

ՀԱՍՆ ԳԱ Տեղեկագիր

**ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ԵՐԿՐԻ ՄԱՍԻՆ**

**НАУКИ О ЗЕМЛЕ**

**EARTH SCIENCES**





#### ԽՐԲԱԴՐԱԿԱՆ ԿՈՂԵԳԻԱ

ՀեՍՀ ԳԱ թղթ.-անդամ Ա. Բ. Բաղդասարյան, ՀեՍՀ ԳԱ ակադ. Ա. Հ. Գաբրիելյան, (պատասխանատու խմբագիր), Երկրա-հանք. գիտ. թեկն. է. Խ. Ղուկյան, ՀեՍՀ ԳԱ թղթ.-անդամ Ա. Վ. Իսիգուրյան, Երկրա-հանք. գիտ. թեկն. Ա. Ի. Կա-րապետյան, Ֆիզ.-մատ. գիտ. թեկն. Ն. Կ. Կարապետյան, Երկրա-հանք. գիտ. թեկն. Բ. Մ. Մելիքյան, Երկրա-հանք. գիտ. թեկն. Խ. Տ. Միրիջանյան, Երկրա-հանք. գիտ. դոկտ. Ս. Ն. Նազարետյան, Երկրա-հանք. գիտ. դոկտ. Մ. Ս. Սարյան, ՀեՍՀ ԳԱ թղթ.-անդամ Կ. Ի. Տեր-Ստեփանյան, Երկրա-հանք. գիտ. թեկն. Ա. Ս. Յաղամազյան (պատասխանատու խմբագրի տեղակալ)։

Պատասխանատու քարտուղար՝ է. Ա. Խոսրոսովա

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Член.-корр. АН АрмССР А. Б. Багдасарян, акад. АН АрмССР А. А. Габриелян (ответственный редактор), член. корр. АН АрмССР С. В. Григорян, канд. геол.-мин. наук Э. Х. Гулян, докт. геол.-мин. наук А. И. Карапетян, канд. физ. мат. наук И. К. Карапетян, канд. геол.-мин. наук Б. М. Меликсетян, канд. геол.-мин. наук Р. Т. Мириджанян, канд. геол.-мин. наук, С. Н. Назаретян, докт. геол.-мин. наук М. А. Сатян, член.-корр. АН АрмССР Г. И. Тер-Степанян, канд. геол.-мин. наук А. С. Фа-рамазян (зам. ответственного редактора).

Ответственный секретарь Э. С. Ростомова

Խմբագրութիւն հասցեն՝ 375019, Երևան 19, Մարշալ Բաղրամյանի պող., 24ա.

Адрес редакция: 375019, Ереван, 19, пр. Маршала Баграмяна. 24а

© Издательство АН Арм. ССР

Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, 1989



Ր Ո Վ Ա Ն Դ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ ՈՒ Ն

|                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Լ. Ա. Ավագյան. Բազմալաստակ երկրաբան-մանկավարժ (պրոֆ. Տիգրան Զբորաշյանի ծննդյան 100-ամյակի առթիվ)                                                                                  | 3  |
| Հ. Բ. Բաղդասարյան, Վ. Չ. Ստյոպանով. Հայոցձորի հանրային շրջանի ուղիղնայ ճեղք-վածքափորության վերլուծությունը տեկտոնական նկարների վերծանման տվյալների ավտոմատացված մշակման հիման վրա | 15 |
| Ա. Տ. Ասլանյան, Լ. Ս. Ազատյան. Երկրագնդի տեկտոնական էվոլյուցիայի և բարեպայտանի մեխանիկական կայունության մի քանի հարցեր                                                            | 22 |
| Ի. Ն. Ազատով. Երկրագնդի ներքին միջուկի պահպանման կենտրոնի իր երկրաշափա-կան կենտրոնից ղեկի Արևելակր տեղաշարժման օրինաչափության վերաբերյալ                                          | 35 |
| Ա. Կ. Մարտոսյան. Թվացող դիմադրության և թվացող բեկուցման պարամետրերի հա-մադրումը երկրաէլեկտրական միջավայրի երկչափ մոդելի օրինակով                                                  | 44 |
| Ի. Վ. Գաբրունովա, Մ. Ր. Մկրտչյան. Հայկական լեռնաշխարհի ուժեղ երկրաշարժերի աշխեններում խոյունների հայտնաբերման մասին                                                               | 54 |
| Ի. Թ. Սիմեոնյան, Յ. Ա. Փալիկյան. Զբոսընթացի հորիաչափման կատարելագործված համակարգի արդյունաբերական փորձարկումները և ներդրումը ԽՍՀ-ում                                              | 64 |

ՀԱՄԱՐՈՑ ՀԱՂՈՐԴՈՒՄՆԵՐ

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ս. Թ. Մեսչյան, Տ. Լ. Պետրոսյան. Կոմպրեսային պայմաններում գրունտների տատա-նումների յոգարիթմական ղեկըմման օրոշման ստատիկ մեթոդի կիրառումը | 69 |
| Խ. Գ. Զավթիյան. Թունելների բեռոնային երեսպատումներում լարվածությունների չափման մեթոդիկաների համեմատական վերլուծությունը                 | 74 |

СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Л. А. Авакян. Неустойчивый геолог-педатог (к 100-летию со дня рождения про-фессора Тиграна Джрбашяна)                                                               | 3  |
| Г. Р. Багдасарян, В. З. Сахатов. Анализ региональной трещиноватости и Абца-зорском рудном районе на основе автоматизированной обработки дан-ных космических снимков | 15 |
| А. Г. Агоян, Л. С. Казарян. Некоторые вопросы тектонической эволюции Зем-ли и механической устойчивости литосферы                                                   | 22 |
| И. Н. Казарян. К закономерности смещения центра массе внутреннего ядра Зем-ли от геометрического центра в сторону Солнца                                            | 35 |
| А. К. Матевосян. Сопоставление различных параметров кажущегося сопротив-ления и кажущейся поляризуемости на примере двухмерной модели гео-электрической среды       | 44 |
| И. В. Горбунова, М. Б. Мкртчян. О выявлении разрывов и очагах «сильных» землетрясений Армянского нагорья                                                            | 54 |
| Р. Р. Сисякян, Ф. А. Паликян. Промышленные испытания и внедрение усовер-шенствованной системы гидродинамического инведирования на Ровенской АЭС                     | 64 |

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| С. Р. Мачах, Г. Л. Петросян. Применение статистического метода определения логарифмического декремента колебаний для грунтов в условиях компресии | 69 |
| Е. Г. Завраж. Сравнительный анализ методов измерения деформаций в бетон-ных объектах                                                              | 74 |



# CONTENTS

|                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>L. A. Avakian</i> . The impatigable geologist--teacher (In commemoration of the 100 <sup>th</sup> anniversary of professor Tigran Djerbashian) . . . . .                           | 1  |
| <i>H. R. Bagdasarjan, V. Z. Sakhatov</i> . The analysis of regional jointing of the Hayotsdzor ore region on the basis of automatized processing of space image data . . . . .        | 15 |
| <i>A. T. Aslanian, L. S. Kazarjan</i> . Some problems of the Earth's tectonic evolution and the lithosphere mechanical stability . . . . .                                            | 22 |
| <i>I. N. Kazarov</i> . On the regularity of the Earth's inner core masses center displacement from the geometric center towards the Sun . . . . .                                     | 30 |
| <i>A. K. Matevosian</i> . The apparent resistance and apparent polarizability various parameters comparison the geoelectrical medium two-dimentional model being an example . . . . . | 44 |
| <i>I. V. Gorbunova, M. B. Mkertchian</i> . On revealing ruptures in the Armentan highland strong earthquakes foci . . . . .                                                           | 54 |
| <i>R. R. Sinanian, F. A. Palikjan</i> . Commercial tests and introduction of an improved system of hydrodynamical levelling in the Rovno AES . . . . .                                | 64 |

## SHORT REPORTS

|                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>S. R. Meschian, T. L. Petrosian</i> . The grounds vibration logarithmic decrement determination in compression conditions applying the static method . . . . . | 69 |
| <i>E. G. Zavriyev</i> . The tunnels concrete lining stresses measurement methods comparative analysis . . . . .                                                   | 74 |



Լ. Ա. ԱՎԱԳՅԱՆ

ԲԱԶՄԱՎԱՍՏԱԿ ԵՐԿՐԱԲԱՆ-ՄԱՆԻՍՎԱՐԺԸ

(Պրոֆ. Տիգրան Ջրբաշխանի ծննդյան 100-ամյակի առթիվ)



Անվանի երկրաբան-մանկավարժ, պրոֆ. Տիգրան Ջրբաշխանը Հայաստանի երկրաբանական ծառայության կազմավորման շրջանի այն նշանավոր գործիչներից է, որի շնայած շատ կարճ, սակայն և շատ բեղմնավոր կյանքն ու գործունեությունը մեծ դեր են խաղացել հանրապետության երկրաբանական կառուցվածքի և օգտակար հանածոների ուսումնասիրման, մասնագիտական ազգային կադրերի պատրաստման գործում: Նա հանդիսացել է մեր հանրապետության երկրաբանության մի քանի բնագավառների և ընդերքի մի շարք հարստությունների անդրանիկ հետազոտողն ու Երևանի Պետական համալսարանի երկրաբանական-աշխարհագրական ֆակուլտետի հիմնադիրը:

Տիգրան Արշակի Ջրբաշխանը ծնվել է 1889 թվի նոյեմբերի 9-ին Վանում, հողագործի ընտանիքում: Նախնական կրթությունը ստանում է էրզրումի Սանատարյան վարժարանում և Վանի Երեմյան դպրոցում, իսկ այնուհետև փոխադրվում է Թիֆլիս, ուր սովորում և ավարտում է Ներսիսյան դպրոցը (1906—1912):

1912—1915 թվականներին Ջրբաշխանը որպես ուսուցիչ աշխատում է իր հայրենի քաղաքի Հայկազյան կենտրոնական վարժարանում:

1915 թվին, Մեծ եղեռնից մազապուրծ Ջրբաշխանների ընտանիքը (հայրը, մայրը, եղբայրը և քույրը) գաղթում են Արևելյան Հայաստան:

1915—1916 թվականներին նա պաշտոնավարում է Մոսկվայի Հայկական կոմիտեի Աշտարակի որրանոց-դպրոցում:

1916 թվին Ջրբաշխանի ընտանիքը տեղափոխվում է Թիֆլիս: Այստեղ, որպես ուսուցիչ նա աշխատում է Հայկական բարեգործական ընկերության որրանոց-դպրոցում (1916—1917) և Ներսիսյան դպրոցին առընթեր գաղթականական որրանոց-դպրոցում (1917—1918):



1918—1920 թվականներին Տիգրան Զրբաշյանը սովորում է Թիֆլիսի Անդրկովկասյան համալսարանի բնագիտական ֆակուլտետում և միաժամանակ, որպես լաբորանտ աշխատում է Կոլիտեխնիկական ինստիտուտի հանքաբանական կարիներում պրոֆ. Գինգրուրգի մոտ: Այստեղ, կարիների հարուստ «Քարերի աշխարհը» նրա համար ունենում է բացառիկ ճակատագրական նշանակություն. նա որոշում է իրեն նվիրաբերել երկրաբանական գիտությունը և լեռնային գործին:

1920 թվին Տիգրան Զրբաշյանը մեկնում է Փարիզ և ընդունվում Սորբոնի համալսարանը: Այստեղ նա լսում է ֆիզիկա-մաթեմատիկական գիտելիքների մի շարք դասընթացներ, ունենդրում մեծ գիտնականներ Ալբերտ էյնշտեյնին և Մարի Կյուրի-Սկլոդովսկայային, այնուհետև փոխադրվում է Փարիզի հանքաբանական բարձրագույն դպրոցը, որն ավարտում է 1924 թվին բարձր գնահատականներով և ստանում լեռնային ինժեների կոչում:

Սակայն Տ. Զրբաշյանը չի բավարարվում իր ձեռք բերած գիտելիքներով և դրանք լրացնելու ու հարստացնելու համար շարունակում է ունենդրել Սորբոնի համալսարանում կարդացվող ընդհանուր և մասնագիտական խորացված դասընթացներ, մասնակցում գործնական և լաբորատոր պարապմունքներին: Գիտելիքների կատարելագործման և ինքնազարգացման հետ զուգընթաց նա միաժամանակ աշխատում է Փարիզի բնապատմական թանգարանի հանքաբանական կարիներում՝ ակադեմիկոս Ա. Լաբրուայի ղեկավարությամբ և հանքաբանական դպրոցի հանքաբանական և հնէաբանական թանգարաններում՝ պրոֆ. Պ. Բոնեի ղեկավարությամբ:

Շուտով, արտակարգ ընդունակ և բացառիկ տաղանդի տեր Տիգրանը իրեն դրսևորում է որպես լավագույն և մեծ հեռանկար ունեցող մասնագետ: Նրան խորհուրդ են տալիս հաստատվել Փարիզում, առաջարկում մի շարք առաջատար պաշտոններ, սակայն հայրենիքի կարոտը և հարազատ ժողովրդին ծառայելու նվիրական գաղափարը թելադրում են նրան վերադառնալ Հայաստան:

1925 թվի վերջերին Տ. Զրբաշյանը Փարիզից վերադառնում է Երևան և 1926 թվի սկզբներին աշխատանքի է հրավիրվում Պետական համալսարան, որպես ընդհանուր երկրաբանության, բյուրեղագիտության և հանքաբանության առարկաների դասախոս: Նա կարճ ժամանակում համալսարանում եղած ցուցադրական նյութերի և իր միջոցներով ձեռք բերված հավաքածուների հիման վրա ստեղծում է բյուրեղագիտական և հանքաբանական կարիներ:

1929 թվին Զրբաշյանին շնորհվում է դոցենտի, իսկ 1935 թվին՝ պրոֆեսորի կոչում:

Սակայն բազմավաստակ երկրաբան-մանկավարժի անունը լայն ճանաչում է ստանում 1934 թվին, երբ նրա նախաձեռնությամբ և ականավոր երկրաբան, դոկտոր-պրոֆեսոր Հովհ. Կարապետյանի, համալսարանի ռեկտոր, դոցենտ Տիգրան Մուշեղյանի օգնությամբ համալսարանում ստեղծվում է երկրաբանական-աշխարհագրական ֆակուլտետ: Նա նշանակվում է այդ ֆակուլտետի ղեկան, ընդհանուր երկրաբանության ամբիոնի վարիչ և գիտահետազոտական ինստիտուտի տնօրեն:

