատարվել ռեյեֆի ճշտման հաշվարկը: Սովորաբար ներքին գոտու ճշտումը հաշվի է առնում տեղագրական տատանումը Համերի C գոտու սահմաններում, <53.3 մ ճանրաչափական կայանից հաշված, և հաշվարկվում է օգտագործելով Nowell (1999) աշխատությունում նկարագրվող «քառորդ-սեպի» մեթոդը՝ Campbell (1980) մեթոդի աստիճանական մոտարկման /ապրոքսիմացիայի/ կատարելագործված տարբերակը: Միջանկյալ գոտու ճշտումը սովորաբար իրականացվում է ԲԹՄ-ի /DEM/ ցանցի այն կետերի համար, որոնք ընկնում են Համերի D գոտու, >53.3 մ, և Համերի K գոտու արտաքին շառավիղի՝ 9903 մ, միջև: Տեղանքի գործոնով այդպիսի շտկումը կատարվում է օգտագործելով պարզեցված գրավիմետրական ձգողություն՝ փակ օղակին մոտարկված պրիզմայի նկատմամբ, որի մեթոդը նկարագրված է Kane (1962) աշխատանքում: Հեռու դաշտի ռեյեֆի ճշտումը սովորաբար իրականացվում է >9903մ տեղագրական տատանման դեպքում ընդհուպ մինչև մոտքագրվող ԲԹՄ-ի տարածական սահմանները (եթե կիրավում է SRTM-ից ածանցյալ ԲԹՄ, ապա մինչև 163 կմ): Հեռու դաշտի ճշտման այդպիսի տարվերակը իրականացվում է ուղղահայաց գծային զանգվածի մոտարկման միջոցով, որը նկարագրվում է Blais և Ferland (1984) աշխատությունում և համապատասխանում է հեռու դաշտում պրիզմայի առկայությամբ պայմանավորված՝ ծանրաչափական ձգողականության մոտարկմանը:

**Ծանրաչափական ձևափոխությունների վերահաշվարկը:** Մենք վերահաշվարկել ենք ծանրաչափական ձևափոխությունները, օգտագործելով Հավասարումներ 1 – 4: Այդ ընթացակարգի միջոցով ստուգեցինք «Վեստերն Ջիկո»-ի աշխատակիցների հաշվետվությունում ներկայացված՝ Բուգեյի լրիվ ծանրաչափական

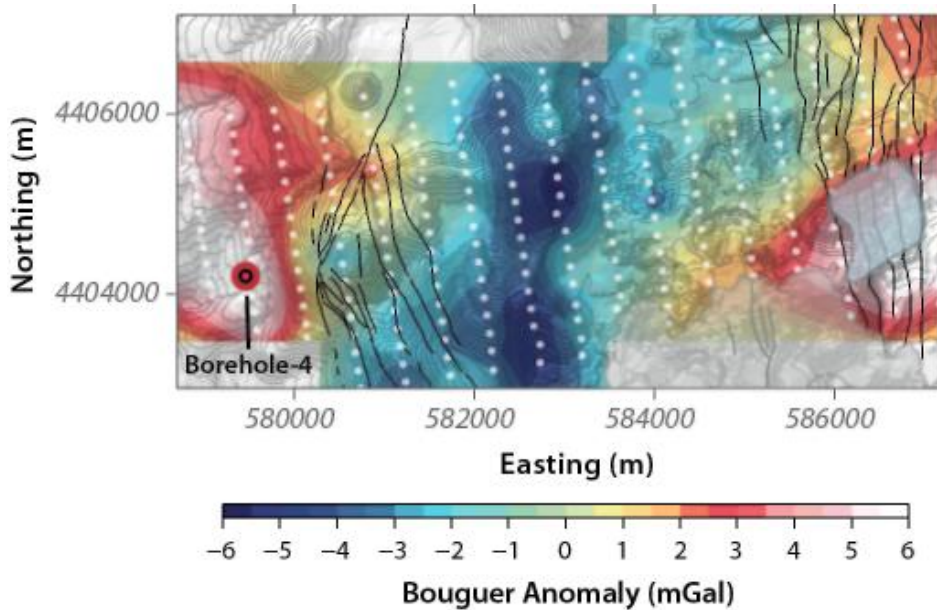
անոմալիան, կիրառելով 2700 կգ.մ<sup>-3</sup> Բուգեի խտություն: Քանի որ մեզ ամենից շատ հետաքրքրում է ծանրության ուժի դաշտի տեղական տատանումը (այլ կերպ ասած՝ ուսումնասիրվող տարածքի սահմաններում), հաշվարկվել է մնացորդային ծանրաչափական անոմալիան՝ հանելով Բուգեի լրիվ անոմալիան (այն անոմալիան, որը ստացվել է ռեյեֆի ճշտումը կիրառելուց հետո) տարածաշրջանում ենթադրվող միտումից, որը իր հերթին գնահատվել է հարթություն հարմարեցնելով Բուգեի լրիվ անոմալիայի քարտեզին նվազագույն քառակուսիների ընդհանրացված մեթոդի կիրառմամբ (Նկար 21): Նկար 21-ի ստուգումը հուշում է, որ կա որոշակի կոռելյացիա Բուգեի լրիվ ծանրաչափական անոմալիայի և տեղագրության հետ, ինչի մասին վկայում են հատկապես ցածր գրավիմետրական արժեքները, որոնք կապակցված են քարտեզի կենտրոնական մասով Հյուսիս-Հարավ ձգվող տեղագրական «կատարի» հետ: Տեղագրության հետ այդ կոռելյացիան թույլ է տալիս ենթադրել, որ 2700 կգ.մ<sup>-3</sup> Բուգեի խտությունը մեծ արժեք է և որ տեղական ծանրաչափական մոդելավորման մեջ օգտագործման համար ավելի նպատակահարմար են Բուգեի ավելի փոքր խտություններ: Դա կարևոր է, քանի որ Բուգեի խտության ընտրությունը կարող է բացասաբար անդրադառնալ ծանրաչափական տվյալներից ստացվող՝ ավագանի հաշվարկային խորության վրա, իսկ վերջինը գլխավոր պարամետրերից է հիդրոջերմային մոդելում:

Ուշադրություն ենք դարձնում այն հանգամանքի վրա, որ տեղագրական պատկերը տեղամասի շրջակայքում պայմանավորված է լավային հոսքերի տեղադրումով: Գրականության մեջ գոյություն ունեն լավային հոսքի ծավալային խտության հազվադեպ չափումներ: Հավայան կղզիներում բազալտի խտության չափումները հորատանցքներում կազմել են 2000-3000 կգ.մ<sup>-3</sup>, իսկ 2500 կգ.մ<sup>-3</sup> միջին արժեքը ստացվել է ջրահագեցած լավային հոսքերի համար (Moore, 2001): Այսպիսով, անկախ նրանից, որ բազալտի նմուշներ ունենում են 2700-3000 կգ.մ<sup>-3</sup> կարգի խտություններ, լավաների ծավալային խտությունը պակաս է, հաշվի առնելով ճեղքերի և հոսքի բշտիկացման եֆեկտի ներկայությունը: Քարքարում լավային հոսքերի խտությունը պետք է այդ թվին մոտ լինի, կամ գուցե՝ փոքր ինչ պակաս լինի մասամբ հագեցված ապարների դեպքում, որոնք ստեղծում են տեղագրական բարձունքներ ուսումնասիրվող տեղական տարածքում:

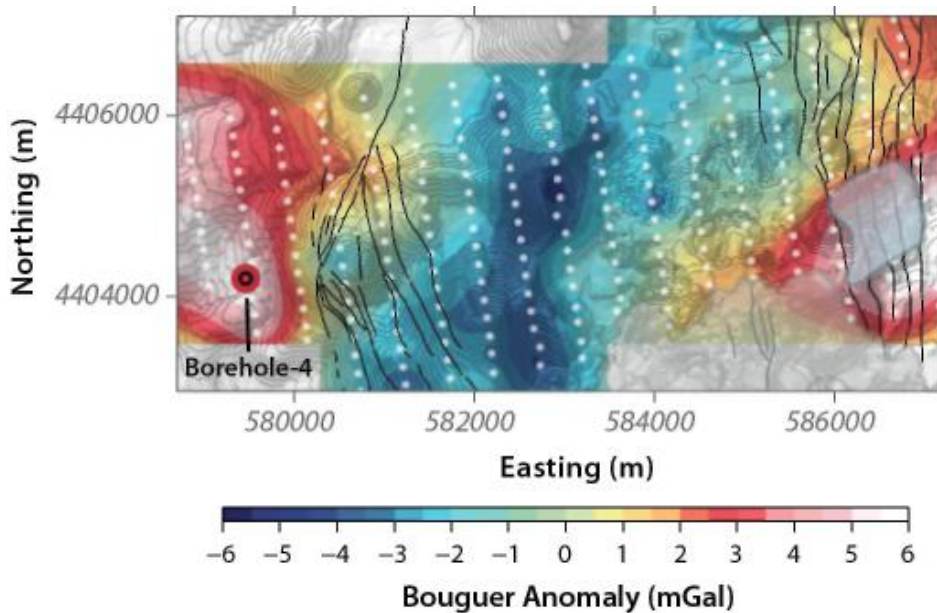
Ուստի վերահաշվարկեցինք ծանրաչափական ձևափոխությունները, կիրառելով Բուգեի խտության ավելի փոքր արժեքների ընդգրկույթ՝  $2200 \text{ կգ.մ}^{-3} < \rho < 2700 \text{ կգ.մ}^{-3}$ : Օգտագործեցինք «Վեստերն Ջիկո»-ի հաշվարկած ռեյեֆի ճշտումները՝ 2700 կգ.մ<sup>-3</sup> արժեքի կիրառմամբ, քանի որ չունեինք տեղանքի մասին տեղեկություններ, հատկապես Համերի ներքին գոտու համար: Դա հանգում է տեղանքի եֆեկտների շատ չնչին գերճշտմանը, երբ կիրառվում են ավելի փոքր Բուգեի խտություններ: Այնուամենայնիվ ուզում ենք նշել, որ ռեյեֆի ճշտման մեջ մտած սխալը շատ փոքր է ( $\ll 1$  միլիգալ), ուստի այն նշանակություն չունի հաշվարկային անոմալիայի ամպլիտուդի համեմատությամբ:

22, 23, and 24 Նկարները ցույց են տալիս այդպիսի վերահաշվարկի արդյունքները՝ ավելի փոքր Բուգեի խտությունների կիրառմամբ. ամեն անգամ տվյալներից հանվում է օպտիմալ հարթությունը: Քարտեզների ուսումնասիրությունը ցույց է տալիս, որ տեղագրության հետ կոռելյացիան նվազագույն է դառնում, երբ օգտագործվում են  $2300 \text{ կգ.մ}^{-3} < \rho < 2550 \text{ կգ.մ}^{-3}$  Բուգեի խտություններ: Համեմատաբար ցածր Բուգեի խտությունների դեպքում (օրինակ՝  $\rho = 2200 \text{ կգ.մ}^{-3}$ ),

հայտնվում է հակա-կոռելյացիա տեղագրության հետ: Հետագա քննարկման մեջ մենք կառուցում ենք առաջադեմ մոդել, օգտագործելով Բուգեի լրիվ անոմալիա, որը հաշվարկվել է 2550 կգ.մ.<sup>-3</sup> Բուգեի խտությամբ, միաժամանակ ընդունելով, որ կարելի է նաև օգտագործել փոքր ինչ ավելի ցածր արժեքներ:

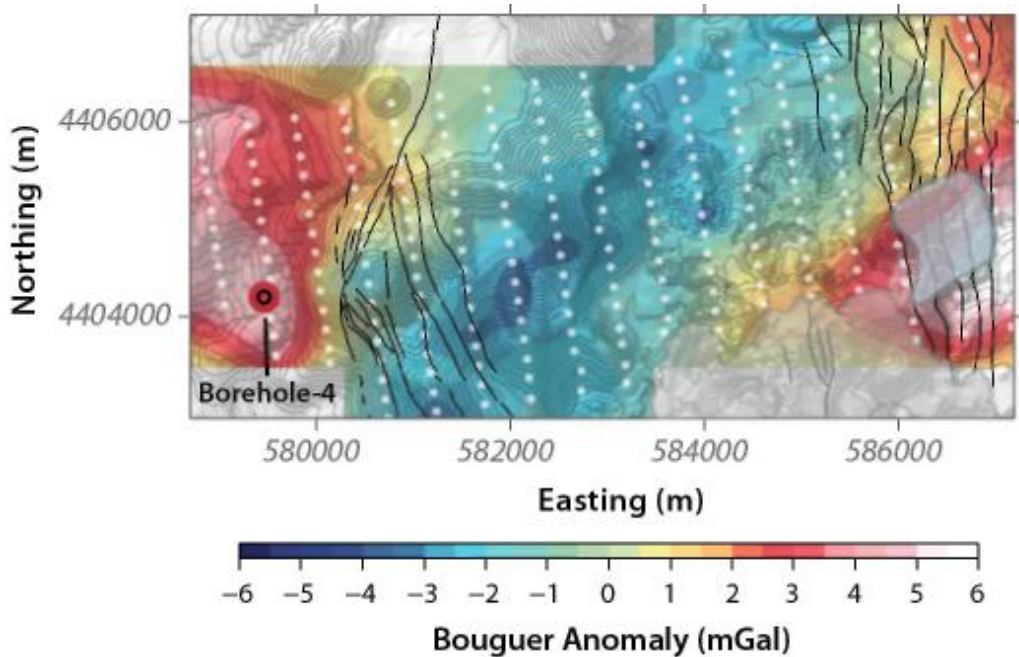


**Նկար 21:** Բուգեի ծանրաչափական լրիվ անոմալիա (գունային ստվերով պատված), որը հաշվարկվել է 2700 կգ.մ.<sup>-3</sup> խտության կիրառմամբ, հանելով լավագույն համապատասխանության /օպտիմալ/ հարթությունը: Ուշագրավ է ծանրաչափական անոմալիաների կոռելյացիան տեղագրության հետ (ուրվագծեր), ինչը նշանակում է, որ այդ Բուգեի խտությունը մեծ է: Քարտեզագրված խզվածքները ցույց են տրված հոծ գծերով, գրավիմետրական կայանները՝ հոծ օղակներով, վերադրված ստվերային ռելեֆով ԲԹՄ-ի /DEM/ վրա: UTM պրոյեկցիան է WGS84-ը:

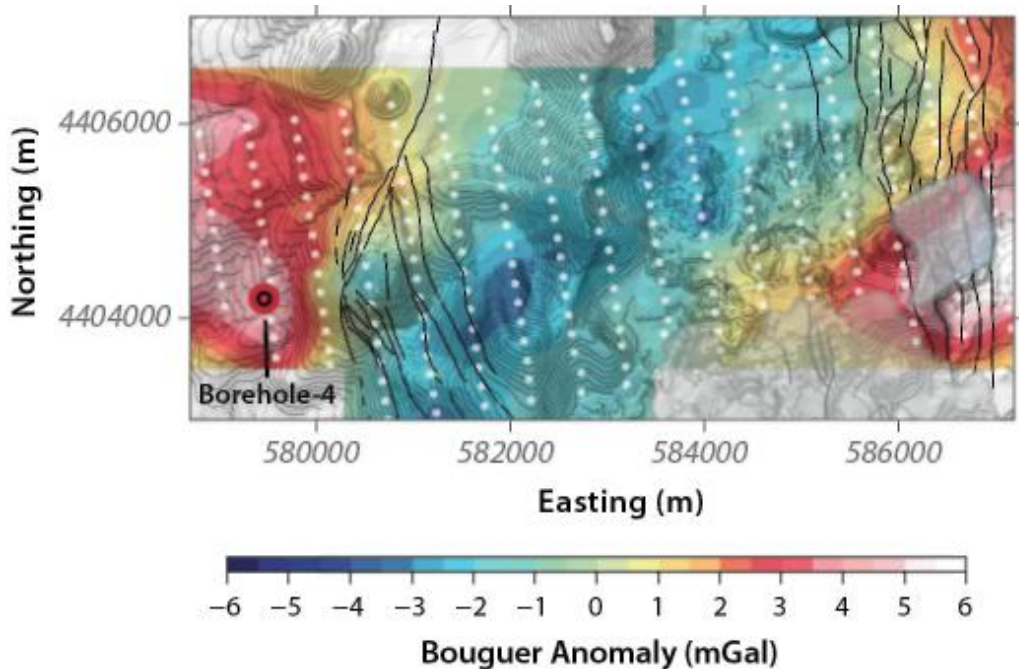


**Նկար 22:** Բուգեի ծանրաչափական լրիվ անոմալիա (գունային ստվերով պատված), որը հաշվարկվել է 2550 կգ.մ.<sup>-3</sup> խտության կիրառմամբ, հանելով լավագույն համապատասխանության

/օպտիմալ/ հարթությունը: Մոդելավորման համար ընտրվել էր լրիվ Բուգեի անոմալի այդ ձևափոխությունը: Քարտեզի մյուս նշանները նույնն են ինչը և Նկար 21-ում:



**Նկար 23:** Բուգեի ծանրաչափական լրիվ անոմալիա (գունային ստվերով պատված), որը հաշվարկվել է  $2300 \text{ կգ.մ}^{-3}$  խտության կիրառմամբ, հանելով լավագույն համապատասխանության /օպտիմալ/ հարթությունը: Բուգեի լրիվ ծանրաչափական անոմալիան լավ չի հարաբերակցվում տեղագրության հետ, հուշելով, որ այդ Բուգեի անոմալիան ընդունելի է մոդելավորման համար: Քարտեզի մյուս նշանները նույնն են, ինչը և Նկար 21-ում:



**Նկար 24:** Բուգեի լրիվ ծանրաչափական անոմալիա (գունային ստվերով պատված), որը հաշվարկվել է  $2200 \text{ կգ.մ}^{-3}$  խտության կիրառմամբ, հանելով լավագույն համապատասխանության

/օպտիմալ/ հարթությունը: Բուգեյի այս լրիվ ծանրաչափական անոմալիան ցուցաբերում է հակա-կոռելյացիա տեղագրության նկատմամբ, հուշելով, որ տվյալ Բուգեյի խտությունը համեմատաբար ցածր է: Քարտեզի մյուս նշանները նույնն են ինչը և Նկար 21-ում:

### 3.4 Ծանրաչափական առաջադեմ մոդել

Առաջադեմ ծանրաչափական մոդելը բաղկացած է 6603 ուղղանկյուն պրիզմաներից, որոնք շարված են ստեղծելու միանման մի ցանց, մոտավորապես կենտրոնացող դիտարկվող գրավիմետրական կայանների տվյալների հավաքածուի կենտրոնում (Նկար 19): Ուղղանկյուն յուրաքանչյուր պրիզման՝ դա 200 մետրանոց քառակուսի է հորիզոնական հարթությունում: Յուրաքանչյուր պրիզման տարածվում է մակերևույթից դեպի որոշակի՝ ինվերսիայի միջոցով արտածվող խորություն: Ամեն մի պրիզմայի խորությունը շտկվում է ինվերսիայի պրոցեսում՝ դիտարկվող լրիվ ծանրաչափական դաշտի և հաշվարկային ծանրաչափական դաշտի միջև տարբերությունները նվազեցնելու նպատակով:

Այս ինվերսիայի համար յուրաքանչյուր պրիզմայի խտությունների կոնտրաստը ամրագրվել է  $-250.0$  կգ.մ.<sup>-3</sup> արժեքով, որը ենթադրաբար ներկայացնում է խտության ծավալային կոնտրաստը մի կողմից՝ հովիտը լցնող նստավածքների, հրաբխաբեկորային նյութերի և ցածր խտությամբ լավային հոսքերի և մյուս կողմից՝ դրանց տակը տեղադրված քվարց-մոնցոնիտի կամ համեմատելի հիմքի միջև: Եթե կիրառվում է Բուգեյի  $2550$  կգ.մ.<sup>-3</sup> խտությունը, ապա դա ենթադրում է քվարց մոնցոնիտի  $2800$  կգ.մ.<sup>-3</sup> խտություն, որը ընդհանրապես ընդունվում է մոտավորապես  $2770$  կգ.մ.<sup>-3</sup> նորմատիվային ծավալային (ոչ ճեղքավոր) խտություն ունենալու համար (Daly, 1935): Այսպիսով, ունենալով ավազանը լցնող ալյուվիի /գետաբերուկային ապարների/ և լավային հոսքի խտության սխալանքները, մոդելի խտությունների կոնտրաստը  $-250.0$  կգ.մ.<sup>-3</sup> աստիճանով ընդունելի է թվում:

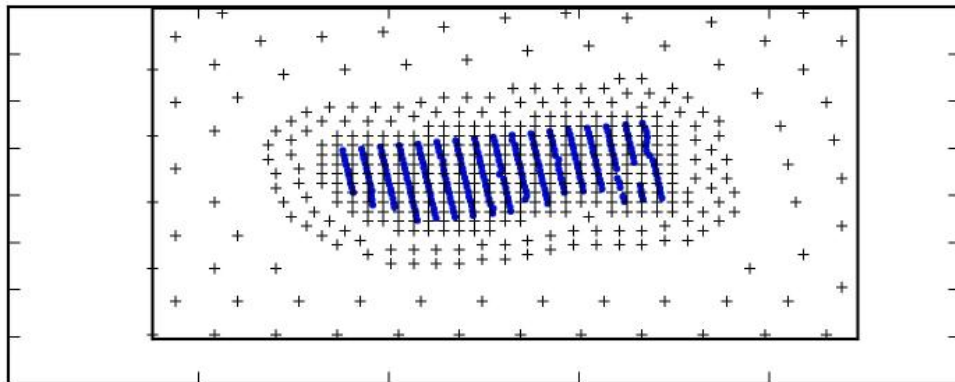
### 3.5 Գրավիմետրական ինվերսիա

Ծանրաչափական տվյալները ըստ խորության բաշխման ինվերսիայի համար օգտագործվել է Գաուսի-Նյուտոնի ընթացակարգը՝ նրա Լեվենբուրգի-Մարքարդտի վերափոխված տարբերակով: Բաշխումը ըստ խորության ներկայացնում է խորությունը մինչև քվարց մոնցոնիտ, այն պայմանով, որ կա ավազանը լցնող նստավածքների և լավային հոսքերի միանման մի փաթեթ: Որպես պարամետրականացման գործիք կիրառվել են փորձնական կետեր՝ ինվերսիայի խնդրի չափայնությունը կրճատելու նպատակով, բայց միաժամանակ առավելագույնս պահպանելով ազատության աստիճանների թիվը: Փորձնական կետերը բաշխվել են կանոնավոր կերպով՝ առաջադեմ մոդելի ամբողջ տիրույթով մեկ, կենտրոնանալով գրավիմետրական կայաններին մոտ (Նկար 25): Ընդհանուր առմամբ առաջադեմ մոդելի ցանցում խորությունների բաշխման պարամետրականացման նպատակով օգտագործվել է 431 փորձնական կետ:

Ավելի շատ ազատության աստիճաններ քան դիտարկումներ ունենալու դեպքում, ինվերսիայի խնդրի կառուցումը դառնում է թերի որոշակիության խնդիր: Այս կարգի խնդիր լուծելու համար պահանջվում է պսևվոդ-հակադարձ լուծում, որը բավարարում է Մուրի-Պենրոուզի պայմաններին. լուծումը կարելի է գտնել

օգտագործելով վերածում ըստ եզակի /սինգուլյար/ արժեքների (SVD) Տիխոնովի կանոնավորման հետ համատեղ: Թեև SVD-ն ու կանոնավորումը արդյունքում ստեղծում են թվային մշակելի մի խնդիր, բայց այն ժամանակ, երբ պարամետրերը ավելի շատ են քան տվյալները, կարգափոխումը /ինվերսիան/ պահանջում է սահմանել տվյալների սխալի, կամ անհամապատասխանության ընդունելի մակարդակ: Հակառակ դեպքում, տեղի է ունենում տվյալների գերհամապատասխանեցում՝ իր մեջ ընդգրկելով տարբեր աղբյուրների աղմուկը: Այնուհետև ինվերսիայի պրոցեսի նպատակն է գտնել կանոնավորման նվազագույն սխալ՝ տվյալների սխալի կամ անհամապատասխանության սահմանված մակարդակում: Ընդունելի անհամապատասխանության տարբեր արժեքներ առաջացնում են ինվերսիայի խնդրի տարբեր լուծումներ: Կատարյալ դեպքում, եթե ընդունվում է, որ դիտարկումների սխալները նորմալ բաշխում ունեն, իսկ առաջադեմ մոդելը չի գոյացնում որևէ կառուցվածքային սխալ (և հանրահաշվական լրացումների մատրիցը դա միավոր մատրիցն է), ապա անհամապատասխանության ընդունելի մակարդակը պետք է լինի դիտարկումների սխալի ստանդարտ շեղման ու դիտարկումների թվի արտադրյալը:

Դիտարկման ընդունված սխալի և կանոնավորման սխալի միջև կոմպրոմիսային /փոխզիջումային/ լուծումը ուսումնասիրելու նպատակով ինվերսիաների պրոցեսը ամփոփվում է բազմանպատակային շրջանակի մեջ: Արդյունքում ստացվում են ինվերսիայի խնդրի մի շարք լուծումներ՝ կանոնավորման սխալի և տվյալների անհամապատասխանության նվազեցված եզակի համադրությունների համար: Այդ եզակի համադրությունները հայտնի են իբրև Պարետոյի օպտիմալ կետեր, իսկ այդպիսի կետերի հավաքածուն կազմում է Պարետոյի սահման, որը քանակական սահմանում է տալիս այդ երկու մրցակից նպատակների փոխզիջմանը:

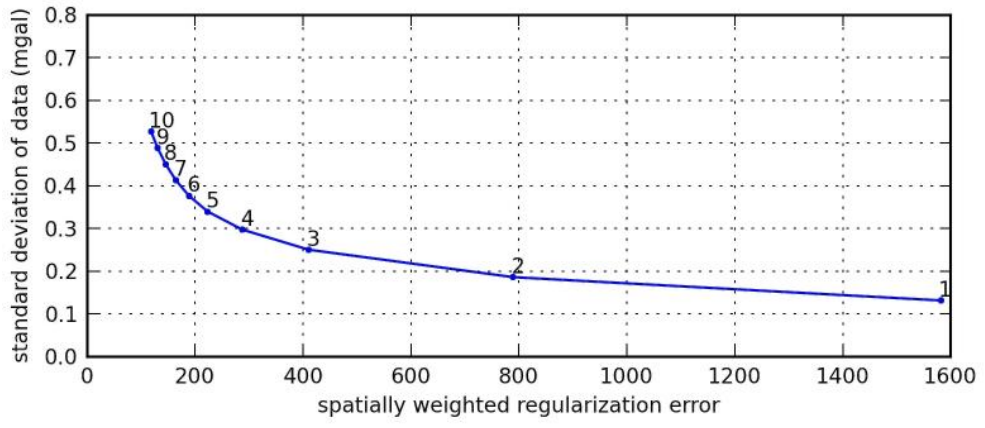


**Նկար 25:** Փորձնական կետերի տեղադիրք (սև խաչեր) և գրավիմետրական կայաններ (կապույտ կետեր) առաջադեմ մոդելի տիրույթի սահմաններում:

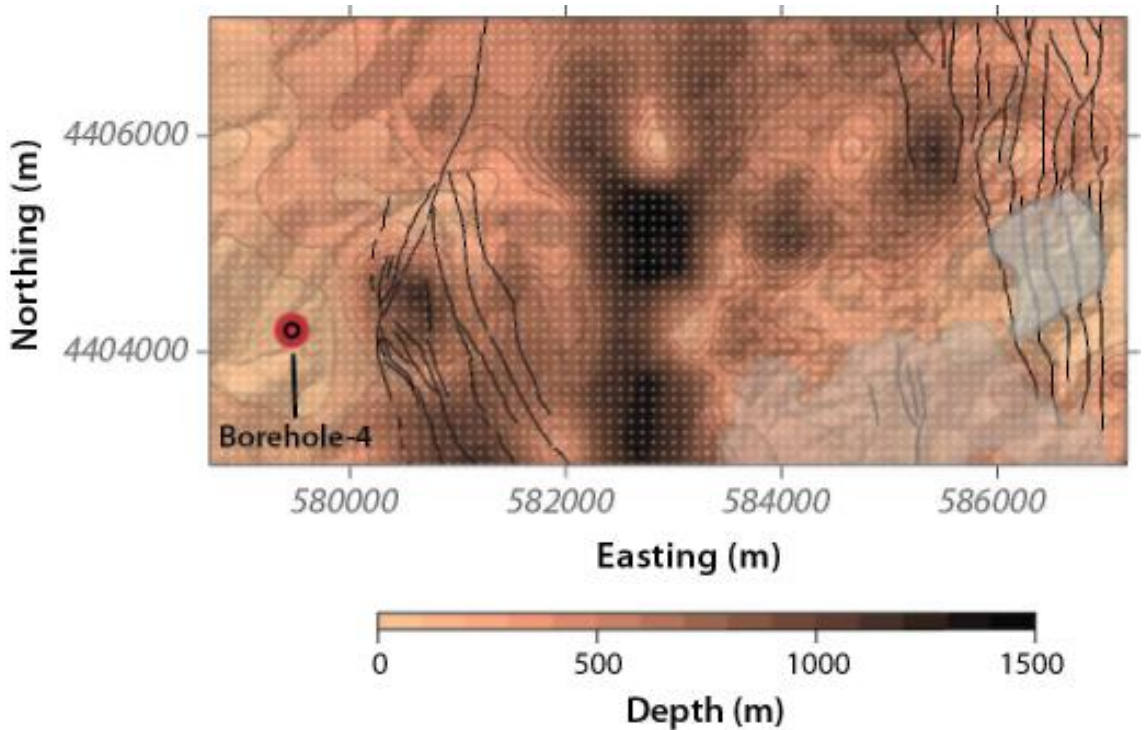
### 3.6 Ծանրաչափական Մոդելի Արդյունքներ

Դիտարկումների ընդունված սխալի ստանդարտ շեղման ընդգրկույթի համար գտնվել են տասը Պարետոյի օպտիմալ կետերը (Նկար 26): Արդյունքում ստացված խորությունների բաշխումը, ինչպես նաև դիտարկվող և մոդելավորվող ծանրաչափական արձագանքի համեմատությունը ներկայացվում են այդ հաշվետվության Հավելվածում:

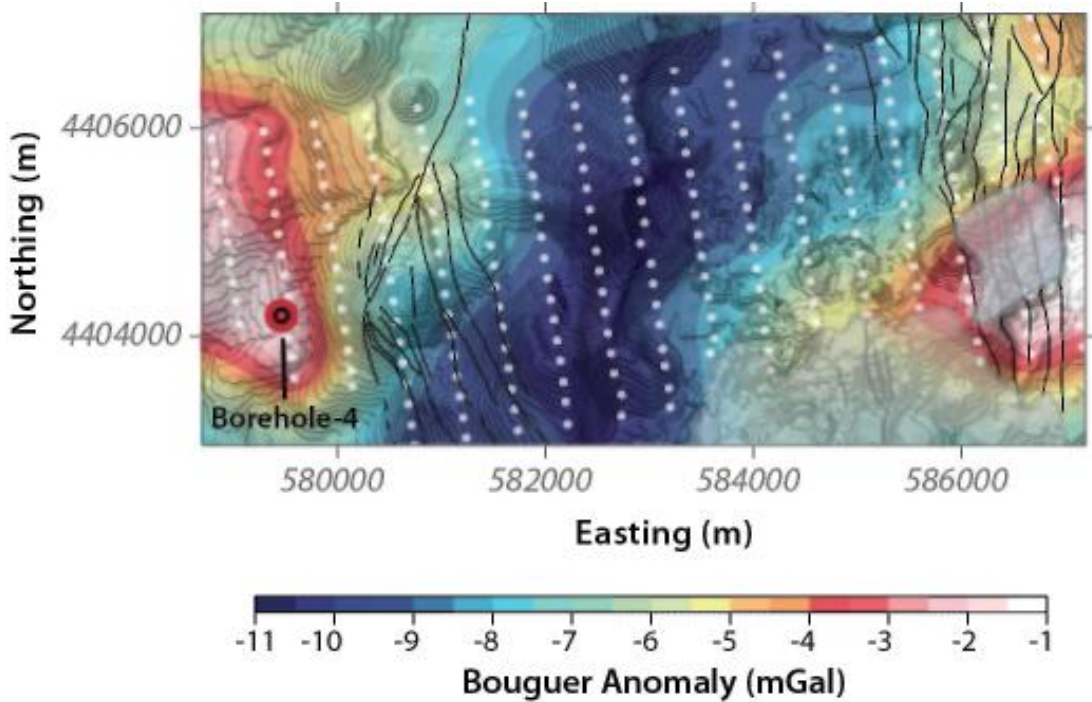
Պարետոյի գծագրի գնահատումը ենթադրում է, որ սխալի մոդելի ստանդարտ շեղում 0.3-ից մինչև 0.4 միլիգալ կհանգի անհամապատասխանության և հավանականության միջև արդարացի փոխգիջման (կետ 4 կամ 5 Նկար 26-ում): Այլ կերպ ասած, ինվերսիան չի փորձում ճշգրտել մոդելները այդ արժեքներից պակաս տիրույթի սահմաններում, ինչը արտացոլում է թե՛ դիտարկման կետերում ծանրության ուժի իսկական արժեքի անճշտություն, և թե՛ ծանրաչափական անոմալիաների բաշխման լրացուցիչ բարդություններ, որոնք չեն հաշվառվել առաջադեմ մոդելում:



**Նկար 26:** Պարետոյի սահման դիտարկումների ընդունված սխալի ստանդարտ շեղման և կանոնավորման սխալի միջև:



**Նկար 27:** Ավազանի լցվածքի հիմքի խորությունների բաշխումը (լավաներ, այլուվիալ ապարներ, հրաբխաբեկորային ապարներ), և հիմքի (քվարց-մոնցոնիտի?) վերին մասը ուսումնասիրված տարածքում՝ ըստ ծանրաչափական անոմալիայի ինվերսիայի՝ 2550 կգ.մ.<sup>-3</sup> բուգեի խտության կիրառմամբ: Փոքր հոծ օղակներ նշում են մոդելային պրիզմաների կենտրոնարդերի /ցենտրոիդների/ դիրքերը: Քարտեզի մյուս նշանները նույնն են, ինչպես Նկար 21-ում:



**Նկար 28:** Ծանրաչափական անոմալիայի առաջադեմ մոդելը, որը հաշվարկվել է Նկար 27-ում ներկայացված խորությունների մոդելի օգտագործմամբ: Քարտեզի մյուս նշանները նույնն են, ինչպես Նկար 21-ում:

Մոդելի խորությունները ցույց են տրված Նկար 27-ում, իսկ այս մոդելի հիման վրա ծանրաչափական հաշվարկի առաջադեմ լուծումը ներկայացված է Նկար 28-ում: Չնայած որ մոդելի նկատմամբ կիրառվում են խիստ սահմանափակումներ, քանի որ օգտագործվում է միայն մեկ խտության կոնտրաստ, պարզ է, որ ավազանի լցումում համեմատաբար հարթ տատանումներ կարող են մոդելավորել ծանրության ուժի դիտարկվող փոփոխությունը: Մոդելի խոշոր օբյեկտներից է նեղ՝ քարտեզագրված տարածքի կենտրոնով անցնող և Հյուսիս-Հարավ տարածվող ավազանի ներկայությունն է, որը առավելագույն խորության է հասնում մոտ 1500 մ վրա և սահմանազատվում է քարտեզագրված խզվածքներով: Նկատում ենք, որ ծանրաչափական ցանցի արևմտյան սահմանում, որը ամենամոտն է Հորատանցք 4-ին, մոդելի խորությունը շուրջ 150 մ է, ինչը հիանալի համապատասխանում է հորատանցքում մինչև քվարց-մոնցոնիտի վերին մասը չափված խորությանը (123 մ):