Համալսարանի նորաբաց ֆակուլտետում ստանձնելով մի շարք պատասխանատու պաշտոններ, պրոֆ. Տ. Զրբաշյանը ծավալում է բեղմնավոր գործունեություն: Այստեղ դրսևորվում են նրա ոչ միայն գիտա-մանկավարժական աշխատանքի հիանալի կողմերը, այլև վարչական և կազմակերպչական բացառիկ ունակությունները: Նա մեծ ջանք ու ուժ է գործադրում ֆակուլտետի և հատկապես երկրաբանական բաժնի ուսումնա-արտադրական, նյութա-



տեխնիկական բազայի ստեղծման ու ընդարձակման, բարձրորակ կադրերի պատրաստման ուղղությամբ, իսկ վերջինս պայմանավորված էր հանրապետության երկրաբանական կառուցվածքի և օգտակար հանածոների ուսումնասիրման, լեռնահանքային արդյունաբերության բուռն զարգացման և երկրաբանական ծառայության ծավալման անհետաձգելի պահանջներով:

Համապատասխան մասնագիտական դասախոսական կադրերի բացակայության պայմաններում պրոֆ. Տ. Զրբաշյանը կարդում է ընդհանուր երկրաբանություն, բյուրեղագիտություն, հանքաքանություն, քարագիտություն և հետազոտման մեթոդներ դասընթացները: Նրա գերող, շատ ուսանելի դասախոսությունների հաջողությունը հենվում էր մանկավարժական մեծ փորձի և ձիրքի (մինչ այդ նա երկար տարիներ դասախոսել էր համալսարանի մանկավարժական և գյուղատնտեսական ֆակուլտետներում, իսկ ավելի ուշ՝ պոլիտեխնիկական ինստիտուտի բնիական ու շինարարական ֆակուլտետներում), տեսական ու գործնական գիտելիքների միասնության, նյութի կասարյալ տիրապետման, ինքնատիպ, ստեղծագործական հնարքների և խոսքի վարպետության վրա: Ի տարբերություն շատ դասախոսների, նա միշտ ներկա էր գտնվում իր կարդացած դասընթացների գործնական ու լաբորատոր պարապմունքներին, որոնք մեծ հմտությամբ վարում էր նրա ասիստենտ Շուշանիկ Շատվորյանը:

Պրոֆ. Տ. Զրբաշյանը համախմբում էր իր շուրջը ֆակուլտետի պրոֆեսորներ Հ. Կարապետյանին, Հ. Հովհաննիսյանին, Ս. Լիսիցյանին, ավագ դասախոսներ Հ. Թերզիբաշյանին, Հ. Ստեփանյանին, Բ. Վարդապետյանին և Պ. Հովհաննիսյանին, մեծ աշխատանք է ծավալում ֆակուլտետը դասախոսական կադրերով համալրելու, նյութատեխնիկական բազա ստեղծելու և ուսումնա-արտադրական պրոցեսը բարձր մակարդակով կազմակերպելու համար:

Կարճ ժամանակամիջոցում լրացվում և ընդարձակվում է մինչ այդ գոյություն ունեցող բյուրեղագիտական և հանքաբանական միակ կաբինետը, ստեղծվում են քարագիտական և հնէաբանական կաբինետներ: Ուսանողների լաբորատոր և գործնական պարապմունքների կազմակերպման համար Զրբաշյանը Մոսկվայի, Լենինգրադի և Փարիզի համապատասխան հաստատությունների և իր մտերիմ նշանավոր երկրաբան-մանկավարժների միջոցով ձեռք է բերում բենուացնող մանրադիտակներ, մասնագիտական սարքեր և ուսումնացուցադրական նյութեր (հավաքածուներ, քարտեզներ, աղյուսակներ, գծագրեր և այլն): Բացի այդ, կազմակերպում է բյուրեղագիտական արհեստանոց, ուր վարպետ Հարությունը պատրաստում է բյուրեղների պարզ ու կոմբինացիոն ձևերի և բյուրեղային ցանցերի գունավոր, չգերազանցված մոդելներ: Ահա հենց այդ ցուցադրական նյութերի օգտագործմամբ էլ մինչև օրս երկրաբանական ֆակուլտետի ուսանողները սովորում և յուրացնում են մասնագիտական դասընթացները, նյութեր, որոնք սրբությամբ պահվում են որպես մեծ երախտավոր ուսուցչապետի հիշատակի անփոխարինելի մասունքներ:

Պրոֆ. Տ. Զրբաշյանը 1935—1937 թվականների ամռան ամիսներին ղեկավարում է ապագա երկրաբանների ուսումնական (դաշտային) պրակտիկայի գործը: Պրակտիկայի վայրը բնորոշվել էր երկրաբանական տեսակետից շատ հետաքրքիր և ուսանելի Մերձերևանյան դաշտական շրջանը (ուր նա մի շարք տարիներ կատարում էր գիտահետազոտական և որոնողահետախուզական աշխատանքներ), նա դասախոսներ Շ. Շատվորյանի և Պ. Հովհաննիսյանի և ուսանողների խմբերի հետ շարափներով շրջեց Հրազդան (Երևան-Քանաքեռ-Արզնի-Նուռնուս-Բջնի-Արզուկան) և Աղատ (Նորք-Զրվեժ-Ողջարերդ-Գառնի-Գեղարդ-Շոռապրյուր) գետերի ավազանների երթուղիներով:



սովորեցրեց նրանց դաշտային հետազոտման մեթոդներին և երկրաբանական հանույթի հիմունքները, քարտեզների ու կտրվածքների կազմման և քարային նյութերի հավաքման, փաստագրման ու մշակման սկզբունքները:

Ջրբաշջանի գիտամանկավարժական գործունեությունը չի սահմանափակվել միայն դասախոսական պրակտիկայով: Նա մեծ աշխատանք է կատարել ուսումնական ծրագրերի, տեսական ու դործնական պարապմունքների մայրենի լեզվով մասնագիտական ձեռնարկների ստեղծման ուղղությամբ: Մի շարք լեզուների գերազանց տիրապետումը նրան հնարավորություն է տվել զրադվել նաև թարգմանչական ու տերմինաբանական աշխատանքով: Հիշատակման արժանի են նրա կազմած երկրաբանական տերմինների հայերեն բառարանը, ընդհանուր երկրաբանության դասընթացը, ականավոր երկրաբան-մանկավարժների աշխատությունների հատրնտիրը, որոնք մնացին անավարտ և, ցավոք սրտի, չհասան մեզ:

Բազմավաստակ մանկավարժը հանդիսացել է Հայաստանի երկրաբանական ծառայության ավագ սերնդի շատ ներկայացուցիչների երախտավոր ուսուցիչն ու դաստիարակը: Նրա աշակերտներից շատերը ներկայումս գիտության և արտադրության ճանաչված, առաջատար գործիչներ են: Անմոռաց ուսուցչապետի գիտամանկավարժական և գիտաարտադրական դպրոցի լավագույն սովորույթները պահպանում և շարունակում են նրա շնորհալի աշակերտներ, համալսարանի երկրաբանական ֆակուլտետի հնագույն դասախոսներ Ա. Գաբրիելյանը, Վ. Հասրաթյանը, Թ. Թադևոսյանը, Ս. Բալյանը, Հ. Նազարյանը, Լ. Ավագյանը և երկրաբանական վարչության աշխատակիցներ Փ. Սարգսյանը, Ա. Ամրոյանը, Թ. Տոգուլակյանը և ուրիշներ:

Պրոֆ. Տ. Ջրբաշջանը 1935—1937 թվականներին եղել է Հայաստանի երկրաբանության բնագավառի առաջին ասպիրանտներ Ստեփան Լուսյանի (հրաբխականություն) և Սուրեն Մովսիսյանի (քարագիտություն-մետաղածություն) գիտական ղեկավարը:

Ոչ պակաս արգասավոր և բեղմնավոր է եղել պրոֆ. Տիգրան Ջրբաշջանի նաև արտադրական և գիտահետազոտական գործունեությունը: Մանկավարժական աշխատանքին զուգընթաց շուրջ մի տասնամյակ նա ուսումնասիրել է մեր հանրապետության մի քանի շրջանների երկրաբանական կառուցվածքը և հետախուզել է բնօրինակում տարածված մի շարք ոչ մետաղային օգտակար հանածոները:

Նա թերևս այն հազվագեղ մասավորականներից էր, որ այդ երկու՝ գիտամանկավարժական և գիտահետազոտական բնագավառները համադրել է իրար, առաջնություն շտալով և ոչ մեկին, հարադատ է մնացել ռեժիմ պատկերացնում մանկավարժական աշխատանք առանց մանկավարժականի՝ իր սկզբունքին:

Դեռ 1926 թվին, երբ դոկտոր-պրոֆեսոր Հովհաննես Կարապետյանը ղեկավարում էր Հայաստանի սղնձի հանքավայրերի (Ալավերդի, Ղափան) վերականգնման և հետախուզման աշխատանքները, Ջրբաշջանը աշխատում էր Ալավերդիում որպես ինժեներ-երկրաբան, զբաղվում է գործող և փակված հանքերի որոնողա-հետախուզական աշխատանքների կազմակերպման հարցերով:

1927—1937 թվականների ընթացքում Տիգրան Ջրբաշջանը աշխատում է նախ Հայաստանի ժողտնտգերխորհի լեռնային բաժնում, իսկ այնուհետև Ժողկոմխորհի կիրառական երկրաբանության և հանքաբանության գիտահետազոտական ինստիտուտում, ավելի ուշ՝ ԽՍՀՄ ԳԱ հայկական ֆիլիալի (Արմֆան) երկրաբանական ինստիտուտում. տարբեր տարիներին պաշտոնա-



վարել է որպես լեռնային ինժեներ, խորհրդատու, որոնողահետախուզական արշավախմբի պետ և գիտական աշխատող:

Այդ տարիներին նա որոնողահետախուզական և գիտահետազոտական զգալի աշխատանքներ է ծավալում հատկապես Երևանի, Կոտայքի (Արովյան) և Ախտալի (Հրազդան) շրջաններում, հանքային հումքի նոր աղբյուրների ու պաշարների որոնման, հայտնաբերման, հետախուզման և օգտագործման ընագավառներում: Այդ ուղղությամբ կատարված աշխատանքների արդյունքները ամփոփված են նրա բազմաթիվ երկրաբանական, գիտատեխնիկական հաշվետվություններում ու ղեկուցագրերում (մի մասը պահվում է «Հայերկրաբանություն» միավորման ֆոնդերում): Դրանցից արժանի են հիշատակման Կոտայքի և Ախտալի շրջանների (1927—1929) հրաբխային ավազների, սլեմզանների ու դիատոմիտների մի շարք հանքավայրերին (էլար, Նովո-Նիկոլաևկա, Սուխոյ-Ֆոնտան, Նուռնուս և այլն), ինչպես նաև Ահամ-զալու-Աղբաշի օնիքսի, Քեթանյուի ձմբի, Կոդբի և Ախթալայի բարիտի (1927), Ջարխեշի կոնգլոմերատի և Իջևանի կիսաթանկարժեք քարերի (1932), Ջրվեժի գիպսի (1933), Թալինի պեոլիտ-օրոսիլիանի (1929—1932), հանքավայրերին նվիրված հաշվետվությունները: Տիգրան Ջրբաշյանի այդ հաշվետվությունները հանդիսացան այն սկզբնաղբյուրները, որոնք առաջ քաշեցին և հիմնավորեցին Հայաստանի ոչմետաղային օգտակար հանածոների դերն ու նշանակությունը՝ հարցեր, որոնք իրենց լայն կիրառումն ստացան մեր օրերում:

Սակայն Տ. Ջրբաշյանը չի սահմանափակվում միայն երկրաբանական, որոնողահետախուզական աշխատանքներով: Նա առաջիններից մեկն էր, որ մեծ նշանակություն տվեց Հայաստանի երկրաբանական կառուցվածքի և օգտակար հանածոների սիստեմատիկ ուսումնասիրության գործին և անցավ գիտահետազոտական աշխատանքի: Դա պայմանավորված էր նրանով, որ 20-ական թվականների վերջերին և 30-ական թվականների սկզբներին մեր հանրապետությունում մի քանի հայ երկրաբանների կողքին (Հովհ. Կարապետյան, Պ. Ղամբարյան և ուրիշներ) գիտահետազոտական աշխատանքներ էին ծավալել նաև ռուս սնվանի երկրաբանները (Ֆ. Յու. Լեվինսոն-Լեսինգ, Կ. Ն. Պաֆենհոլց, Պ. Ի. Լեբեդև, Ս. Ս. Կուզնեցով, Ա. Ա. Տուրցև, Ա. Ս. Գինսբերգ, Վ. Ն. Կոտլյար, Վ. Գ. Գրուշենոյ և ուրիշներ), որոնք ուսումնասիրում էին Սևանի ավազանի, Արագածի զանգվածի և հանքային շրջանների երկրաբանական-քարագրական, ջրաերկրաբանական հարցերը, կատարում էին երկրաբանական հանույթ:

Պրոֆ. Տ. Ջրբաշյանը հանդիսացել է Մերձհրեանյան շրջանի առաջին հետազոտողներից մեկը, որը 1931—1935 թթ. լինթացքում հատկապես ուսումնասիրել է Ջրվեժ-Շոռչրիձոր-Շոռաղբյուր տեղամասի երկրաբանական կառուցվածքը և օգտակար հանածոները: Նա հատուկ ուշադրություն է դարձրել այդ տեղամասի երրորդական հասակի նստվածքների շերտագրության, նստվածքագոյացման և հնէաբանության հարցերի վրա, այն համարել է խորհրդային Միության դասական շրջաններից մեկը:

Ջրբաշյանը հիմնավորեց և տվեց Մերձհրեանյան շրջանի երրորդական հասակի շերտախմբերի ստորաբաժանումները, ընդերքում տարածված ոչմետաղային օգտակար հանածոների (տուֆ, բազալտ, գիպս, քարաղ, այրվող թերթաքարեր, ճարպային կավեր և այլն) հետախուզման անհրաժեշտությունը: Հետագայում բազմաժանանակ երկրաբանը մի շարք առիթներով առաջնակարգ տեղ է տալիս այդ շրջանին, այն համարելով Հայաստանի երկրաբանական պարզացման պատմության «վսու ժամանակաշրջաններից մեկը» բազմիցս կրկնել է, որ շրջանը հանդիսանում է այն «բանալին», որը կարող է բացել մեր հանրապետության երրորդական շերտախմբերում թաքնված գաղտնիք-



ներր, լուծելու դեռևս չսլարդարանալով և վիճելի մի շարք հարցեր՝ հնարավոր աղարերություն և նավթարերություն պրոբլեմը, շրջանում սխտեմատիկ և մեծ մասշտաբի երկրաբանական հետազոտություններ, որոնողահետախուզական և խոր հորատման աշխատանքներ կազմակերպելու խնդիրը:

1935—1937 թվականների ընթացքում Տիգրան Զրբաշյանը իր գիտահետազոտական աշխատանքները շարունակում է ԽՍՀՄ գիտությունների ակադեմիայի հայկական ֆիլիալի (Արմֆան) երկրաբանական ինստիտուտում, որպես գիտական աշխատակից և Կոտայքի (Արուլյան) երկրաբանական արշավախմբի պետ: Այդ տարիներին նա ընդարձակելով իր ուսումնասիրությունների Մերձերևանյան սահմանները, ընդգրկում է Հրազդան և Ազատ գետերի ավազանները, տալիս է Հրազդանի ձորի (Քանաքեռ-Արզնի) վերին երրորդականի նստվածքների շերտագրությունը և հնէաբանական նկարագրերը առանձնացնում է «մակտրային կրաքարերի» և «ձկնային թերթաքարերի» զոնաները:

Կյանքի վերջին տարիներին Զրբաշյանը աշխատում էր «Հրազդան և Ազատ գետերի ավազանների երրորդականի նստվածքների շերտագրությունը և բրածոները» թեմայի վրա, որը պետք է հանդիսանար նրա կատարած հետազոտությունների ամփոփումը (ձեռագրերը չեն պահպանվել):

Տիգրան Զրբաշյանը զգալի գործ է կատարել նաև ինժեներական երկրաբանության բնագավառում: Նա կուսակցական ու պետական ղեկավար գործիչների հանձնարարությամբ (Ա. Խանջյան, Ս. Տեր-Գարրիելյան, Ա. Երզնկյան) գործնական օգնություն է ցույց տալիս հանրապետության նախագծային և շինարարական կազմակերպություններին տնտեսական կարևոր նշանակություն ունեցող առաջնահերթ խնդիրների լուծման գործում: Հանդիսանալով կառավարական հանձնաժողովի անդամ, նա զբեղ է երկրաբանական-ջրաերկրաբանական եզրակացություններ և զեկուցագրեր, որոնք նվիրված են Երևանի երկրորդ ՋէԿ-ի տեղամասի, Հարավային և Հարավ-արևելյան ջրանցքների մայրուղու երկրաբանական պայմանների նկարագրմանը (1931—1934), Գորիսի երկրաշարժի հետևանքների (1931), Մերձերևանյան և այլ շրջանների սողանքային երևույթների և նոր բնակավայրերի կառուցման հարցերին (1931—1935):

Ձևայած Զրբաշյանը չի թողել և ոչ մի տպագիր աշխատություն (իր ժամանակին այդ անհնար էր մասնագիտական պարբերական մամուլի բացակայության պատճառով), սակայն նրա թողած ձեռագիր աշխատությունները (որոնց թիվը հասնում է երկու տասնյակի և գրված են շուրջ հինգ տասնամյակ առաջ) չեն կորցրել իրենց թարմությունը և հետաքրքրությունը: Դեռ ավելին, դրանցից շատերը՝ իրենց առաջադրած տեսական ու գործնական եզրակացություններով միանգամայն համապատասխանում են Հայաստանի երկրաբանության առանձին հարցերի ժամանակակից պատկերացումներին և խնդիրներին: Դրանք գրված են մեծ հետազոտողի հարուստ գիտելիքների ու փորձի, նյութի բազմակողմանի ու խոր մշակման և երկրաբանական առաջավոր մեթոդների կիրառման հիման վրա:

Սակայն, մեծ երախտավորի թողած պրավոր ժառանգությունը և գիտական վաստակը ամբողջական գնահատելու համար անհրաժեշտ է հիշատակել, որ շատ տարիներ անց երկրաբանական-հանքաբանական գիտությունների թեկնածու Ռուբեն Զրբաշյանը հոր ձեռագրերի հիման վրա տպագրության է պատրաստում «Մերձերևանյան շրջանի վերին երրորդականի նստվածքների ստորաբաժանումը և մի քանի տվյալներ նրանց նավթարերություն մասին» աշխատությունը (ՀԽՍՀ, ԳԱ Տեղեկագիր, Գիտություններ երկրի մասին, № 4, 1969):

Աշխատության հեղինակը հենվելով իր անձնական հետազոտությունների



և համաշխարհային մասնագիտական գրականության տվյալների վրա, առաջին անգամ վեր է հանում Մերձերևանյան շրջանի հնարավոր նավթաբերության պրոբլեմը, որը հիմնավորել է երկրաբանական, տեկտոնական, քարաբանական, հնէաբանական, հնէաշխարհագրական և նավթաբեր շրջանների կտրվածքների համադրման բաղմամբով, անվիճելի փաստերով:

Պրոֆ. Տիգրան Զրբաշյանը ակտիվ հասարակական գործիչ էր: Նա երկու անգամ՝ 1930 և 1933 թվականներին, ընտրվել է երևանի քաղաքային խորհրդի գործադիր կոմիտեի անդամ և երկու անգամ էլ՝ երկրաբանների Համամիութենական երրորդ համագումարի (Տաշքենդ, 1923), և Միջազգային 17-րդ երկրաբանական կոնգրեսի (Մոսկվա, 1937) պատգամավոր:

Բաղմամբաստակ երկրաբանը հանդիսացել է Հայաստանում երկրաբանական գիտելիքների առաջին տարածողներից մեկը: Նա բաղմիցս էլույթներ է ունեցել քաղաքի և գյուղի աշխատավորների տոջն՝ հանրապետության երկրաբանական կառուցվածքի, օգտակար հանածոների, լեռնահանքային արդյունաբերության զարգացման և երկրաշարժերի (Լենինական—1926, Գորիս—1931, Երևան—1937) հարցերին նվիրված ղեկուցումներով:

Պրոֆ. Զրբաշյանը եղել է Հայկական աշխարհագրական ընկերության հիմնադիր անդամներից մեկը: Նա անվանի աշխարհագրագետներ՝ Հ. Հովհաննիսյանի, Ս. Լիսիցյանի, Գ. Քոչարյանի, Ի. Ստեփանյանի և երկրաբաններ՝ Կ. Պաֆենհույցի, Հ. Կարապետյանի, Հ. Ստեփանյանի հետ ակտիվ մասնակցություն է հանդես բերել ընկերության և նրա նախագահության կողմից կազմակերպած բոլոր միջոցառումներին, առաջնակարգ նշանակություն է տվել աշխարհագրական գիտելիքների տարածման և գործնական կիրառման հարցերին:

Տիգրան Զրբաշյանը հանդիսացել է բնության պահպանության առաջին ջատագովներից մեկը: Աշխատելով Հայաստանի ջրից ու բուսականությունից ղուրկ շրջաններում, նա հասունեկ ուշադրություն է դարձրել այդ հարցերի վրա: Սիրելով հայրենի հողը, ջուրը և կանաչը, նա մեծ օգնություն է ցույց տվել տեղական իշխանություններին և գյուղի աշխատավորներին բնակավայրերը խմելու և ոռոգելու ջրով ապահովելու, ծառ ու կանաչ տարածելու, բնության շնորհած բարիքները պահպանելու, խելամիտ օգտագործելու և հարստացնելու ուղղությամբ:

Անվանի երկրաբան-մանկավարժը շափից տվելի հոգատար էր ու մարդկային բոլորի և հատկապես իր սաների ու գործընկերների նկատմամբ: Նա սիրված ու հարգված էր ամեն տեղ, ամենքից և մեծ հարգանք էր վայելում բարձր մտավորականության լայն շրջաններում: Գյուղի աշխատավորները «մեր ինչիների» անվան հետ էին կապում մեծ հույսեր, իրենց դաշտերում ու սարերում «հարստություններ» գտնելու և իրենց սերունդներին կրթելու և «մարդ դարձնելու» համար:

1935 թվին Հայաստանի կենտգործկոմը բարձր գնահատելով Տիգրան Զրբաշյանի գիտական, մանկավարժական և հասարակական ծառայությունները, նրան պարգևատրում է պատվոգրով:

1936—1937 թվականների անհատի պաշտամունքի, բնությունների և ողբերգությունների մամանակաշրջանը խոր հետք թողեց երկրաբան-մանկավարժի հոգեկան աշխարհի վրա: Նրան մեծ վիշտ պատճառեց Աղասի Խանջյանի սպանությունը (որի ուսուցիչն էր եղել Վանում, իսկ հետագա տարիներին ունեցել բնտանեկան մտերմություն), կուսակցական ու պետական ղեկավար աշխատողների և ակադեմիկոս մտավորականների ու գործընկերների ձերբակալությունները: Պատգամավոր Զրբաշյանին արգելեցին մեկնել Մոսկվա, Միջազգային 17-րդ երկրաբանական կոնգրեսի աշխատանքներին մասնակցելու համար:



1937 թվականի օգոստոսի 30-ին Տիգրան Ջրբաշյանը ավարտելով դաշտային աշխատանքները Գառնիից վերադարձավ Երևան, իսկ հետևյալ օրը ձերբակալվեց՝ խուզարկությունից հետո տարան նրա հարուստ գրադարանի գրքերը, բոլոր ձեռագրերը, փաստաթղթերը, նամակները և լուսանկարները։ Ժողովրդի մեծ բարեկամը դարձավ «Ժողովրդի թշնամի», «խանջյանական» և «ֆրանսիական լրտես»։ Ջրբաշյանի մեծ ու փափուկ սիրտը չդիմացավ կատարվող բռնություններին. նա վախճանվեց 1937-ի վերջերին՝ Երևանի բանտում։

Շատ տարիներ անց, երբ 1955 թ. անվանի երկրաբան-մանկավարժը արդարացվեց, հրապարակվեց մի շարք աշխատություններ և հոդվածներ, կազմակերպվեցին առանձին միջոցառումներ նրա հիշատակին և մեծարմանը նվիրված։

1966 թ. մարտին համալսարանում կազմակերպվեց պրոֆ. Տիգրան Ջրբաշյանի հիշատակին նվիրված հրեկո, որտեղ հուշերով հանդես եկան նրա սաները, աշխատանքային ընկերները և անվանի երկրաբաններ։ Հրապարակվում է բարձրագույն կրթության մինիստրության որոշումը՝ համալսարանի երկրաբանական ֆակուլտետի ընդհանուր երկրաբանության կաբինետը կոչել նրա անունով։

1979 թ. նոյեմբերին «Քարասերների հայկական ակումբի» նախաձեռնությամբ կազմակերպվում է հրեկո՝ նվիրված պրոֆ. Տիգրան Ջրբաշյանի ծննդյան 90-ամյակին։ Մեծ «քարասերի» մասին հուշերով և ելույթներով հանդես եկան երկրաբանական ծառայության և ակումբի ներկայացուցիչները։ Ջրբաշյանը հետմահու ընտրվում է Քարասերների հայկական ակումբի պատվավոր անդամ։

Ականավոր երկրաբան-մանկավարժը Հայաստանի երկրաբանական ծառայության ավագ սերնդի այն առաջավոր ներկայացուցիչներից մեկն էր, որն իր մի բանի գործընկերների հետ մեծ գործ կատարեց Հայաստանի երկրաբանական հետազոտման և ազգային կադրերի պատրաստման բնագավառում։ Նա առաջինը «հերկեց» մեր հանրապետության երկրաբանական «խոպանը», դարձավ նրա առաջին «սերմնացանը»՝ թողնելով գալիք սերունդներին «առատ բերքի հունձ»։

Ասում են ուսուցիչը չի ձերանում... Նրա սուրբ կերպարը մնում է անփոփոխ, մնում է այնպես, ինչպես կար ու փոխանցվում է գալիք սերունդներին։ Որպես անմոռաց հուշ մեզ թվում է, որ հիմա կգա մեր սիրելի ուսուցիչը, կգա իր բարի ժպիտով ու պայծառ մտքով, ճերմակ խալաթը հագին, գրքեր ու թղթեր թևի տակ, որ շարունակի ընդհատված դասը, կգա նա, անվանի երկրաբանը, արտահագուստը հազին, ուսուցարկը մեջքին, մուրճը ձեռքին, որ շարունակի ընդհատված դաշտային աշխատանքը...

Եվ այսօր նրա աշակերտներն ու գործընկերները, նրան ճանաչող ավագ սերնդի ներկայացուցիչները, նաև միջին ու կրտսեր սերնդի երկրաբանները, երախտադիտությամբ են հիշում իր գործին ու կոչմանը մինչև վերջ նվիրված բյուրեղյա, ապնիվ, մեծ քաղաքացիի ու հայրենասեր Մարդ-ուսուցչին և մխիթարվում նրա թողած գործով ու բարի անունով։



## НЕУТОМИМЫЙ ГЕОЛОГ-ПЕДАГОГ

(К 100-летию со дня рождения профессора  
Тиграна Джрбашяна)

Знаменитый геолог-педагог профессор Тигран Джрбашян—один из видных деятелей периода формирования геологической службы Армении. Его очень короткая, но весьма плодотворная жизнь и деятельность оказали большое влияние на подготовку национальных кадров-специалистов, а также на изучение геологического строения и полезных ископаемых. Он явился первым исследователем целого ряда минеральных ресурсов недр, первопроходцем нескольких научно-прикладных направлений в геологии республики. Особой заслугой Т. Джрбашяна является основание геолого-географического факультета Ереванского государственного университета.

Тигран Аршакович Джрбашян родился 9 ноября 1889 г. в гор. Ване (Западная Армения) в семье земледельца. Начальное образование получил в Санасарянском училище гор. Эрзрума и в Еремянской школе гор. Вана. Затем он переехал в гор. Тифлис, где в 1908—1912 г.г. учился и закончил Нерсисянскую школу.

В 1912—1915 гг. Т. Джрбашян работает учителем Центрального училища Айказяна в родном городе Ване.

В 1915 г., спасаясь от геноцида, семья Джрбашянов переселяется в Ереван. В 1915—1916 г.г. Т. А. Джрбашян работает в Аштаракской школе сирот Московского армянского комитета.

В 1916 г. семья Джрбашяна переезжает в гор. Тифлис. Здесь в 1916—1917 г.г. он работает учителем в школе-сирот Армянского благотворительного общества, а в 1917—1918 г.г.—в школе-сирот для беженцев при Нерсисянской школе.

В 1918—1920 гг. Т. Джрбашян учится на естественном факультете Закавказского университета и одновременно работает лаборантом кафедры минералогии Политехнического института у профессора Е. Гинзбурга. Богатый «мир камней» кабинета сыграл в его судьбе определяющую роль, и он решил посвятить себя геологии и горному делу.

В 1920 г. Т. Джрбашян уезжает в Париж и поступает в Сорбонну. Он посещает курсы по физико-математическим наукам, слушая таких выдающихся ученых как Альберт Эйнштейн, Мари-Кюри Складовская и др. Затем он поступает в Парижскую горную академию, которую успешно заканчивает в 1924 г., получив звание горного инженера.