#### 4. Երկրաջերմային Մոդել

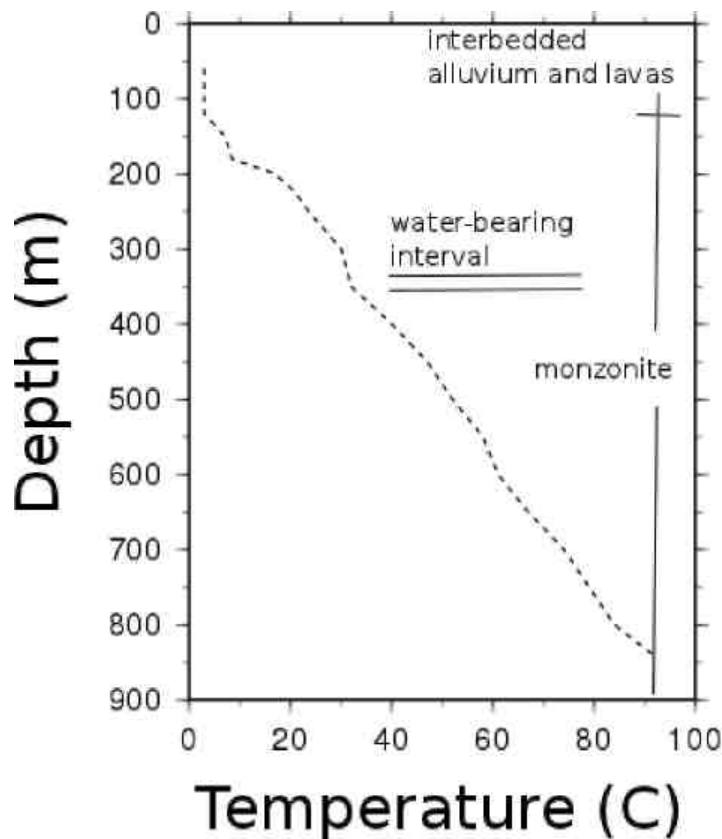
Երկրաֆիզիկական տվյալները և մոդելները, որոնք հիմնվում են այդ տվյալների մեկնաբանության վրա, կարևոր սահմանափակումներ են դնում Քարքարի տարածքի հիդրոջերմային մոդելի վրա: Բացի այդ, երկրաֆիզիկական մոդելները համապատասխանում են Հորատանցք 4-ում արված դիտարկումներին (Նկար 29):

Մինչև 123 մ խորությունը Հորատանցք 4-ում հաջորդաբար տեղադրված են լավաներ և գետաբերուկային /այլուվիալ/ սպարներ: Քվարց-մոնցոնիտ գրանցվել է



123 մետրից սկսած մինչև հորի հատակը՝ մոտավորապես 1000 մ խորության վրա: Այլուվիալ ապարների և լավային հոսքերի ծանրաչափական մոդելից արտածվող հզորությունը՝ ցանցի ծայրահեղ արևմտայն հատվածում, Հորատանցք 4-ից դեպի արևելք, կազմում է մոտավորապես 150 մ: Դա թույլ է տալիս ենթադրել, որ մոդելային խորությունները, որոնք ստացվել են ծանրաչափական տվյալների 3D ինվերսիայի շնորհիվ, ներկայացնում են խորությունը մինչև հիմք, որը, առնվազն Հորատանցք 4-ում, քվարց-մոնցոնիտով է ներկայացված:

Հորատանցք 4-ում քվարց-մոնցոնիտը տարբեր աստիճանի ճեղքավորություն է դրսևորում: Ջերմաստիճանների կտրվածքի վերլուծության միջոցով հայտնաբերվել է ջրապարունակ գոտի (Նկար 29) մոտավորապես 340 մ խորության վրա: Ջրի ջերմաստիճանները այդ գոտում՝ ըստ Հորատանցք 4-ի տվյալների՝ կազմել էին 30-35°C, նույն ջերմաստիճանը գրանցվում է նաև Ջերմադրյուրի տաք աղբյուրներում: Թե՛ 2D ՄՏ մոդելը (ԳԵՈՌԻՄԿ/ՀՖՀ, 2009թ) և թե՛ 3D ՄՏ մոդելը (“Վեստերն Ջիկո”, 2011թ) նույնացնում են ցածր դիմադրությունների գոտի Հորատանցք 4-ից դեպի արևելք, մոտավորապես այդ խորության վրա: Ճեղքային գոտուց եկող տաք ֆլուիդներ /հեղուկներ/ կարող են բացատրել այդ ցածր դիմադրության անոմալիան: Հնարավոր է, որ ճեղքից հոսքը քվարց-մոնցոնիտի միջով արագ հասնում է տաք ջուր աղբյուրներին՝ հիմնականում կողմնային տրանսպորտի շնորհիվ, անցելով այս ջրատար գոտիով ցածր դիմադրությամբ անոմալիայի տարածքից:



**Նկար 29:** Հորատանցք 4-ում գրանցված ջերմաստիճաններ: Ջրատար գոտին համապատասխանում է իզոթերմային պայմաններին մոտավորապես 340 մ խորության վրա: Մինչև 123 մ խորությունների վրա հորում գրանցվել են հաջորդաբար տեղադրված այլուվիալ /գետաբերուկային/ ապարներ և լավային հոսքեր: Քվարց-մոնցոնիտը հորում գրանցվում է 123 մետրից սկսած՝ մինչև նրա ընդհանուր խորության նիշը՝ մոտավորապես 1000 մ:

Պարզվում է, որ Հյուսիս-Հարավ տարածվող ավազանի արևմտյան եզրը սահմանող՝ մեծ անկումով խզվածքների պրոյեկցիայի տեղադիրքում ծածր դիմադրությունների անոմալիան ամենամեծ հզորություն ու ամպլիտուդ ունի: Եռաչափ /3D/ ծանրաչափական մոդելը թույլ է տալիս ենթադրել, որ այդ ավազանը արագ խորանում է՝ մինչև մոտավորապես 1500 մ՝ ցածր դիմադրությունների անոմալիայից դեպի արևելք: 3D ՄՏ մոդելում ավազանի սահմաններում հայտաբերվում են ծածր դիմադրություններով լրացուցիչ անոմալիաներ, թեև նրանք ունեն ավելի փոքր ամպլիտուդ:

Ինչպես 2D ՄՏ մոդելը (“ԳԵՈՌԻՄԿ”/ՀՖՀ, 2009թ), այնպես էլ 3D ՄՏ մոդելը (“Վեստերն Ջիկո”, 2011թ) հայտնաբերում են դիմադրության մեծացում մոտավորապես 1500 մ խորության վրա՝ ցածր դիմադրություններով անոմալիայի գոտու տակ, հորատանցքի կողքին: Այդպիսի անցումը կարող է ներկայացնել փոփոխություն՝ ջրահագեցած քվարց-մոնոցոնիտից ոչ ճեղքավոր, հետևաբար ավելի մեծ խորություններում՝ անթափանցելի ապարի: ՄՏ արդյունքները, որոնք հավաքագրվել են 2009թ և 2011թ, որոշ չափով հակասական են այն հարցի շուրջ, թե արդյոք այդ գոտու խորությունը փոքրանում է կամ մեծանում է արևմտյան ուղղությամբ: Թվում է, որ ըստ 2009թ ՄՏ մոդելավորման արդյունքների այդ գոտին խորանում է ավազանի սահմաններում:

Վերջապես, երկրաջերմային գրադիենտը, որը չափվել է Հորատանցք 4-ում, ակնհայտորեն անոմալ է, հասնելով մոտավորապես  $100^{\circ}\text{C կմ}^{-1}$  ցուցանիշին հորի ստորին կեսում: Ըստ հաղորդազրությունների, քվարց-մոնոցոնիտը ճեղքավորված է հորի համարյա ամբողջ երկարությամբ: Անոմալ ջերմաստիճանի գրադիենտը, ճեղքավոր հրաբխային ինտրուզիայի ներկայությունը և նեղ՝ Հյուսիս-Հարավ ձգվող ավազանի ներկայությունը ուսումնասիրված տարածքի սահմաններում՝ բոլորը ստեղծում են պայմաններ տաք ջրի արագ տրանսպորտի համար ավազանի խորքից դեպի մակերևույթ՝ թափանցելի ճեղքերի երկայնքով: Հնարավոր է, որ այդ ճեղքային հոսքը մասամբ հսկվում է ավազանի արևմտյան եզրը սահմանագծող խզվածքներով: Ջրատար գոտին, որը հորում գտնվում էր 340 մ խորության վրա, կարող է ներկայացնել խառնման գոտի՝ վերև բարձրացող հեղուկների և երկնային /մթնոլորտային տեղումներից /լիցքավորման ջրերի միջև:

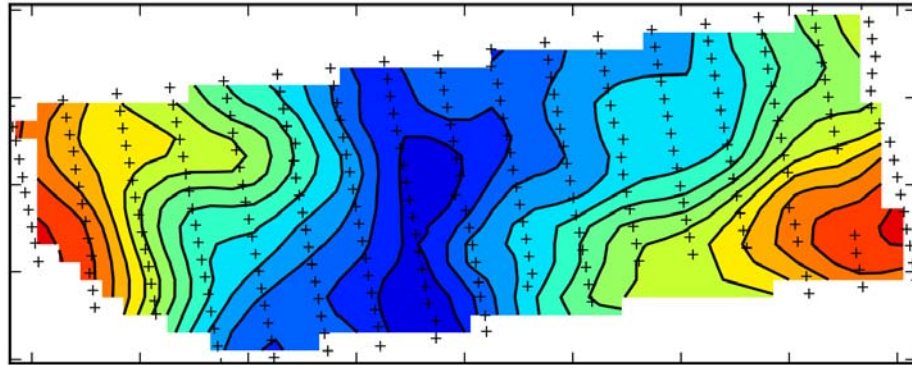
Ըստ մեր մեկնաբանության, ծանրաչափական և ՄՏ մոդելավորման գլխավոր հատկանիշները՝ հորատանցքերում արված դիտարկումների հետ միասին, նշում են, որ երկնային ջուրը կարող է շրջանառությամբ հասնել ավազանի զգալի խորություններին: Հորատանցք 4-ում անոմալ երկրաջերմային գրադիենտը բացատրելու համար պահանջվում է ներգրավել խորության վրա ջերմության աղբյուրի առկայության գաղափարը: Անորոշ է, արդյոք այդ ջերմության աղբյուրը գտնվում է խզվածքներով սահմանագծվող ավազանի ներսում, թե ավելի մեծ է, օրինակ տարածվում է դեպի արևմուտք:

## Գրականություն

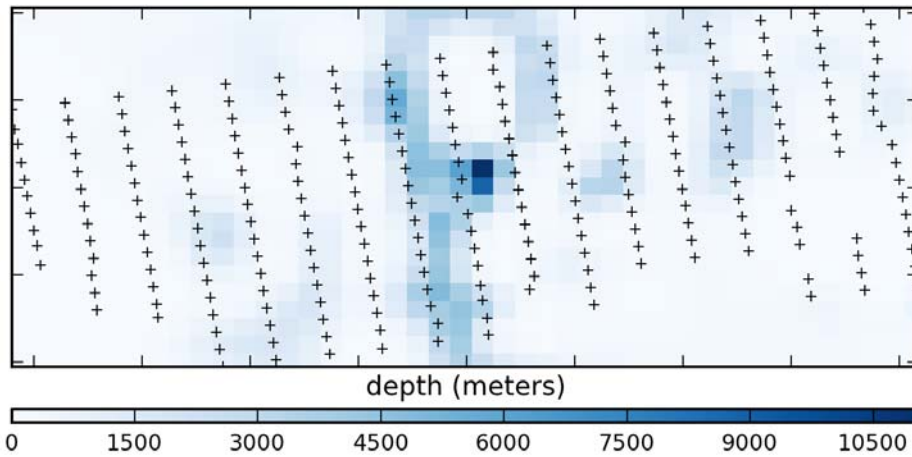
- Blais, J. A. R. and Ferland, R. (1984).** Optimization in gravimetric terrain corrections. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 21:505–570.
- Campbell, D. L. (1980).** Gravity terrain corrections for stations on a uniform slope – a power law approximation. *Geophysics*, 45:109–112.
- Daly, R. (1935).** Densities of rocks calculated from their chemical analyses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 21:657–663.
- Kane, M. F. (1962).** A comprehensive system of terrain corrections using a digital computer. *Geophysics*, 27:455–462.
- LaFehr, T. R. (1991).** Standardization in gravity reduction. *Geophysics*, 56:1170–1178.
- Moore, J. G. (2001).** Density of basalt core from hilo drill hole, hawaii. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 112:221–230.
- Nowell, D. A. G. (1999).** Gravity terrain corrections – an overview. *Journal of Applied Geophysics*, 42:117–134.