Т. Джрбашян не удовлетворяется полученными в Горной академии знаниями и для их пополнения продолжает в Сорбонне слушать специальные курсы по геологическим дисциплинам. Одновременно он работает в Минералогическом кабинете Парижского естественно-исторического музея под руководством академика А. Лакруа и в палеонтологическом кабинете под руководством профессора Г. Боннэ.

Вскоре ему, как талантливому и перспективному специалисту, предлагают остаться в Париже или поехать в Абиссинию консультантом-советником по геологии при правительстве. Однако тоска по Армении и заветная мечта служения родному народу, заставляют его вернуться в Армению.

В конце 1925 г. Т. Джрбашян возвращается в Армению и в начале 1926 г. он приглашается на работу в Ереванский государственный университет, в качестве лектора по геологии, кристаллографии и полезным ископаемым. За короткое время ему удается создать кабинет по кристаллографии и полезным ископаемым.

В 1929 г. Джрбашяну присуждается звание доцента, а в 1935 г.—профессора.



В 1934 г. по инициативе Т. Джрбашяна совместно с выдающимся геологом, доктором-профессором О. Карапетяном при содействии ректора Университета Тиграна Мушегяна, в Университете создается геолого-географический факультет. Т. Джрбашян становится первым деканом этого факультета и одновременно заведующим кафедрой общей геологии, а также директором Научно-исследовательского института. Здесь проявились его блестящие способности научного работника, педагога и организатора учебного процесса. Он приложил большие усилия по созданию и расширению материально-технической базы преподавания и развертывания широкого фронта геологоразведочных работ в республике.

В условиях ограниченности квалифицированных кадров по специальным дисциплинам, Т. Джрбашян читает курсы лекций по геологии, кристаллографии, петрографии и методам разведки. Его завораживающие, поучительные лекции основывались на большом педагогическом опыте и широких энциклопедических знаниях. До этого он ряд лет преподавал на педагогическом и сельскохозяйственном факультетах университета, а позже на строительном и химическом факультетах Ереванского политехнического института.

Профессор Т. Джрбашян спланирует вокруг себя плеяду видных ученых и лекторов-профессоров: О. Карапетяна, О. Оганесяна, С. Лисициана; старших преподавателей: Г. Герзибашяна, П. Гамбаряна, О. Степаняна, Б. Вардапетяна, П. Оганесяна и др., обеспечивая тем самым высокий уровень преподавания геологических дисциплин.

Для организации теоретических и практических занятий Т. Джрбашян из соответствующих учреждений Москвы, Ленинграда и Парижа, благодаря своим дружеским связям с геологами-преподавателями, приобретает для создания факультета микроскопы, коллекции пород и минералов, наглядные пособия. Многие из них используются до сегодняшнего дня в процессе преподавания и с любовью сохраняются, как частицы памяти о большом сподвижнике.

В летние месяцы 1935—1937 г.г. профессор Т. Джрбашян руководит учебной геологической практикой студентов в Приереванском районе с крайне разнообразным геологическим строением, преподает основы картирования, геологической съемки, составления разрезов, сбора, документации и обработки полевого материала.

Научно-педагогическая деятельность Т. Джрбашяна не ограничивалась чтением лекций, он проводил большую работу по составлению учебных программ, созданию специальных теоретических и практических пособий на армянском языке. Владея в совершенстве несколькими иностранными языками, Т. Джрбашян занимался переводами и терминологической работой. Заслуживает упоминания составленный им словарь геологических терминов и курс общей геологии на армянском языке, которые, к сожалению, не дошли до нас.

Заслуженный педагог явился воспитателем многих представителей старшего поколения геологической службы Армении. Многие из его студентов в настоящее время являются известными представителями науки и производства республики. Старейшие лектора геологического факультета Ереванского государственного университета—его ученики: А. Габриелян, Т. Татевосян, В. Асратян, С. Бальян, Б. Вартапетян, А. Назарян, Л. Авакян, а также сотрудники объединения «Армгеология»: П. Саргсян, А. Амроян, Т. Цоголакян и др. Профессор Т. Джрбашян был научным руководителем первых аспирантов в области геологических наук в Армении—С. Лусяна (вулканология) и С. Мовсисяна (петрография, металлогения).

Не менее плодотворной была научно-исследовательская и производственная деятельность профессора Т. Джрбашяна. Примерно в течение одного десятилетия он занимался исследованием геологического строения некоторых районов республики, изучением и разведкой ряда рудных полезных ископаемых. Он был одним из редких предста-



вителей нашей интеллигенции, который совмещал в своей деятельности научные и практические проблемы.

Еще в 1926 г., когда доктор-профессор О. Карапетян возглавлял восстановительные и разведочные работы на медных месторождениях Армении (Алаверди, Кафан и др.), Т. Джрбашян сотрудничал с ним как инженер-геолог, занимаясь вопросами направления геологоразведочных работ в Алавердских рудниках.

В 1927—1935 г.г. Т. Джрбашян работал в горном отделе Совнархоза Армении, а затем в Научно-исследовательском институте прикладной геологии и минералогии народного хозяйства Армении, а позднее, в 1935—1937 г.г., также и в Геологическом институте Армянского филиала Академии наук в качестве горного инженера, консультанта, начальника поисково-разведочных отрядов и научного сотрудника.

В эти годы он разворачивает большие работы в Приереванском, Абовянском, Разданском районах АрмССР по обнаружению, изучению и использованию новых источников минерального сырья. Результаты этих работ обобщены в многочисленных отчетах, докладных записках и заключениях, часть из которых хранится в фондах научно-производственного объединения «Армгеология». Из них заслуживают упоминания отчеты по изучению месторождений вулканических песков, пемз, диатомитов (Элар, Ново-Николаевка, Сухой фонтан, Нурнус), оникса (Ахамзалу-Ахбаш), серы (Кетанлу), барита (Ахтала, Кохб), конгломератов (Джархеч), гипсов (Джрвеж), полудрагоценных камней (Иджеван), перлит-обсидианов (Талин) и т. д. Эти отчеты Т. Джрбашяна явились теми первоисточниками, которые выдвинули и обосновали ведущую роль и значение неметаллических полезных ископаемых для народного хозяйства Армении и получили самое широкое применение в наши дни.

Т. Джрбашян придавал большое значение систематическому, планомерному изучению геологического строения и полезных ископаемых Армении. С этой целью он поддерживал и укреплял тесное творческое содружество с ведущими учеными-геологами Москвы и Ленинграда—Ф. Левинсон-Лессингом, К. Паффенгольцем, П. Лебедевым, С. Кузнецовым, А. Турцевым, В. Котляром, В. Грушевым и др., которые проводили исследования в бассейне оз. Севан, в пределах Арагацкого вулканического массива, в Зангезурском, Алавердском рудных районах и внесли неоценимый вклад в создание научной геологической базы и школы в Армении. Многолетние теплые, дружеские и весьма уважительные отношения сложились у него с В. Н. Лодочниковым и основоположником грузинской геологической школы А. И. Джанелидзе.

На основе детальных исследований геологии Приереванского района Т. Джрбашяном была составлена схема стратиграфического расчленения третичных отложений, основанная на палеонтологических определениях, которая рассматривалась в качестве одного из классических эталонов для территории Юга СССР. Т. Джрбашян научно обосновал необходимость постановки в Приереванском районе разведочных работ на: туф, базальты, каменную соль, гипс, глины, перлиты, пемзы и т. д. Он неоднократно повторял, что геология Приереванского района «является тем ключом, который может открыть тайны, скрытые в третичных толщах республики, расширит целый ряд пока невыясненных и спорных вопросов». Т. Джрбашян первым выдвинул проблемы соленосности и нефтеносности этого района.

Значителен вклад Т. Джрбашяна в разрешение инженерно-геологических проблем, которые возникали в связи с расширением в республике производственного и гражданского строительства. Будучи членом правительственных комиссий, он оказывал непосредственное содействие в работах проектных и строительных организаций, представлял докладные записки и инженерно-геологические заключения по участкам Ереванской ГЭС, по трассам Южного и Юго-Восточного



оросительных каналов, по ликвидации последствий Горисского землетрясения 1931 г., по оползневым участкам отдельных поселений и т. д.

Несмотря на то, что Т. Джрбашян не оставил ни одного опубликованного научного труда (из-за отсутствия в то время специальной периодической печати), его рукописное наследие и по сей день не потеряло своей актуальности и научного интереса. Более того, многие из его работ по теоретической постановке вопросов и практическим рекомендациям соответствуют современным требованиям и задачам геологии Армении.

Профессор Т. Джрбашян был активным общественным деятелем. Дважды, в 1930 и 1933 гг., он избирался членом Исполкома Ереванского городского совета депутатов. Он был делегатом III Всесоюзного съезда геологов (Ташкент, 1923 г.) и делегатом 17-го Международного геологического конгресса (Москва, 1937 г.). Неутомимый геолог, он был одним из активных распространителей геологических знаний в Армении, неоднократно выступал с лекциями, посвященными вопросам полезных ископаемых, вулканизма, развития горнодобывающего производства, землетрясений и т. д. Т. Джрбашян был одним из учредителей Армянского географического общества. Совместно с известными географами: О. Оганесяном, С. Лисицианом, Г. Кочаряном и др. он активно участвовал в мероприятиях, организуемых обществом, широко пропагандировал географические знания, призывал беречь водные и растительные ресурсы родной природы, придавая большое значение экологическим проблемам. В частности, он был большим противником проектов по спуску вод оз. Севан.

Т. Джрбашян был исключительно заботливым и человечным к своему окружению, к семье, своим коллегам и студентам. Он пользовался большой любовью и огромным уважением повсеместно, его авторитет был очень высок в кругах творческой интеллигенции республики. Жители районов, с которыми ему часто приходилось общаться, с именем «нашего инженера» связывали большие надежды на обнаружение именно в недрах «их гор» скрытых богатств и улучшение их благосостояния, а также на оказание реальной помощи детям в получении высшего образования, и они не ошибались в своих ожиданиях.

В 1935 г., высоко оценивая научную, педагогическую и общественную деятельность Т. Джрбашяна, Центральный исполнительный комитет Армении наградил его Почетной грамотой.

Т. Джрбашян очень тяжело пережил трагические события массовых репрессий периода культа личности: убийство А. Ханджяна, чьим учителем был он в Ванской начальной школе, незаслуженные и непонятные аресты многих близких ему людей — профессоров, врачей, писателей, ученых. Эта же трагическая участь не миновала и его самого. 30 августа 1937 г. Т. Джрбашян вернулся в Ереван с экспедиционных работ, а ночью 31 августа он был арестован. Кристально честный, доброжелательный к людям, большой патриот был заклеен «врагом народа» и стал жертвой жестоких репрессий. Лишь много лет спустя, в 1955 г. Т. Джрбашян был посмертно полностью реабилитирован, и ему было возвращено доброе имя большого Человека и Гражданина.

В 1966 г. по решению Министерства Высшего образования АрмССР кабинету общей геологии геологического факультета Ереванского университета присвоено имя Т. Джрбашяна.

В 1979 г. по инициативе Клуба любителей камня Армении организуется торжественный вечер памяти Т. Джрбашяна и за большие заслуги в изучении полудрагоценных и поделочных камней и первые геологические исследования в Армении он посмертно был избран почетным членом Клуба любителей камня Армении.

Знаменитый педагог-геолог Т. Джрбашян был представителем первого поколения периода становления геологической службы Армении, он сыграл большую роль в деле подготовки национальных геологических кадров республики.



Говорят, что учитель не стареет... Его светлый образ остается в памяти благодарных учеников и передается последующим поколениям. Незабываемым воспоминанием сохранилось в нашей памяти, как придет сейчас наш любимый учитель, придет с доброй улыбкой, ясным умом, в белом халате и с книгами в руках. Придет, чтоб продолжить прерванную лекцию, продолжить прерванную экспедиционную работу.

И сегодня его ученики и коллеги, геологи старшего поколения и все знающие его с признательностью вспоминают имя Т. Джрбашяна — большого гражданина и патриота, бесконечно преданного своему призванию и долгу.

Известия АН АрмССР. Науки о Земле, 1989, XI II, № 5, 15—22

УДК 553.078.2:629.78

Г. Р. БАГДАСАРЯН, В. З. САХАТОВ

### АНАЛИЗ РЕГИОНАЛЬНОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ В АЙОЦДЗОРСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

В настоящее время в практике геологических работ широко применяется электронно-вычислительная техника, что способствует максимальному извлечению геологической информации по материалам дистанционных съемок.

В статье рассмотрены результаты автоматизированной обработки схем дешифрирования космических снимков (КС). Данный метод впервые использован для выявления узлов повышенной эндогенной активности и изучения закономерностей пространственного размещения эндогенного оруденения в Айоцдзорском рудном районе.

При определении взаимоотношений между зонами минерализации и тектоническими нарушениями в большинстве случаев применяется качественный подход к дешифрированию КС. Вместе с тем предлагаются методы и количественного анализа тектонической трещиноватости: построение карт показателей искаженности поля линеаментов [3], карт аномалий густоты трещиноватости избранных простираний с показом густоты в изолиниях [1], построение роз-диаграмм трещиноватости и др., но во всех случаях эти построения довольно трудоемки и сложны. Использованный метод автоматизированной обработки также основан на количественных показателях, однако он существенно облегчает и дополняет получение информации о тектоническом строении и металлогении района, исключая многие трудоемкие виды обработки данных дешифрирования.

При дешифрировании дистанционных изображений земной поверхности в первую очередь обращают на себя внимание области с резкой сменой границ ландшафтов, нарушения сплошности фототона и рисунка изображения. Подобные нарушения во многих случаях соответствуют нарушениям сплошности в геологических образованиях. Некоторые из них идентифицируются с известными геологическими разломами, другие накладываются на геологическую структуру региона, контролируя размещение известных геологических образований.

В настоящее время накоплено множество данных о том, что спрямленные элементы орогидрографии и ландшафта отражают закономерности тектонической трещиноватости (или «мегатрещиноватости» — в отличие от трещин в горных породах), при этом протяженность отдельных элементов может изменяться в широких пределах — от мелких локальных трещин до крупных протяженных линеаментов.

При выявлении элементов региональной трещиноватости в Айоцдзорском рудном районе были использованы космические цветные спектрональные снимки масштаба 1:200 000 (30×30 см), на основе



Говорят, что учитель не стареет... Его светлый образ остается в памяти благодарных учеников и передается последующим поколениям. Незабываемым воспоминанием сохранилось в нашей памяти, как придет сейчас наш любимый учитель, придет с доброй улыбкой, ясным умом, в белом халате и с книгами в руках. Придет, чтоб продолжить прерванную лекцию, продолжить прерванную экспедиционную работу.

И сегодня его ученики и коллеги, геологи старшего поколения и все знающие его с признательностью вспоминают имя Т. Джрбашяна — большого гражданина и патриота, бесконечно преданного своему призванию и долгу.

Известия АН АрмССР. Науки о Земле, 1989, XI II, № 5, 15—22

УДК 553.078.2:629.78

Г. Р. БАГДАСАРЯН, В. З. САХАТОВ

### АНАЛИЗ РЕГИОНАЛЬНОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ В АЙОЦДЗОРСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

В настоящее время в практике геологических работ широко применяется электронно-вычислительная техника, что способствует максимальному извлечению геологической информации по материалам дистанционных съемок.

В статье рассмотрены результаты автоматизированной обработки схем дешифрирования космических снимков (КС). Данный метод впервые использован для выявления узлов повышенной эндогенной активности и изучения закономерностей пространственного размещения эндогенного оруденения в Айоцдзорском рудном районе.

При определении взаимоотношений между зонами минерализации и тектоническими нарушениями в большинстве случаев применяется качественный подход к дешифрированию КС. Вместе с тем предлагаются методы и количественного анализа тектонической трещиноватости: построение карт показателей искаженности поля линеаментов [3], карт аномалий густоты трещиноватости избранных простираний с показом густоты в изолиниях [1], построение роз-диаграмм трещиноватости и др., но во всех случаях эти построения довольно трудоемки и сложны. Использованный метод автоматизированной обработки также основан на количественных показателях, однако он существенно облегчает и дополняет получение информации о тектоническом строении и металлогении района, исключая многие трудоемкие виды обработки данных дешифрирования.

При дешифрировании дистанционных изображений земной поверхности в первую очередь обращают на себя внимание области с резкой сменой границ ландшафтов, нарушения сплошности фототона и рисунка изображения. Подобные нарушения во многих случаях соответствуют нарушениям сплошности в геологических образованиях. Некоторые из них идентифицируются с известными геологическими разломами, другие накладываются на геологическую структуру региона, контролируя размещение известных геологических образований.

В настоящее время накоплено множество данных о том, что спрямленные элементы орогидрографии и ландшафта отражают закономерности тектонической трещиноватости (или «мегатрещиноватости» — в отличие от трещин в горных породах), при этом протяженность отдельных элементов может изменяться в широких пределах — от мелких локальных трещин до крупных протяженных линеаментов.

При выявлении элементов региональной трещиноватости в Айоцдзорском рудном районе были использованы космические цветные спектрональные снимки масштаба 1:200 000 (30×30 см), на основе



дешифрирования которых составлена исходная схема трещиноватости района (рис. 1 а).

Спрямоленные эрозионные формы, прямолинейные фрагменты речных долин и водоразделов, протяженные уступы в рельефе, резкая линейная смена мезо- и микроформ рельефа и элементов ландшафта, границы геологических структур и, наконец, трещины и разрывы, непосредственно фиксируемые на земной поверхности, были выявлены по КС и нанесены на схему трещиноватости, образуя сложную сеть пересекающихся линий. Последние обладают параметрами, поддающимися измерению: длиной, ориентировкой и густотой или плотностью (суммарная длина спрямоленных элементов на единицу площади). При этом, во избежание чрезмерной «загруженности» схемы и случайных ошибок при определении прямолинейности и ориентировки выделяемых элементов, был установлен минимальный ценз отбора в 2 мм.

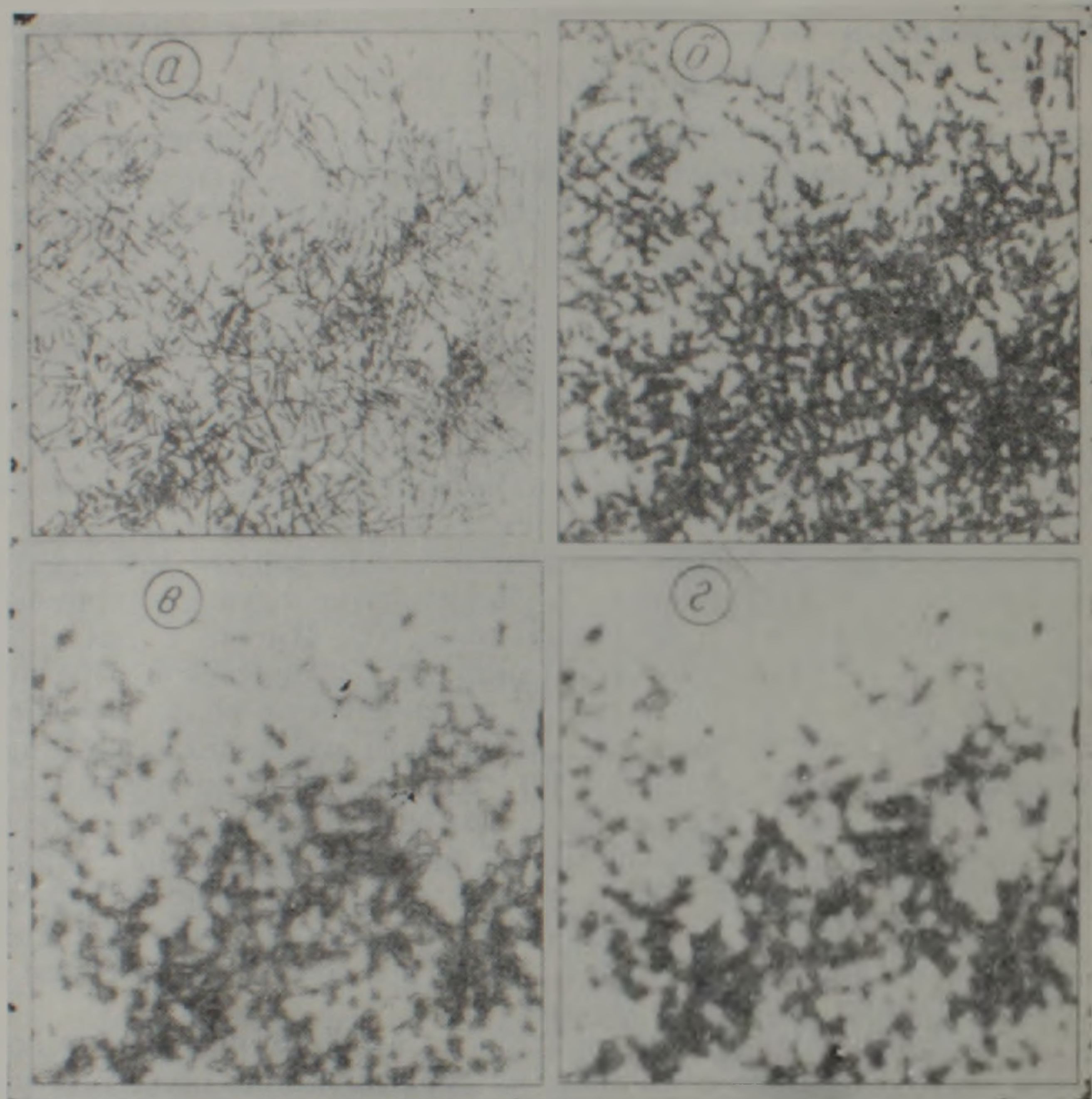


Рис. 1 а—исходная схема дешифрирования трещиноватости; б, в, г—карты плотности трещиноватости с различным уровнем сглаживания (в 5, 10, 15 раз), полученные на «Периколор—200».

Полученная таким образом сложная сеть взаимопересекающихся трещин отражает поле тектонической напряженности региона, в котором проявлены определенные системы нарушений, выступающих в качестве основного структурного каркаса для данного региона и подчиняющихся, в свою очередь, общим (планетарным) направлениям.

Несмотря на то, что при дешифрировании КС наличие ортогональной и диагональной сети линеаментов устанавливается повсеместно для обширных регионов и даже целых материков, однако не всегда



системы трещин для каждого региона подчинены указанным направлениям. Поэтому необходимо учитывать и физико-литологические, и структурно-тектонические особенности данного района [1].

Поскольку визуальное выделение прямолинейных и кольцевых систем трещин на исходной схеме трещиноватости затруднительно, необходимы последующие преобразования этой схемы. Этого можно достичь, прежде всего, последовательным фотоуменьшением исходной схемы в несколько раз, при котором на уменьшенном фотоизображении становится возможным выявление наиболее характерных структурных планов изучаемого региона, удастся проследить некоторые фрагменты протяженных зон повышенной трещиноватости, узлы пересечения этих зон, интересные с точки зрения возможных рудопроявлений и т. д.

Для изучения закономерностей размещения эндогенного оруденения и для определения взаимоотношений между зонами минерализации и зонами аномально повышенной трещиноватости наиболее интересные данные может дать метод автоматизированной обработки исходной схемы трещиноватости на ЭВМ. Данный метод позволяет получать для последующего анализа несколько вариантов карт с различной степенью генерализации.

Отдешифрованная по КС схема трещиноватости после уменьшения ее до размеров 18×18 см была обработана на цифровой интерактивной системе «Периколор—200» (Франция). Эта система предусматривает автоматический ввод полутоновых и бинарных (черно-белых) изображений, которые при этом переводятся в цифровые представления, т. е. аппроксимируются матрицей дискретных значений оптической плотности. В результате последовательного выполнения преобразований, связанных с «размывкой» изображения, фильтрацией, подчеркиванием контуров, получены изолинейные схемы с наглядным разделением по плотности тона изображения областей с различным характером (различной плотностью) трещинной сети. Интенсивностью окраски на схемах показаны области, различающиеся по плотности распределения трещин. Наиболее темной окраске соответствуют области с максимальной плотностью трещин. В зависимости от степени сглаживания (в 5, 10, 15 раз) получены карты плотности трещиноватости с различным уровнем генерализации (рис. 1, б, в, г). По каждому уровню в отдельности составлены схемы интерпретации, а результаты анализа сведены воедино на представленной итоговой схеме с выделением наиболее характерных структурных линий по всем трем уровням сглаживания (рис. 2).

Наблюдается хорошая сходимость полученных результатов с результатами обычного дешифрирования, особенно для линейных структур общекавказского СЗ простирания. Так, например, при анализе карт плотностей подтвердились (в пределах снимков) ранее выделенные по КС различных уровней генерализации протяженные линейные структуры I порядка по направлению Азатек-Ахавнадзор-Гидасар, Кечут-Каракая-влк. Армаган и некоторые другие линеаменты продольного простирания.

Вместе с тем анализ карт плотностей трещиноватости в основном подтверждает, а в ряде случаев и дополняет число выявленных при традиционном дешифрировании сквозных зон тектонических нарушений антикавказского СВ (по направлению Азатек-Джермук—г. Кетидог, Арени—г. Тексар-Гюллидуз), а также субширотного и субмеридионального простирания, играющих, как было установлено ранее [4, 6, 7], большую роль в локализации оруденения в Айоцдзорском районе. В частности, на приведенных схемах отчетливо выделяются структуры субмеридионального азимута простирания, которые на КС выражены наименее отчетливо.

Вышеуказанные зоны нарушений проявляются на картах плотностей в виде прямолинейных прерывистых полос с интенсивной окрас-



кой и в сущности представляют собой зоны с аномально повышенной трещиноватостью и относятся к числу неявно выраженных на поверхности глубинных зон тектонических нарушений с повышенной магмопроницаемостью. Узлы пересечения указанных линейных структур со структурами продольного простирания соответствуют на картах плотностей участкам с максимумом трещиноватости.

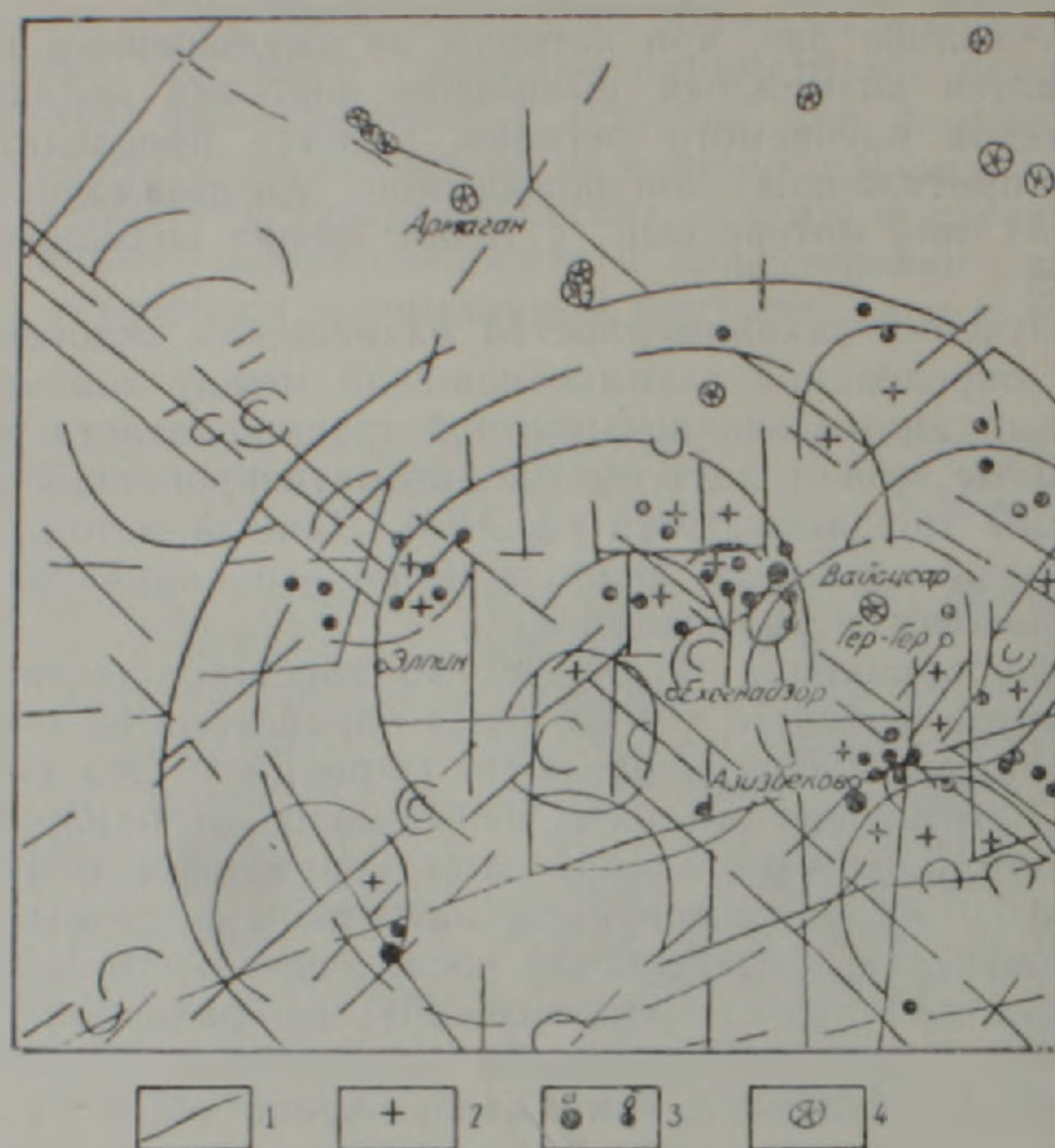


Рис. 2. Итоговая схема интерпретации поля трещиноватости. 1—главные структурные линии по трем уровням сглаживания; 2—максимумы трещиноватости в кольцевых структурах, их секторах и сегментах; 3—рудные месторождения (а), проявления (б); 4—вулканические постройки.