## 5. Հավելված 1

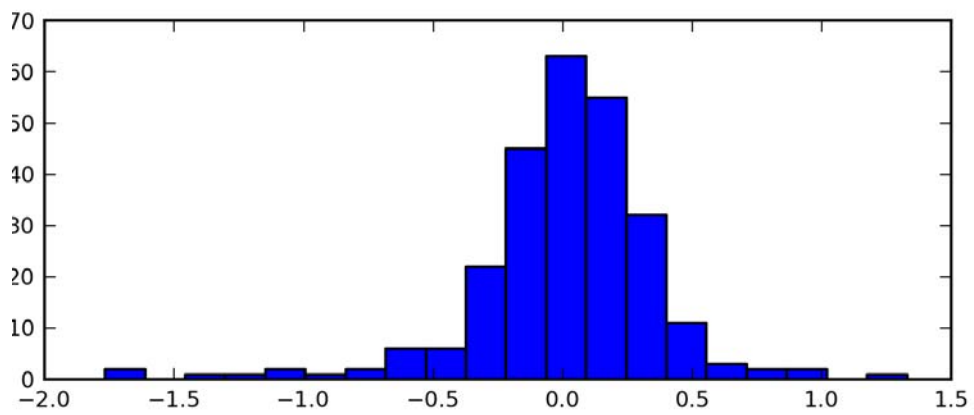
Ծանրաչափական ինվերսիայի արդյունքները  $2700 \text{ կգ.մ.}^{-3}$  Բուլգեի խտությանը օգտագործմամբ տարբեր Պարետո կետերի համար:



(a) simulated gravity response

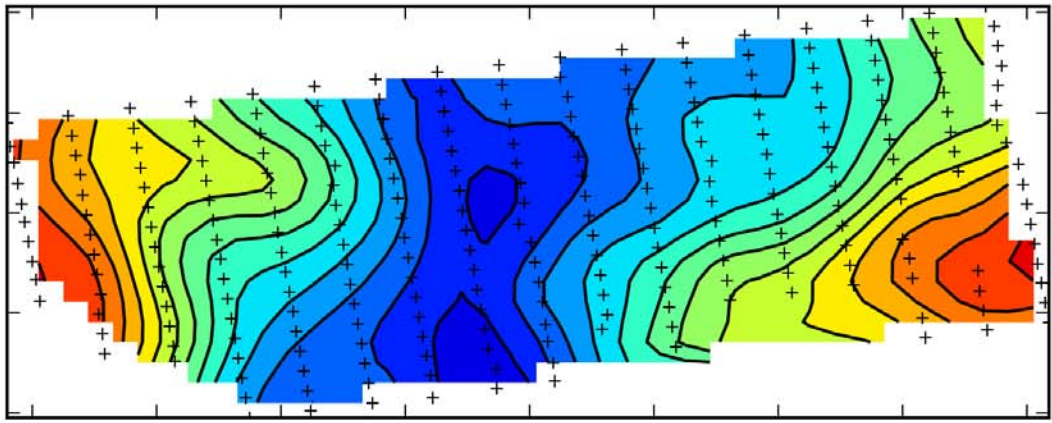


(b) inverted depth distribution

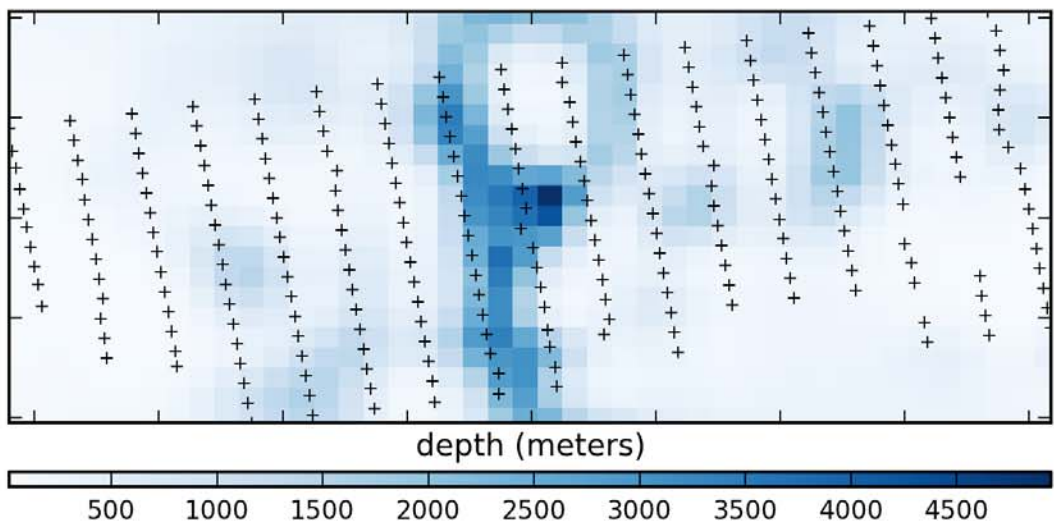


(c) histogram of residuals

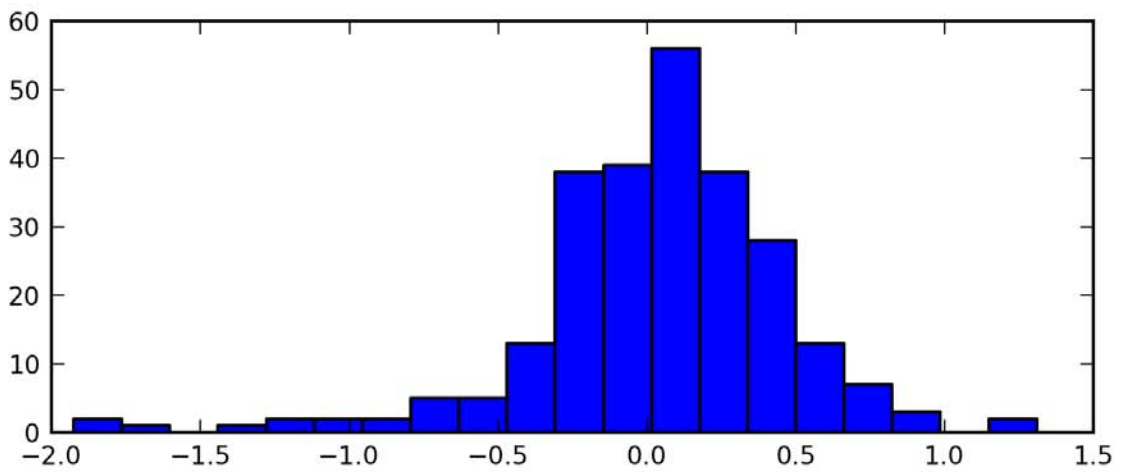
Նկար 30: Պարետո կետ 1-ի ամփոփագիր



(a) simulated gravity response

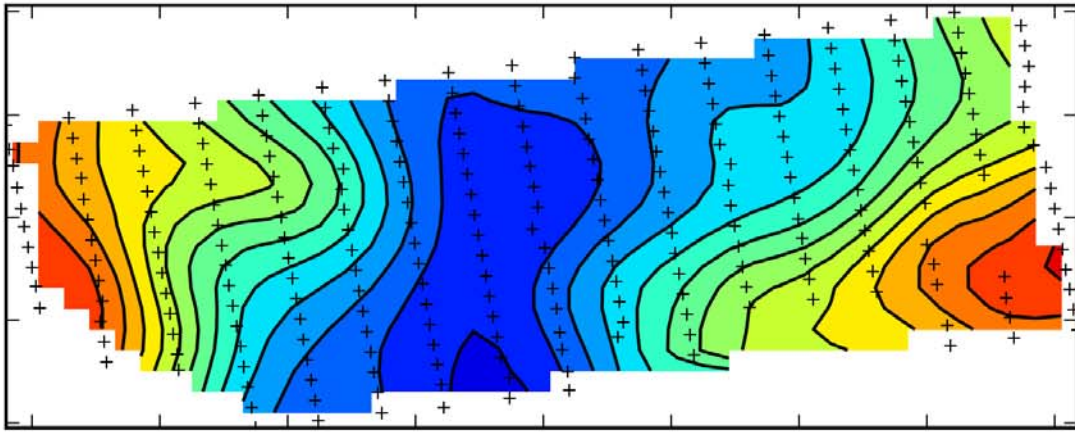


(b) inverted depth distribution

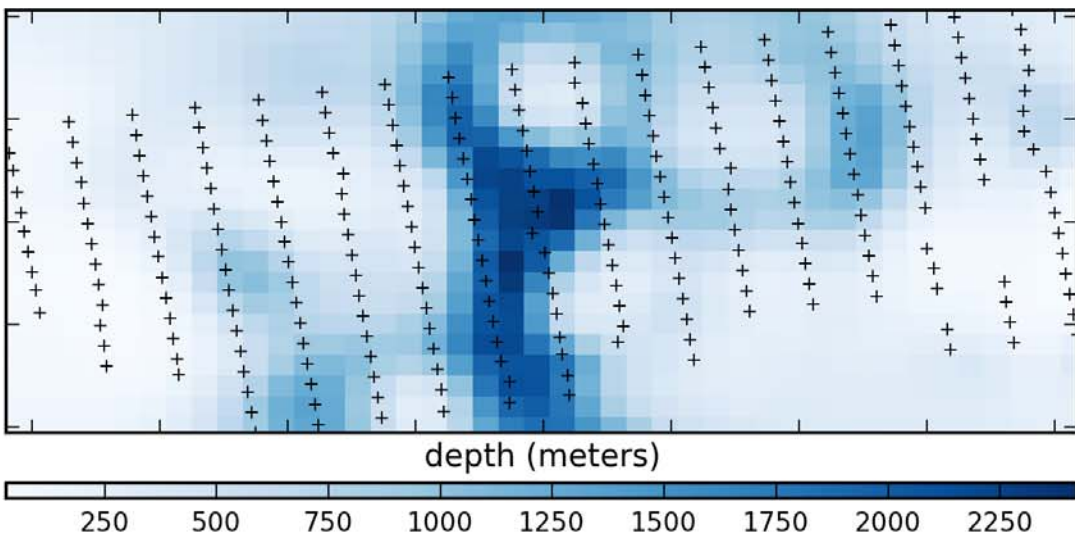


(c) histogram of residuals

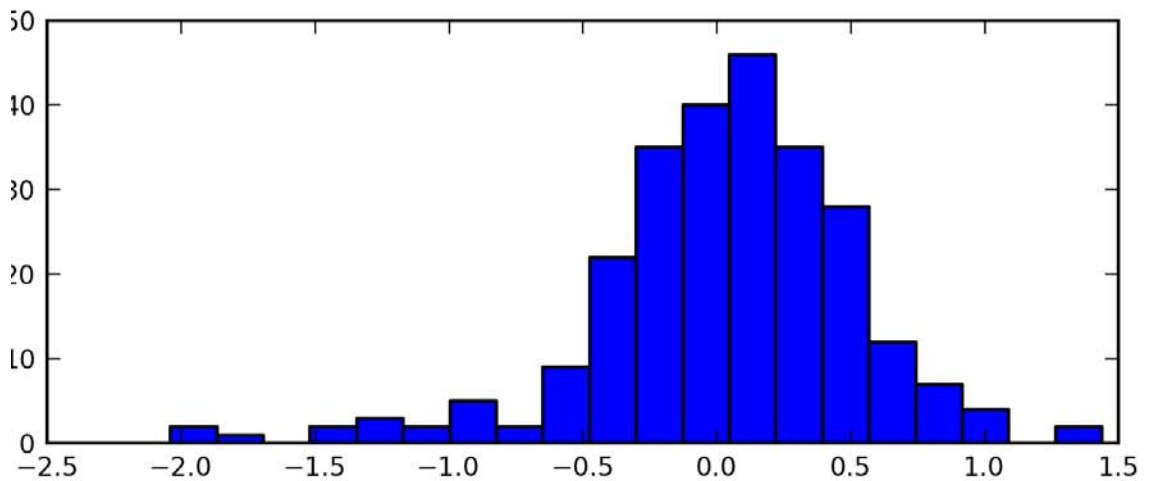
Նկար 31: Պարբեր կետ 2-ի ամփոփագիր



(a) simulated gravity response

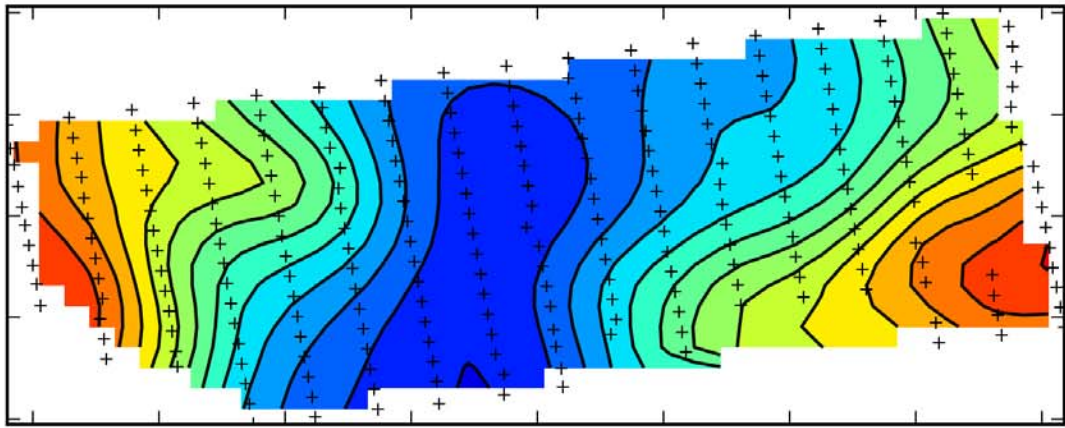


(b) inverted depth distribution

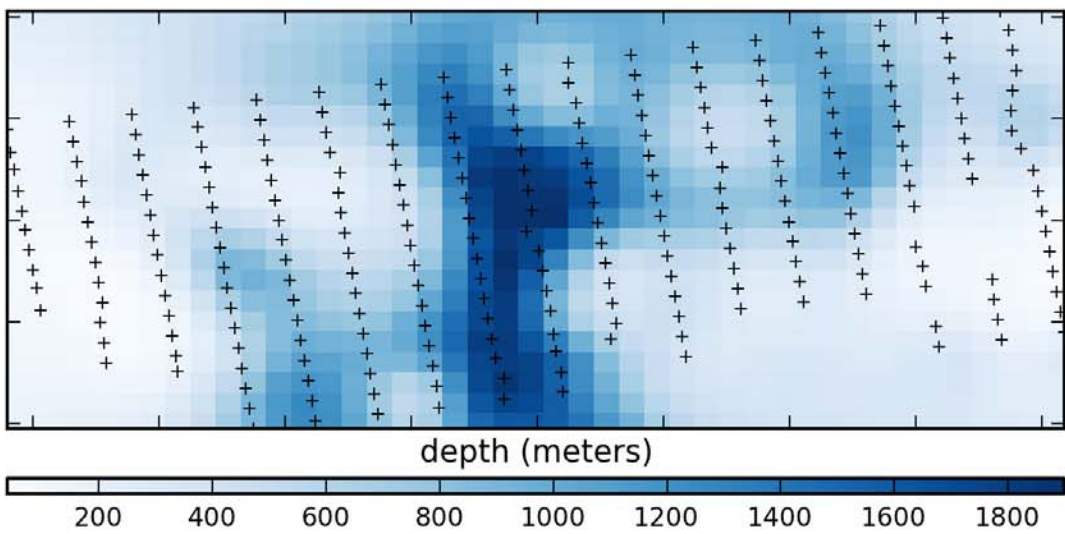


(c) histogram of residuals

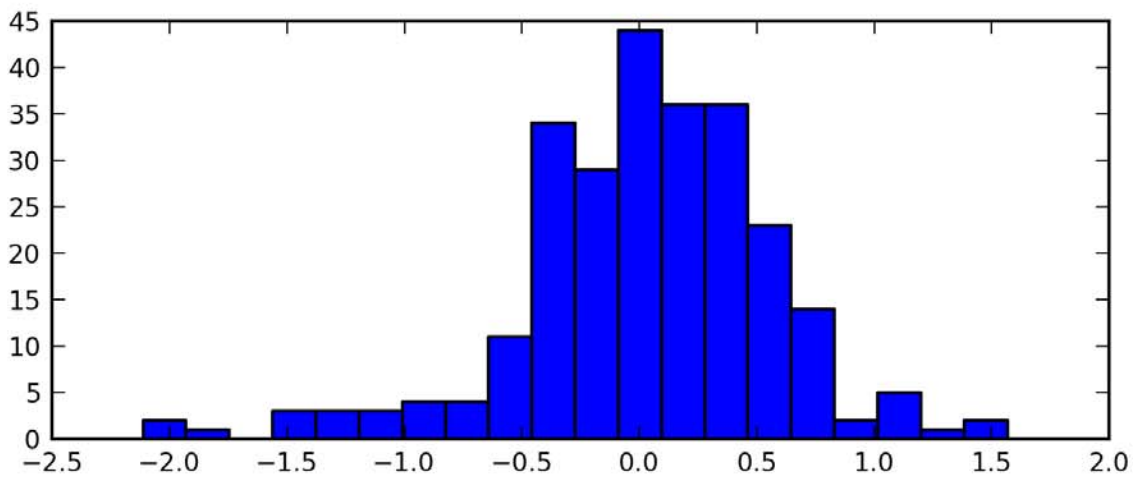
Նկար 32: Պարբեր կետ 3-ի ամփոփագիր



(a) simulated gravity response

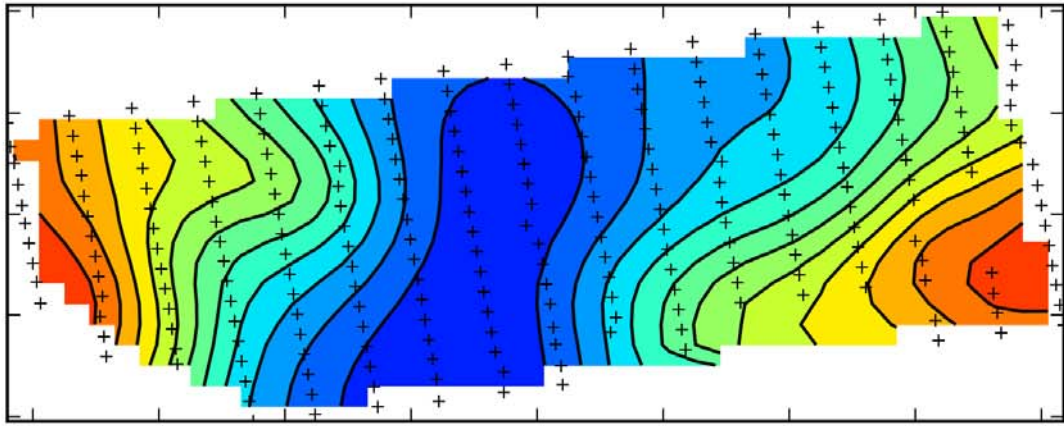


(b) inverted depth distribution

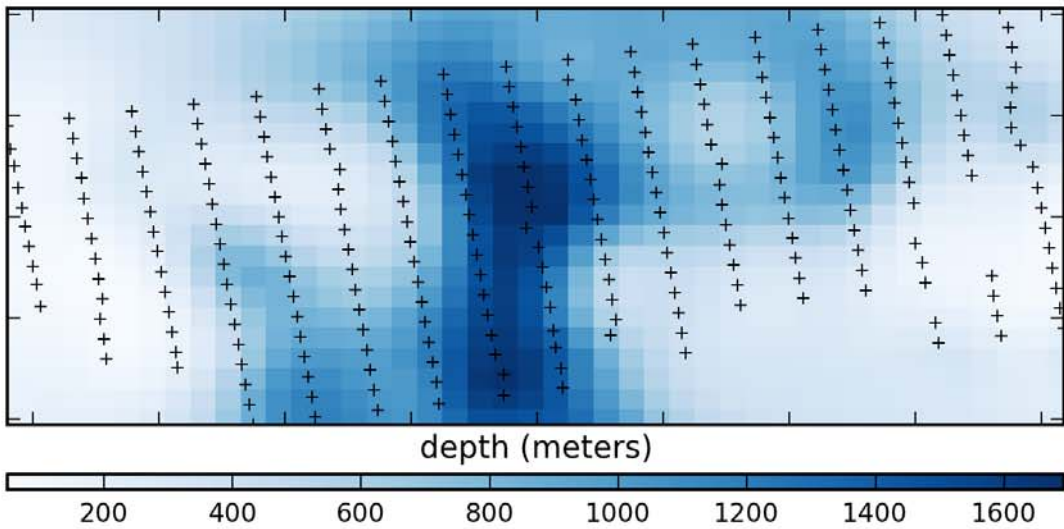


(c) histogram of residuals

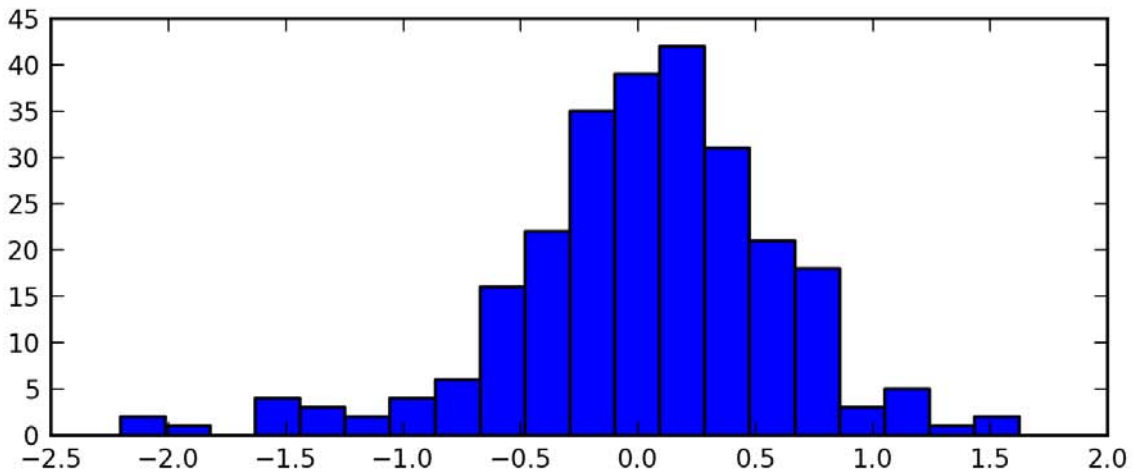
**Նկար 33:** Պարբերական կետ 4-ի ամփոփագիր