Дальнейшее изучение этих узлов непосредственно по аэрофотоснимкам крупных масштабов имеет большое значение при прогнозировании оруденения, поскольку на детальном уровне генерализации узлы пересечения выглядят уже как самостоятельные блоки, размеры которых зависят от ширины перескакающих зон разломов. Эти блоки, называемые аномальными, специфичны по своему внутреннему строению за счет более интенсивной тектонической проработки и отличаются более интенсивной насыщенностью магматическими образованиями разного типа—малыми интрузиями, дайками, субвулканическими телами и т. д. [2].

Если учесть, что размещение оруденения в пределах Айондзорского рудного района носит линейно-узловой характер, а наиболее перспективными являются участки, где благоприятно сочетаются структурный и магматический факторы [5], то выявление и изучение подобных узлов на картах плотностей трещиноватости является одной из основных задач при прогнозировании рудоносности района.

Таким образом, в строении поля густоты трещиноватости и в распределении аномалий можно отметить влияние не только всех выделенных обычным дешифрированием структурных направлений, но и существенно дополнить и уточнить позицию в общем структурном плане сквозных, секущих зон нарушений и «скрытых» разломов фундамента.

Наибольший качественный прирост информации получен при анализе кольцевых и дугообразных структур разных порядков, которые



не выявляются на исходной схеме трещиноватости и с трудом выделяются при обычном дешифрировании снимков.

В центральной части карт плотностей линеаментов отчетливо видна серия концентрических, «вложенных» друг в друга, кольцевых структур. При этом, в структуре I-го порядка (в масштабах региона) наблюдается относительно меньшая плотность трещиноватости по краям и максимальная—в центре. Большие количество отдельных кольцевых структур II-го порядка как бы «обкручивают» эту структуру и размещаются по ее периферии, а структуры еще более высоких порядков локализируются в пределах сквозных зон СВ простирания и трассируют их на всем протяжении.

Вся структура I-го порядка приблизительно соответствует площади рудного района (в пределах снимков). Кольцевые и дугообразные структуры II-го порядка разбиваются линейными структурами всех вышеперечисленных направлений на отдельные секторы и сегменты, в которых резко преобладают либо максимумы плотности трещиноватости, либо минимумы. Некоторые из этих структур вулкано-плутонического происхождения пространственно связаны с ареалами распространения субвулканических и интрузивных пород (Газминская, Азизбековская интрузии), или непосредственно с вулканическими постройками (влк. Вайоцсар). Другие же можно отнести к числу кольцевых структур неясного генезиса, например, центральную крупную структуру, сформированную в эоценовых вулканогенно-осадочных образованиях.

Если рассматривать в этой системе положение известных рудных полей (Газминское, Азатекское, Советашен-Элпинское), то выявляется довольно четкая пространственная связь последних с теми секторами и сегментами кольцевых структур, где преобладают максимумы трещиноватости. При сопоставлении схемы размещения месторождений и проявлений рудных полезных ископаемых с приведенной схемой интерпретации, эта связь подтверждается практически для всех известных месторождений и проявлений (Газминское и Гюмушлугское полиметаллические месторождения, Азатекское месторождение редких металлов и сурьмы, Эрдапинское, Прошибердское, Гер-герское, Вернашенское проявления свинца и цинка и многие другие) (рис .2).

Таким образом, исходя из анализа карт плотности трещиноватости, можно заключить, что в строении поля трещиноватости Айондзорского района участвуют линейные структуры, относящиеся к ортогональной и диагональной системам простираний, а также кольцевые структуры разных порядков, проявленные на картах в виде полосовых и дуговых аномалий трещиноватости. Изучая взаимоотношения этих структур, их влияние на пространственное распределение рудных полезных ископаемых, можно выявить определенные закономерности в размещении последних по площади рудного района и использовать эти закономерности для более целенаправленных поисково-разведочных работ.

Так, например, на схемах интерпретации довольно большое число секторов и сегментов кольцевых структур с резким преобладанием максимумов трещиноватости остается за пределами известных рудных полей. Поэтому, основываясь на приведенных выше построениях, можно считать эти площади наиболее благоприятными для процессов рудообразования, а полученные данные использовать при составлении прогнозно-металлогенических карт Айондзорского рудного района.





# ՀԱՅՈՑԾՈՐԻ ՀԱՆՔԱՅԻՆ ՇՐՋԱՆԻ ՌԵԴԻՈՆԱԿ ԸՆԴՔՎԱԾՔԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ՏԻԵՋԵՐԱԿԱՆ ՆԱԽՆԵՐԻ ՎԵՐՄԱՆՄԱՆ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՄՇԱԿՄԱՆ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ

## Ա մ փ ո փ ու մ

Հոգվածում դիտարկված են տիեզերական նկարների վերծանման սխեմաների ավտոմատացման մշակման արդյունքները: Տվյալ մեթոդը առաջին անգամ է օգտագործվում ներծին բարձր ակտիվության հանգույցների հայտնաբերման համար և Հայոցճորի հանքային շրջանի ներծին հանքայնացման տարածքային տեղադրման օրինաչափությունները ուսումնասիրելիս: Դա էապես հեշտացնում և լրացնում է շրջանի տեկտոնական կառուցվածքի և մետաղածնության վերաբերյալ տեղեկատվության ստացումը, բացառում է վերծանված նյութերի մշակման աշխատատար շատ ձևեր:

Հայոցճորի հանքային շրջանի ռեգիոնալ ճեղքվածքավորության տարրերը բացահայտելիս օգտագործվել են տիեզերական գունավոր սպեկտրազոնալ 1:200000 մասշտաբի նկարներ: Դրանց վերծանման հիման վրա կազմվել է շրջանի ճեղքվածքավորության նախնական սխեմա, որն արտացոլում է ռեգիոնի տեկտոնական լարվածության դաշտը: Վերջինում արտահայտված են խախտումների որոշակի համակարգեր, որոնք հանդես են գալիս որպես տվյալ ռեգիոնի կառուցվածքային հիմնականաբար Քսևի որ նախնական սխեմայի վրա ճեղքերի ուղղագիծ և օղակային համակարգերի տեսողական բացահայտումը դժվարին գործ է, ապա անհրաժեշտություն է առաջանում վերափոխումներ կատարել հաշվիչ մեքենայով, որը թույլ է տալիս ստանալ ճեղքային ցանցի խտության քարտեզների մի քանի տարբերակ՝ ընդհանրացման տարրերի աստիճաններով:

Վերծանման նախնական սխեմա մշակվել է թվային միջակտիվային «Պերկոլոր—200» համակարգի վրա: Հաշվիչ մեքենայի օգնությամբ հաջորդական փոփոխումներ կատարելով ստացվել են իզոգծային սխեմաներ, որոնց վրա առավել ինտենսիվ գունավորմամբ համապատասխանում են ճեղքվածքավորության առավելագույն խտության շրջանները: Հարթեցման աստիճանից կախված (5, 10, 15 անգամ) ստացվել են տարբեր ընդհանրացման աստիճանի ճեղքվածքավորության խտության քարտեզներ, որոնց մեկնաբանման արդյունքները ներկայացված են վերջնական սխեմայի վրա առավել բնորոշ կառուցվածքային տարրերի ընդգծմամբ՝ հարթեցման բոլոր երեք աստիճաններում:

Վերջնական սխեմայի վերլուծությունն ապացուցում, իսկ մի շարք դեպքերում նաև լրացնում է սովորական վերծանմամբ նախկինում բացահայտված խախտումների գոտիների թիվը, ինչպես երկայնակի, այնպես էլ լայնակի տարածմամբ: Այդ գծային կառույցների հատման հանգույցները սխեմայի վրա համապատասխանում են առավել ճեղքվածքավորություն ունեցող տեղամասերին: Հաշվի առնելով, որ հանքայնացման տեղաբաշխումը Հայոցճորի հանքային շրջանում կրում է գծա-հանգուցային բնույթ, իսկ առավել հեռանկարային են համարվում այն տեղամասերը, որտեղ բարենպաստորեն զուգակցվում են կառուցվածքային և մագմայական գործոնները, ապա նման հանգույցների հայտնաբերումը և ուսումնասիրումը ճեղքվածքավորության խտության քարտեզների վրա հանդիսանում է շրջանի հանքաբերության կանխագուշակման հիմնական խնդիրներից մեկը:

Տեղեկատվության առավել մեծ որակական աճ է ստացվել օղակային և աղեղնաձև կառույցների վերլուծման ժամանակ, որոնք չեն բացահայտվում



ուչ ճեղքվածքավորության նախնական սխեմայի վրա, ոչ էլ տիեզերական նկարների սովորական վերծանման ժամանակ:

Խտությունների քարտեզների կենտրոնական մասերում հստակորեն արտահայտված է մի շարք համակենտրոն օղակային կառույցներ, ընդ որում, առաջին կարգի կառույցի մակերեսը մոտավորապես համապատասխանում է հանքային շրջանի մակերեսին: Մեծ թվով երկրորդ կարգի կառույցներ տեղադրված են նրա ծայրամասերում, իսկ ավելի բարձր կարգի կառույցները տեղաբաշխված են հյուսիս-արևելյան տարածման միջանցիկ գոտիներում:

Գծային կառույցները օղակայիններին մոտենալով են առանձին սեկտորների և սեգմենտների, որոնցում կտրուկ գերիշխում են ճեղքվածքավորության խտության կամ մինիմումները, կամ մաքսիմումները:

Եթե այդ դիրքերից դիտարկենք շրջանի հայտնի հանքադաշտերի դիրքերը, ապա ի հայտ է գալիս վերջիններիս բավականին հստակ տարածական կապն օղակային կառույցների այն սեկտորների և սեգմենտների հետ, որոնցում գերիշխում են ճեղքվածքավորության մաքսիմումները:

Հանքայնացման տեղաբաշխման նյութերը և բերված մեկնաբանման սխեմաները համադրելիս այդ կապը հաստատվում է գործնականորեն բոլոր հայտնի հանքավայրերի և հանքային երևակումների համար:

Դրա հետ մեկտեղ, ճեղքվածքավորության մաքսիմում ունեցող օղակային կառույցների սեկտորների և սեգմենտների բավականին մեծ թիվ մնում է հայտնի հանքադաշտերի սահմաններից դուրս: Հիմնվելով վերոհիշյալ տվյալների վրա, այդ տարածքները կարելի է համարել առավել բարենպաստ հանքագոյացման համար:

Այսպիսով, ուսումնասիրելով վերոհիշյալ կառույցների փոխհարաբերությունները, նրանց ազդեցությունը մետաղային օգտակար հանածոների տարածական տեղաբաշխման վրա, կտրելի է հայտնաբերել որոշակի օրինաչափություններ և օգտագործել դրանք առավել նպատակաուղղված որոնողա-հետախուզական աշխատանքներում:

H. R. BAGHDASARIAN, V. Z. SAKHATOV

## THE ANALYSIS OF REGIONAL JOINTING OF THE HAYOTSDZOR ORE REGION ON THE BASIS OF AUTOMATIZED PROCESSING OF SPACE IMAGE DATA

### A b s t r a c t

A method of the automatized computer processing is described in this paper. It is based on the quantitative values, which makes it easier to get information on the tectonic structure and the metallogeny of the territory. A scheme of jointing, obtained from satellite images, is processed by the digital interactive processing system „Pericolor-200“ (France). As a result of a series of transformations, aimed for eliminating the effects of image blurring, as well as filtering and retouching the contours, schemes of isolines are produced, which have an easily interpretable gray tone density separation between the images of the regions with different densities of jointing.



1. Акимова Е. В. Дешифрирование региональной трещиноватости.—В кн.: Анализ космических снимков при тектоно-магматических и металлогенических исследованиях. М.: Наука, 1979, с. 19—27.
2. Гальперов Г. В., Антипов В. С., Астахов В. И., Рундквист И. К. Методика применения аэро- и космоснимков и геофизических данных при прогнозно-металлогенических исследованиях. — В кн.: Металлогенические и тектоно-магматические исследования на основе материалов аэро- и космосъемок. Л.: Недра, 1988, с. 22—55.
3. Кукушкин Л. А., Ян Г. Х. Некоторые вопросы анализа линейamentов (по данным дешифрирования космических снимков). — Исследование Земли из космоса, 1983, № 1, с. 51—56.
4. Мартиросян С. В., Багдасарян Г. Р., Сахатов В. З., Марков Е. И. Структурная позиция одного из полиметаллических месторождений Малого Кавказа по данным космических снимков. — Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1988, т. 41, № 1, с. 20—30.
5. Пиджян Г. О., Карапетян А. И., Садоян А. А., Асланян П. М. Геологическое строение и рудоносность бассейна реки Арпа Армянской ССР. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1982, 178 с.
6. Сахатов В. З., Панцулая В. В., Марков Е. И. Кавказско-Таврский регион Средиземноморского подвижного пояса. — В кн.: Металлогенические и тектоно-магматические исследования на основе материалов аэро- и космосъемок. Л.: Недра, 1988, с. 56—121.
7. Яковлев Н. А., Сахатов В. З., Скублова Н. В., Марков К. А. Применение космических снимков при региональном металлогеническом анализе складчатых областей. Л.: Недра, 1986, 160 с.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XLII, № 5, 22—35

УДК: 551.24.03+551.14

А. Т. АСЛАНЯН, Л. С. КАЗАРЯН

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ ЗЕМЛИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИТОСФЕРЫ

Литосфера Земли в изостатическом состоянии равновесия имеет минимальную потенциальную энергию. Причем, из-за высоких уровней напряженного состояния в ней возникают зоны разломов, играющие роль пластических шарниров, которые расчленяют литосферу на множество блоков, которые в свою очередь уравниваются по принципу изостазии. В настоящей статье делается попытка на основе деформационной теории пластичности исследовать устойчивость литосферы, рассматриваемой как пластина на упругом основании, находящаяся в условиях нарастающего нагружения, в которой учтены деформации поперечного сдвига. Для различных значений параметров литосферы вычислены значения критических давлений.

В заключении рассмотрены некоторые вопросы связи устойчивости литосферы с общими геодинамическими условиями среды.

### А. Некоторые общие предпосылки

В перечне факторов, определяющих тектоническую активность Земли, обычно указываются изменения внутреннего объема (контракция, экспансия, пульсация), уменьшение эллиптичности (полярного сжатия), обусловленное приливным замедлением вращения планеты (ротационная динамика), изменение положения толщи Земли в отношении оси вращения и связанное с этим переформирование фигуры, процессы перераспределения масс в толще Земли (продолжающиеся процессы тепломассопереноса, гравитационной дифференциации изостатических движений, эрозии и аккумуляции, конвекции, субдукции, диапиризма), неравномерные и негомологичные изменения кинетических коэффициентов вещества в недрах и др.). Высказывались также предположения и связи глобальных процессов тектоно-магматической активности с галактическими циклами, с перманентным убыванием си-



1. Акимов Е. В. Дешифрирование региональной трещиноватости.—В кн.: Анализ космических снимков при тектоно-магматических и металлогенических исследованиях. М.: Наука, 1979, с. 19—27.
2. Гальперов Г. В., Антипов В. С., Астахов В. И., Рундквист И. К. Методика применения аэро- и космоснимков и геофизических данных при прогнозно-металлогенических исследованиях. — В кн.: Металлогенические и тектоно-магматические исследования на основе материалов аэро- и космосъемок. Л.: Недра, 1988, с. 22—55.
3. Кукушкин Л. А., Ян Г. Х. Некоторые вопросы анализа линейamentos (по данным дешифрирования космических снимков). — Исследование Земли из космоса, 1983, № 1, с. 51—56.
4. Мартиросян С. В., Багдасарян Г. Р., Сахатов В. З., Марков Е. И. Структурная позиция одного из полиметаллических месторождений Малого Кавказа по данным космических снимков. — Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1988, т. 41, № 1, с. 20—30.
5. Пиджян Г. О., Карапетян А. И., Садоян А. А., Асланян П. М. Геологическое строение и рудоносность бассейна реки Арпа Армянской ССР. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1982, 178 с.
6. Сахатов В. З., Панцулая В. В., Марков Е. И. Кавказско-Таврский регион Средиземноморского подвижного пояса. — В кн.: Металлогенические и тектоно-магматические исследования на основе материалов аэро- и космосъемок. Л.: Недра, 1988, с. 56—121.
7. Яковлев Н. А., Сахатов В. З., Скублова Н. В., Марков К. А. Применение космических снимков при региональном металлогеническом анализе складчатых областей. Л.: Недра, 1986, 160 с.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XLII, № 5, 22—35

УДК: 551.24.03+551.14

А. Т. АСЛАНЯН, Л. С. КАЗАРЯН

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ ЗЕМЛИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИТОСФЕРЫ

Литосфера Земли в изостатическом состоянии равновесия имеет минимальную потенциальную энергию. Причем, из-за высоких уровней напряженного состояния в ней возникают зоны разломов, играющие роль пластических шарниров, которые расчленяют литосферу на множество блоков, которые в свою очередь уравниваются по принципу изостазии. В настоящей статье делается попытка на основе деформационной теории пластичности исследовать устойчивость литосферы, рассматриваемой как пластина на упругом основании, находящаяся в условиях нарастающего нагружения, в которой учтены деформации поперечного сдвига. Для различных значений параметров литосферы вычислены значения критических давлений.

В заключении рассмотрены некоторые вопросы связи устойчивости литосферы с общими геодинамическими условиями среды.

### А. Некоторые общие предпосылки

В перечне факторов, определяющих тектоническую активность Земли, обычно указываются изменения внутреннего объема (контракция, экспансия, пульсация), уменьшение эллиптичности (полярного сжатия), обусловленное приливным замедлением вращения планеты (ротационная динамика), изменение положения толщи Земли в отношении оси вращения и связанное с этим переформирование фигуры, процессы перераспределения масс в толще Земли (продолжающиеся процессы тепломассопереноса, гравитационной дифференциации изостатических движений, эрозии и аккумуляции, конвекции, субдукции, диапиризма), неравномерные и негомологичные изменения кинетических коэффициентов вещества в недрах и др.). Высказывались также предположения и связи глобальных процессов тектоно-магматической активности с галактическими циклами, с перманентным убыванием си-



лы тяжести и др. Современный обзор этих исследований приведен в работах [9, 11, 20, 22].

В ряде случаев указывалось также на наличие причинно-следственных связей между указанными факторами, их взаимную обусловленность и единство, что дает возможность сжать названный перечень факторов (более 100 гипотез, теорий, предположений) до минимума и вычленил из него наиболее сильный фактор. Так, например, в работе [4] было показано, что при решающей роли в тектогенезе процесса гравитационного сжатия (контракции) решающую же роль в теплоотводе из недр должна играть конвекция, а в генерации тепла и энергообеспечении конвективных движений—сам процесс сжатия, как следствие фазовых переходов вещества недр, простого его уплотнения, дегазации и т. д. Такая постановка вопроса приводит к формуле «нет контракции без конвекции, нет конвекции без контракции». Неизбежным представляется возникновение глобальной сети планетарного масштаба глубинных разломов и пластичных шарниров в мантии и коре в результате увеличения периода суточного вращения Земли (от 5 ч в катархее до 24 ч в плейстоцене). Равным образом, как это известно со времен Лапласа, поднятия и погружения отдельных крупных областей литосферы, асимметричное и неравномерное сжатие масс в недрах, приводит к значительным изменениям моментов инерции их относительно оси вращения, к переформированию фигуры планеты и сопряженных с ним деформациям литосферы и перераспределению водных и воздушных масс [9, 10].

С точки зрения законов механики и гидродинамики положением относительного равновесия литосферы с минимум потенциальной энергии является состояние изостатического равновесия. Процессы высокоактивной планетарной тектоники приводят к короблению и деструкции литосферы (образование изгибных, разрывных, субдукционных и рифтоидных структур, развитие на их основе геосинклинальных складчатых сооружений, островодужных орклиннов, широкое проявление магматизма, гидротермального рудообразования и др.). В экстремальном состоянии, когда деформирующие силы превышают предел прочности литосферы, возникающие в ней зоны разломов, офiolитовых поясов и альпийских структур, играющих роль пластических шарниров, расчленяют литосферу на множество блоков, которые в этих условиях вновь уравниваются по принципу изостазии, причем принято считать, что разбегание этих блоков (плит) совершается под влиянием конвективных течений.

С точки зрения термодинамики, Земля представляет тепловую машину (температура в лавовых озерах  $1050-1300^{\circ}\text{C}$ , на глубине 380 км  $1400^{\circ}\text{C}$ , на глубине 2900 км порядка  $4000^{\circ}\text{C}$ ), работа которой должна носить в грубом приближении периодический характер (интервал между соседними максимумами тектонизации геосинклинальных комплексов и максимумами вулканической активности в фанерозое составляют 190—200 млн. лет) [18].

Воздавая должное изобретательству и эрудиции творцов новых геотектонических гипотез, авторы настоящей работы в итоге своих многолетних исследований должны были остановить свое внимание на гипотезе гравитационного сжатия Земли, создающего, по их мнению, вполне имманентный механизм тектоно-магматической эволюции Земли, причем, в отличие от его классического прототипа, она не считает литосферу однородной и равномерно сжимающейся, а наоборот, учитывает отчетливо выраженные факты концентрации деформаций и напряжений в узких поясах (геосинклинали, георифтогенали, разнообразные дизъюнктивы) и, кроме того, считается, что радиус Земли уменьшается не непрерывно, а с замедлениями, остановками и эпизодами кратковременного увеличения, поскольку в тепловую энергию превращается лишь небольшая часть потенциальной энергии (около 1/5), а остальная, большая часть переходит почти полностью в энергию упругого сжатия вещества планеты, в энергию динамических



(апериодических) движений и таким образом тенденция непрерывного изотермического сжатия планеты нарушается, уступая место на время противоположно тенденции.

Ниже рассматривается проблема устойчивости литосферы в упруго-пластической области с учетом развития деформаций поперечных сдвигов (раздел В) и влияние общей геодинамической обстановки и ее особенностей на ход больших изгибно-разрывных деформаций земной коры (раздел С).

Многими авторами сделаны попытки решить подобные задачи, но без учета или пластичности или деформаций поперечных сдвигов [6, 7, 17, 25, 26].

### В. Устойчивость литосферной плиты за пределами упругости с учетом поперечных сдвигов

Литосферная плита рассматривается в виде пластины на упругом основании, поскольку отношение ее размеров (толщины к поперечнику)  $h:a=1:4$  (или минимум 1:6), то будем исходить из уточненной теории пластинок, учитывающих влияние деформаций поперечных сдвигов.

В данной работе на основе деформационной теории пластичности исследуется устойчивость пластин с учетом влияния поперечных сдвигов в условиях нарастающего нагружения. Исходные соотношения между напряжениями и деформациями примем в соответствии с уравнением деформационной теории пластичности несжимаемого материала [12].

$$\sigma_x - \frac{1}{2}\sigma_y = \frac{\sigma_1}{e_1} e_x; \quad \sigma_y - \frac{1}{2}\sigma_x = \frac{\sigma_1}{e_1} e_y; \quad \tau_{xy} = \frac{\sigma_1}{3e_1} e_{xy}. \quad (1)$$

Интенсивности касательных напряжений и деформации сдвига определяются через компоненты напряжений и деформаций следующим образом:

$$\sigma_1 = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2}; \quad e_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{e_x^2 + e_x e_y + e_y^2 + \frac{1}{4}e_{xy}^2}. \quad (2)$$

Предполагается, что в пластинке, деформированной за пределом упругости, анализировано плоское напряженное состояние, т. е. определяются  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$ , которые получают бесконечно малые приращения  $\delta\sigma_x$ ,  $\delta\sigma_y$ ,  $\delta\tau_{xy}$  при ее выпучивании.

Согласно гипотезе непрерывного нагружения [19] искривление пластинки происходит в условиях нагружения всех точек пластинки. С помощью этого допущения из (1) для вариаций напряжений  $\delta\sigma_x$ ,  $\delta\sigma_y$ ,  $\delta\tau_{xy}$  имеем [14]

$$\begin{aligned} \delta\sigma_x &= a_{11}\delta e_x + a_{12}\delta e_y + a_{13}\delta e_{xy}; \\ \delta\sigma_y &= a_{12}\delta e_x + a_{22}\delta e_y + a_{23}\delta e_{xy}; \\ \delta\tau_{xy} &= a_{13}\delta e_x + a_{23}\delta e_y + a_{33}\delta e_{xy}, \end{aligned} \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{4}{9e_1} \left[ 3\sigma_1 + (2e_y + e_y)^2 \frac{d}{de_1} \left( \frac{\sigma_1}{e_1} \right) \right]; \\ a_{12} &= \frac{2}{9e_1} \left[ 3\sigma_1 + 2(2e_x + e_y)(2e_y + e_x) \frac{d}{de_1} \left( \frac{\sigma_1}{e_1} \right) \right]; \\ a_{13} &= \frac{2}{9e_1} e_{xy}(2e_x + e_y) \frac{d}{de_1} \left( \frac{\sigma_1}{e_1} \right); \end{aligned} \quad (4)$$



$$a_{22} = \frac{4}{9e_l} \left| 3\sigma_l + (2e_y + e_x)^2 \frac{d}{de_l} \left( \frac{\sigma_l}{e_l} \right) \right|;$$

$$a_{23} = \frac{2}{9e_l} e_{xy} (2e_y + e_x) \frac{d}{de_l} \left( \frac{\sigma_l}{e_l} \right); \quad a_{33} = \frac{1}{9e_l} \left| 3\sigma_l + e_{xy}^2 \frac{d}{de_l} \left( \frac{\sigma_l}{e_l} \right) \right|.$$

Далее, исходя из уточненной теории пластинок [14] и при отсутствии поверхностных нагрузок для тангенциальных напряжений имеем

$$\tau_{xz} = f(z)\varphi(x, y); \quad \tau_{yz} = f(z)\psi(x, y),$$

где  $f(z)$  — функция изменения касательных напряжений по мощности литосферной плиты, а  $\varphi(x, y)$  и  $\psi(x, y)$  — искомые функции.

По принятой теории несжимаемости [12] связь между касательными напряжениями (5) и соответствующими деформациями имеет вид:

$$\tau_{xy} = \frac{\sigma_l}{3e_l} e_{xz}; \quad \tau_{yz} = \frac{\sigma_l}{3e_l} e_{yz}. \quad (6)$$

Учитывая (5) и (6) и пользуясь геометрическими соотношениями связи деформаций и перемещений  $u_x, u_y, u_z$  [8]

$$e_{xz} = \frac{\partial \delta u_x}{\partial z} + \frac{\partial \delta u_z}{\partial x}; \quad e_{yz} = \frac{\partial \delta u_y}{\partial z} + \frac{\partial \delta u_z}{\partial y}; \quad (7)$$

получим:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \delta u_x}{\partial z} &= -\frac{\partial \delta u_z}{\partial x} + \frac{3e_l}{\sigma_l} f(z)\varphi(x, y); \\ \frac{\partial \delta u_y}{\partial z} &= -\frac{\partial \delta u_z}{\partial y} + \frac{3e_l}{\sigma_l} f(z)\psi(x, y); \end{aligned} \quad (8)$$

Если пренебречь изменениями нормальных перемещений точек пластинки по толщине и деформированием срединной плоскости ( $u=v=0$ ) из (8) путем интегрирования по  $z$  получим

$$\begin{aligned} \delta u_x &= -z \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{3e_l}{\sigma_l} J_0(z)\varphi(x, y); \\ \delta u_y &= -z \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{3e_l}{\sigma_l} J_0(z)\psi(x, y); \end{aligned} \quad (9)$$

в которых  $J_0(z) = \int_0^z f(z) dz$ , а  $w$  — прогиб пластинки (10).