(a) simulated gravity response



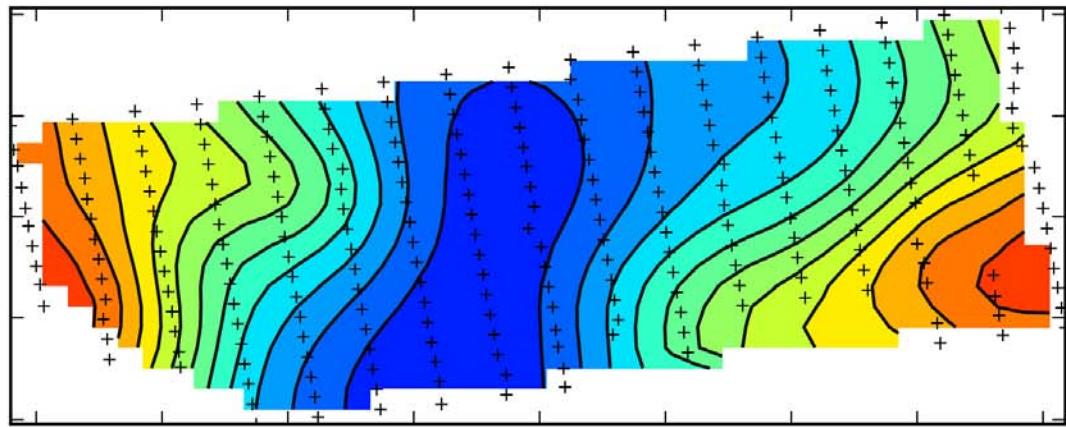
(b) inverted depth distribution



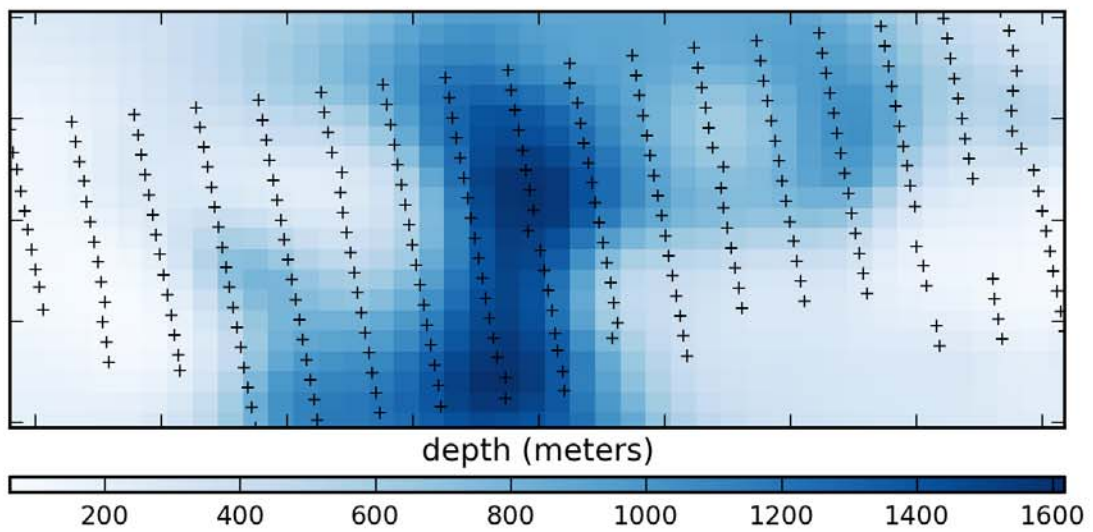
(c) histogram of residuals

**Նկար 34:** Պարբերական կետ 5-ի ամփոփագիր

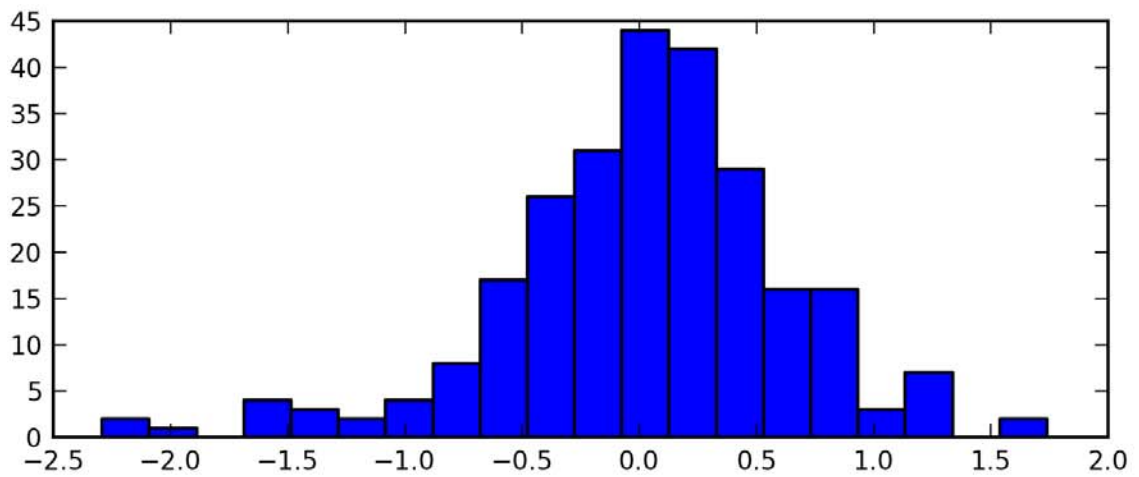




(a) simulated gravity response

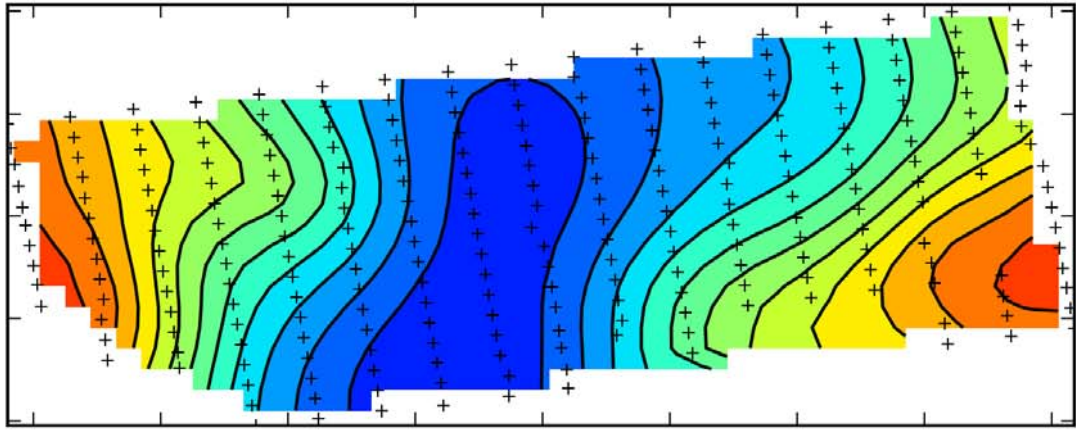


(b) inverted depth distribution

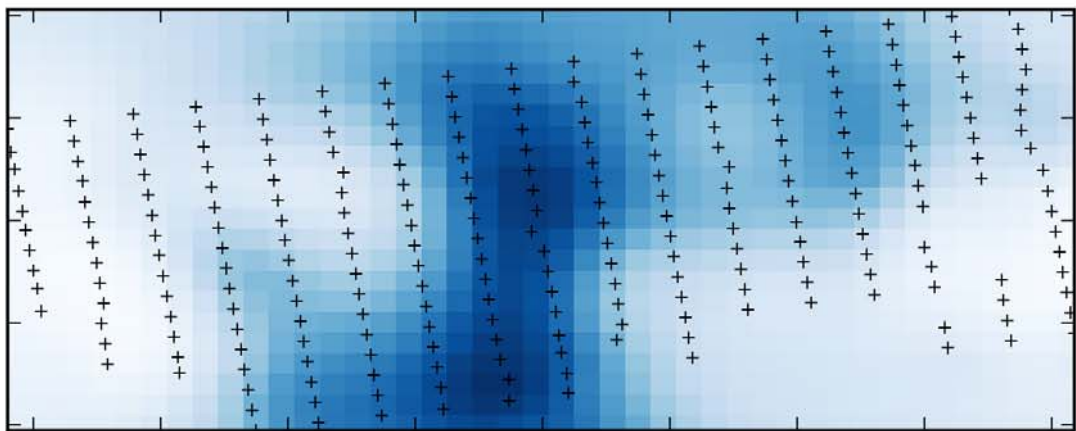


(c) histogram of residuals

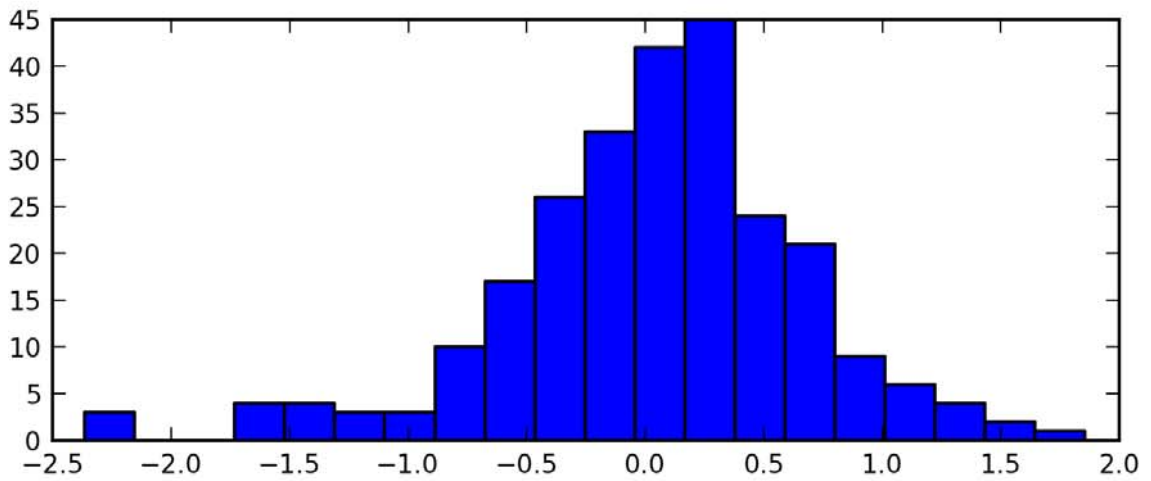
Նկար 35: Պարենտ կետ 6-ի ամփոփագիր



(a) simulated gravity response

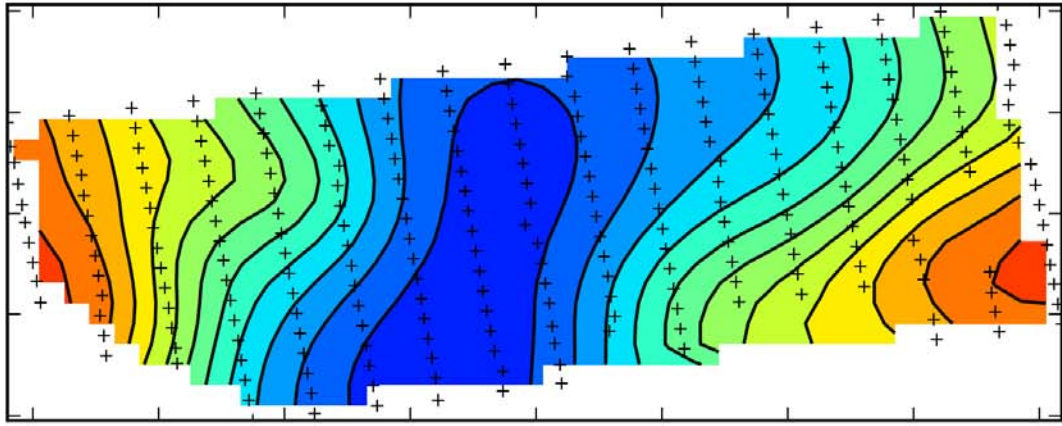


(b) inverted depth distribution

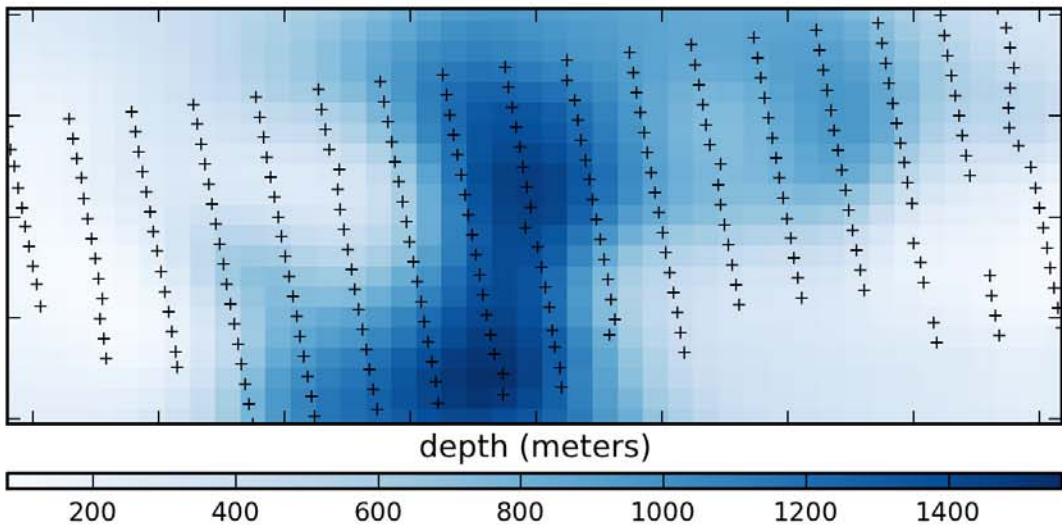


(c) histogram of residuals

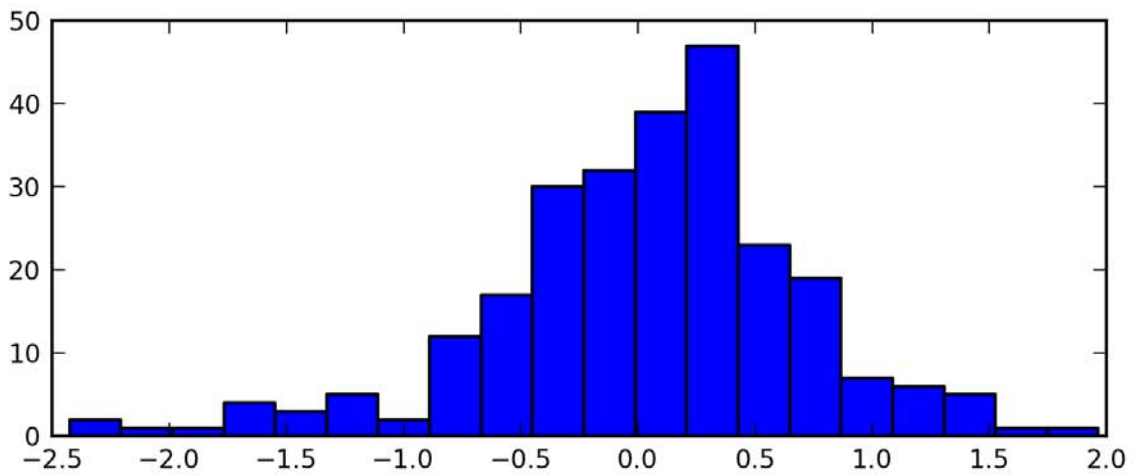
**Նկար 36:** Պարբերական կետ 7-ի ամփոփագիր



(a) simulated gravity response

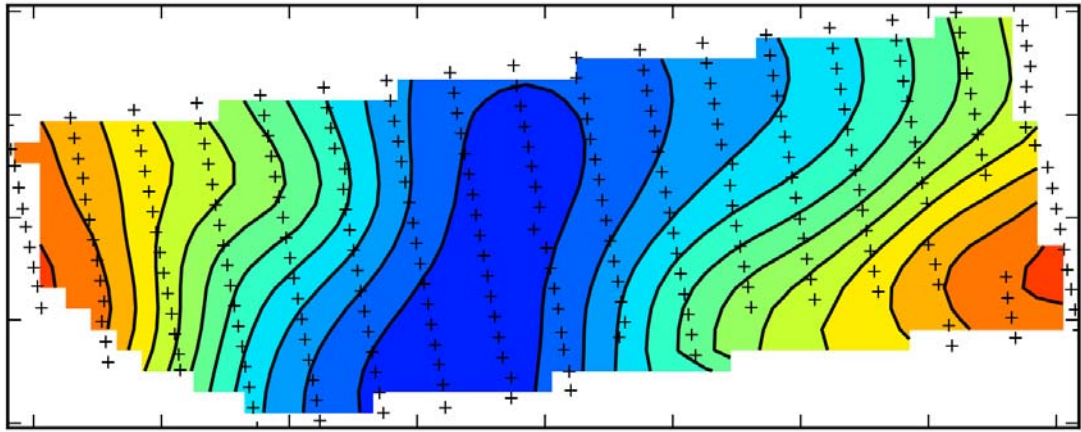


(b) inverted depth distribution

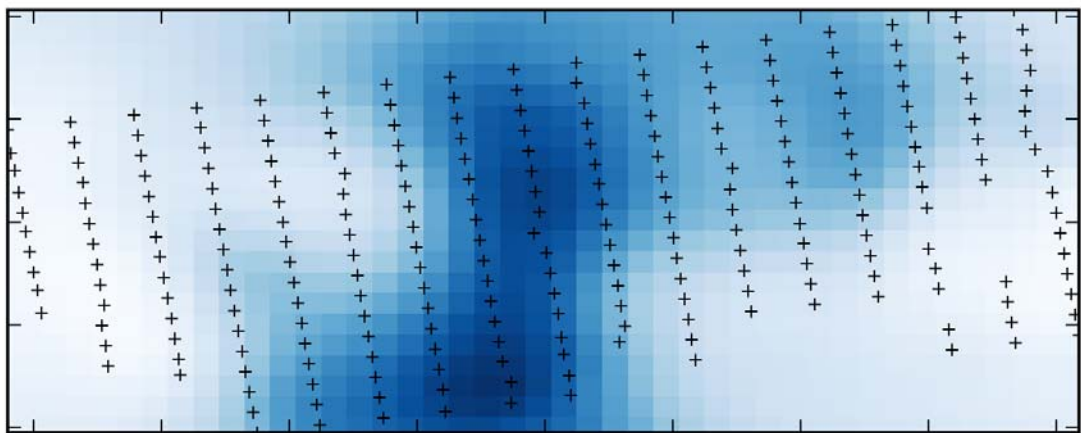


(c) histogram of residuals

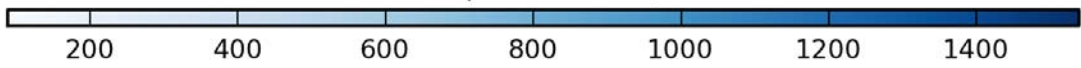
Նկար 37: Պարբետ կետ 8-ի ամփոփագիր



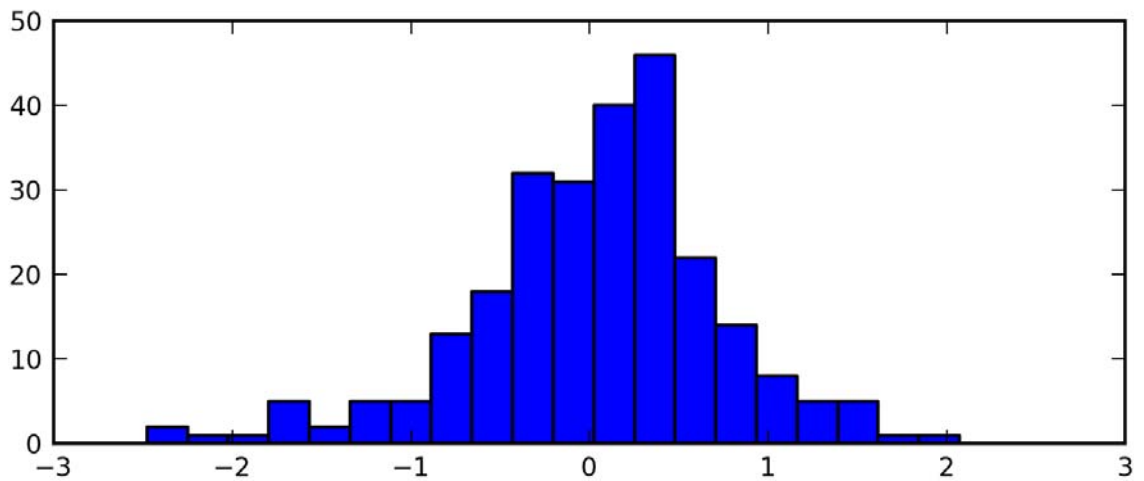
(a) simulated gravity response



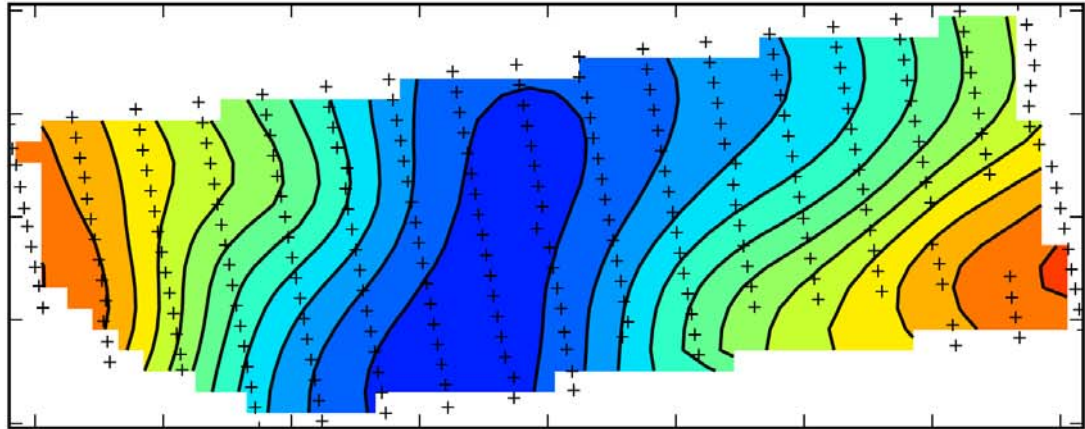
depth (meters)



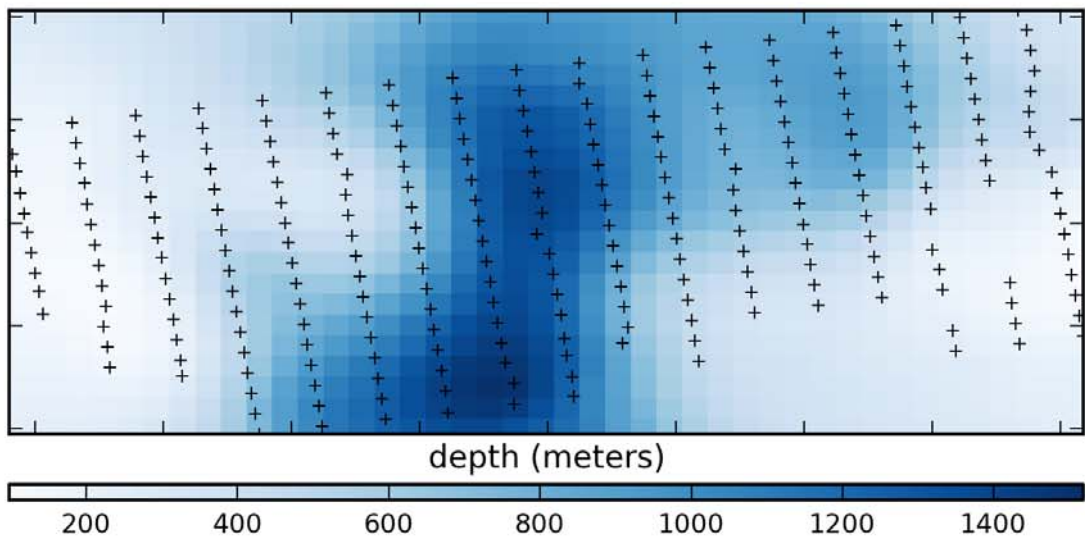
(b) inverted depth distribution



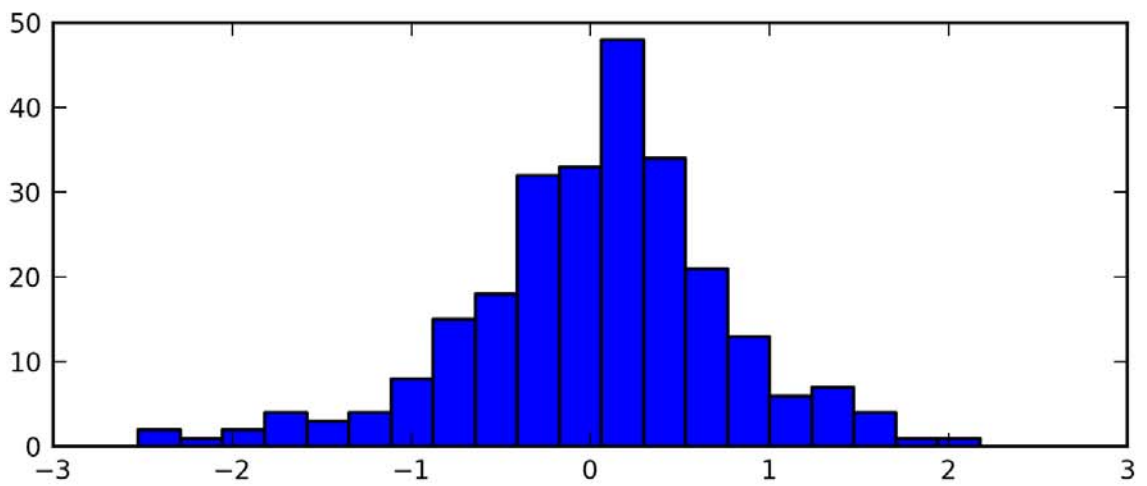
Նկար 38: Պարբերական կետ 9-ի ամփոփագիր



(a) simulated gravity response



(b) inverted depth distribution



Նկար 39: Պարետո կետ 10-ի ամփոփագիր