Учитывая (9) и используя известные геометрические соотношения для вариаций деформаций, получим:

$$\begin{aligned} \delta e_x &= -z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 3J_0(z) \frac{\partial}{\partial x} \left( \varphi \frac{e_l}{\sigma_l} \right); \\ \delta e_y &= -z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + 3J_0(z) \frac{\partial}{\partial y} \left( \psi \frac{e_l}{\sigma_l} \right); \\ \delta e_{xy} &= -2z \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} - 3J_0(z) \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \varphi \frac{e_l}{\sigma_l} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \psi \frac{e_l}{\sigma_l} \right) \right]. \end{aligned} \quad (11)$$

Если внесем (11) в (3) и присоединим к ним (5), то для приращений выпученной пластинки получим следующие формулы:

$$\delta \sigma_x = -z A_1 + 3J_0(z) B_1; \quad \delta \sigma_y = -z A_2 + 3J_0(z) B_2; \quad \delta \tau_{xy} = -z A_3 + 3J_0(z) B_3 \quad (12)$$



в которых введены обозначения:

$$A_n = a_{n1} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + a_{n2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + 2a_{n3} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}, \quad n=1, 2, 3 \quad (13)$$

$$B_n = a_{n1} \frac{\partial}{\partial x} \left( \varphi \frac{e_l}{\sigma_l} \right) + a_{n2} \frac{\partial}{\partial y} \left( \psi \frac{e_l}{\sigma_l} \right) + a_{n3} \left[ \frac{\partial}{\partial y} \left( \varphi \frac{e_l}{\sigma_l} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \psi \frac{e_l}{\sigma_l} \right) \right].$$

Имея значения напряжений, можем определить приращения изгибающих моментов и поперечных сил

$$\begin{aligned} \delta M_x &= -\frac{h^3}{12} A_1 + 3J_1 B_1; & \delta M_y &= -\frac{h^3}{12} A_2 + 3J_1 B_2; \\ \delta H &= -\frac{h^3}{12} A_3 + 3J_1 B_3; & N_1 &= J_2 \varphi(x, y); & N_2 &= J_2 \psi(x, y); \end{aligned} \quad (14)$$

$$J_1 = \int_{-h/2}^{h/2} z J_0(z) dz; \quad J_2 = \int_{-h/2}^{h/2} f(z) dz. \quad (15)$$

После выпучивания для элемента пластинки дифференциальные уравнения равновесия будут иметь вид [8]:

$$\frac{\partial \delta M_x}{\partial x} + \frac{\partial \delta H}{\partial y} = N_1; \quad \frac{\partial \delta M_y}{\partial y} + \frac{\partial \delta H}{\partial x} = N_2; \quad (16)$$

$$\frac{\partial N_1}{\partial x} + \frac{\partial N_2}{\partial y} + T_x^0 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + T_y^0 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + 2S_0 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} = \bar{q},$$

где внутренние тангенциальные силы начального плоского состояния берутся в виде  $T_x^0 = -h\sigma_x$ ,  $T_y^0 = -h\sigma_y$ ,  $S_0 = -h\tau_{xy}$ .

При расчете поперечно-нагруженной пластины, покоящейся на упругом основании, кроме действующей внешней нагрузки, необходимо учесть силы реакции, передающиеся от основания к пластинке. Интенсивность реакции основания эквивалентна силе плавучести, возникшей в результате замещения слоя текучей мантийной массы толщиной  $w$  на коровую породу [21]. Исходя из изостатических законов, под „ $k$ “ понимается произведение разности плотностей слоев на ускорение  $g$  т. е.  $k = g(\rho_m - \rho_c)$ .

Таким образом, поверхностная нагрузка, действующая на континентальную литосферу  $\bar{q} = q - kw$ .

Подстановкой (14) в (15) получим следующую систему трех уравнений относительно  $\alpha(x, y)$ ,  $\varphi(x, y)$  и  $\psi(x, y)$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial A_1}{\partial x} - \frac{36J_1}{h^3} \frac{\partial B_1}{\partial x} + \frac{\partial A_3}{\partial y} - \frac{36J_1}{h^3} \frac{\partial B_3}{\partial y} + \frac{12J_2}{h^3} \varphi &= 0; \\ \frac{\partial A_2}{\partial y} - \frac{36J_1}{h^3} \frac{\partial B_2}{\partial y} + \frac{\partial A_3}{\partial x} - \frac{36J_1}{h^3} \frac{\partial B_3}{\partial x} + \frac{12J_2}{h^3} \psi &= 0; \\ J_2 \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) + T_x^0 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + T_y^0 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + 2S_0 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} &= \bar{q}, \end{aligned} \quad (17)$$

которая характеризует устойчивость пластинки за пределом упругости. При пренебрежении влиянием деформаций поперечных сдвигов, получим уравнение устойчивости неупругой пластинки в классической постановке [13].

Рассмотрим задачу об устойчивости шарнирно опертой по контуру пластинку на упругом основании, сжатой в своей плоскости по направлениям  $x$  и  $y$  давлениями  $p$  и  $sp$ . Для упрощения решения задачи ограничимся случаем линейного упрочения:



$$\sigma_i = 3G [(1-\lambda)e_i + \lambda e_s]; \quad \lambda = 1 - \frac{1}{3G} \frac{d\sigma_i}{de_i} = \text{const}, \quad (18)$$

где  $G$  — модуль сдвига,  $e_s$  — предел упругих деформаций материала.

Итак, полагая  $\sigma_x = -p$ ;  $\sigma_y = -cp$ ;  $\tau_{xy} = 0$  и используя (1), (2) и (18), находим:

$$\begin{aligned} \sigma_i &= \lambda p, \quad e_i = \frac{\lambda p - \lambda p_s}{3G(1-\lambda)}, \quad \lambda = \sqrt{1-c+c^2} \\ p_s &= 3Ge_s, \quad 2e_x + e_y = -\frac{\lambda p - \lambda p_s}{2\lambda G(1-\lambda)}; \quad G = \frac{1}{3}E \\ 2e_y + e_x &= -c \frac{\lambda p - \lambda p_s}{2\lambda G(1-\lambda)}, \quad e_{xy} = 0. \end{aligned} \quad (19)$$

Учитывая (19) из (4), для коэффициентов  $a_{ij}$  получим

$$\begin{aligned} a_{11} &= A \frac{4\lambda^3 p - 3\lambda p_s}{\lambda p - \lambda p_s}; \quad a_{12} = A \frac{4\lambda p - 3c^2 \lambda p_s}{\lambda p - \lambda p_s}; \\ a_{33} &= A \frac{\lambda^3 p}{\lambda p - \lambda p_s}; \quad a_{13} = A \frac{2\lambda^3 p - 3\lambda c p_s}{\lambda p - \lambda p_s}; \\ a_{13} &= a_{33} = 0; \quad A = \frac{G(1-\lambda)}{\lambda^2}; \quad \frac{e_i}{\sigma_i} = \frac{1}{a_{33}}. \end{aligned} \quad (20)$$

Из (20) видно, что коэффициенты  $a_{ij}$  не зависят от координат, поэтому из (17) получим систему уравнений устойчивости шарнирно опертой пластинки на упругом основании

$$\begin{aligned} a_{11} \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + (a_{12} + 2a_{33}) \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} - \frac{12J_2}{h^3} \left( \frac{a_{11}}{a_{33}} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right) - \frac{12J_2}{h^3} \varphi - \\ - \frac{12J_1}{h^3} \left( 1 + \frac{a_{12}}{a_{33}} \right) \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y} = 0; \\ a_{22} \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + (a_{12} + 2a_{33}) \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} - \frac{12J_1}{h^3} \left( 1 + \frac{a_{12}}{a_{33}} \right) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} - \frac{12J_2}{h^3} \psi - \\ - \frac{12J_1}{h^3} \left( \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{a_{22}}{a_{33}} \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right) = 0; \\ \frac{ph}{J} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + c \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\partial \psi}{\partial y} + \frac{k w}{J_2} = 0. \end{aligned} \quad (21)$$

Для системы (21) с учетом граничных условий шарнирного опирания пластинки при

$$x=0, \quad x=a, \quad w(0, y)=w(a, y)=0, \quad u_y \text{ или } \psi=0;$$

$$M_x = -\frac{h^3}{12} \left( a_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + a_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) + \frac{J_1}{a_{33}} \left( a_{11} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + a_{12} \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) = 0 \quad (22)$$

$$\text{при } y=0, \quad y=b, \quad w(x, 0)=w(x, b)=0, \quad u_x \text{ или } \varphi=0;$$

$$M_y = -\frac{h^3}{12} \left( a_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + a_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) + \frac{J_1}{a_{33}} \left( a_{12} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + a_{22} \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) = 0$$

решения ищем в форме.



$$u(x, y) = C_w \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}; \quad \varphi(x, y) = C_\varphi \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b};$$

$$\psi(x, y) = C_\psi \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b}, \quad (23)$$

где  $C_w, C_\varphi, C_\psi$  — постоянные,  $m$  и  $n$  — целые числа, определяющие число полуволн искривленной пластинки.

Подставляя искомое решение (23) в систему (21), получим следующую однородную алгебраическую систему уравнений относительно  $C_w, C_\varphi, C_\psi$ :

$$\frac{\pi m}{a} \left[ a_{11} \frac{n^2}{a^2} + (a_{12} + 2a_{22}) \frac{n^2}{b^2} \right] C_w - \frac{12}{h^3} \left[ \frac{J_2}{\pi^2} + J_1 \left( \frac{n^2}{b^2} + \frac{a_{11}}{a_{33}} \frac{m^2}{a^2} \right) \right] C_\varphi -$$

$$- \frac{12}{h^3} J_1 \left( 1 + \frac{a_{12}}{a_{33}} \right) \frac{mn}{ab} C_\psi = 0;$$

$$\frac{\pi n}{b} \left[ a_{22} \frac{n^2}{b^2} + (a_{12} + 2a_{33}) \frac{m^2}{a^2} \right] C_w - \frac{12}{h^3} J_1 \left( 1 + \frac{a_{12}}{a_{33}} \right) \frac{mn}{ab} C_\varphi -$$

$$- \frac{12}{h^3} \left[ \frac{J_2}{\pi^2} + J_1 \left( \frac{m^2}{a^2} + \frac{a_{22}}{a_{33}} \frac{n^2}{b^2} \right) \right] C_\psi = 0; \quad (24)$$

$$ph \left( \frac{m^2}{a^2} + c \frac{n^2}{b^2} \right) C_w - \frac{J_2 m}{\pi a} C_\varphi - \frac{J_2 n}{\pi b} C_\psi - \frac{k}{\pi^3} C_w = 0.$$

Таблица 1

Значения критических напряжений  
 $h : a = 0,25; h = 0,7 \times 10^3 \text{ м}; kh^2 \sigma_s = 1,205; E/\sigma_s = 0,36(6) \times 10^3$

| с | М | $\lambda = 0,0$   | $\lambda = 0,5$   | $\lambda = 0,9$   | $\lambda = 0,99$  |       |
|---|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|
|   |   | $P_{кр}/\sigma_s$ | $P_{кр}/\sigma_s$ | $P_{кр}/\sigma_s$ | $P_{кр}/\sigma_s$ |       |
| 1 | 1 | 1,24              | 26,23             | 6,22              | 1,66              | γ=0   |
| 2 | 1 | 34,16             | 17,53             | 4,21              | 1,13              |       |
| 7 | 1 | 12,81             | 6,58              | 1,59              | 0,41              |       |
| 1 | 2 | 32,98             | 17,39             | 4,88              | 1,99              |       |
| 2 | 2 | 27,48             | 14,56             | 4,16              | 1,68              |       |
| 7 | 2 | 14,99             | 7,91              | 2,22              | 0,78              |       |
| 1 | 7 | 27,56             | 14,88             | 4,64              | 2,225             |       |
| 2 | 7 | 27,02             | 14,64             | 4,63              | 2,196             |       |
| 7 | 7 | 24,65             | 13,22             | 4,08              | 1,989             | γ=0,1 |
| 1 | 1 | 32,78             | 17,12             | 4,53              | 1,53              |       |
| 2 | 1 | 21,86             | 11,81             | 3,01              | 1,01              |       |
| 7 | 1 | 10,11             | 4,27              | 1,11              | 0,36              |       |
| 1 | 2 | 23,79             | 12,86             | 4,04              | 1,88              |       |
| 2 | 2 | 19,82             | 10,74             | 3,39              | 1,56              |       |
| 7 | 2 | 10,81             | 5,82              | 1,80              | 0,83              |       |
| 1 | 7 | 20,22             | 11,19             | 3,94              | 2,154             |       |
| 2 | 7 | 19,72             | 10,99             | 3,88              | 2,11              |       |
| 7 | 7 | 17,99             | 9,99              | 3,40              | 1,89              |       |

Для критического давления мы получим нетривиальные решения, если приравняем определитель системы (24) нулю. Раскрывая детерминант системы (24), получим кубическое уравнение относительно критического давления

$$D_3 p^3 + D_2 p^2 + D_1 p + D_0 = 0 \quad (25)$$

в котором коэффициенты  $D_i$  имеют вид:



Значения критических напряжений  
 $h : a = 0.167; \quad h = 0.7 \times 10^3 \text{ м}; \quad E \sigma_s = 0.36(6) \times 10^3; \quad kh \sigma_s = 1.205$

Таблица 2

| с | М | $\lambda = 0,0$     | $\lambda = 0,5$     | $\lambda = 0,9$     | $\lambda = 0,99$    |       |
|---|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------|
|   |   | $P_{кр} / \sigma_s$ | $P_{кр} / \sigma_s$ | $P_{кр} / \sigma_s$ | $P_{кр} / \sigma_s$ |       |
| 1 | 1 | 24.62               | 15.51               | 4.57                | 2.48                | 0.1   |
| 2 | 1 | 16.41               | 9.00                | 3.09                | 1.64                |       |
| 7 | 1 | 6.15                | 3.40                | 1.16                | 0.62                |       |
| 1 | 2 | 17.50               | 10.60               | 4.99                | 3.68                |       |
| 2 | 2 | 14.60               | 8.89                | 4.20                | 3.05                |       |
| 7 | 2 | 7.96                | 4.82                | 2.27                | 1.66                |       |
| 1 | 7 | 15.76               | 10.09               | 5.49                | 4.42                |       |
| 2 | 7 | 15.45               | 9.94                | 5.42                | 4.34                |       |
| 7 | 7 | 14.08               | 8.99                | 4.69                | 3.94                | 1.0-1 |
| 1 | 1 | 2.09                | 11.30               | 4.18                | 2.61                |       |
| 2 | 1 | 13.39               | 7.55                | 2.79                | 1.61                |       |
| 7 | 1 | 5.02                | 2.85                | 1.04                | 0.60                |       |
| 1 | 2 | 15.0                | 9.58                | 4.79                | 3.54                |       |
| 2 | 2 | 12.83               | 8.00                | 4.01                | 3.04                |       |
| 7 | 2 | 7.00                | 4.34                | 2.17                | 1.63                |       |
| 1 | 7 | 14.05               | 9.26                | 5.33                | 4.40                |       |
| 2 | 7 | 13.78               | 9.11                | 5.25                | 4.32                |       |
| 7 | 7 | 12.55               | 8.23                | 4.73                | 3.90                |       |

Значения критических напряжений  
 $h : a = 0.25; \quad h = 0.7 \times 10^3 \text{ м}; \quad E \sigma_s = 0.365 \times 10^3; \quad \sigma_s = 0.27 \times 10^3 \text{ кгс/м}^2$

Таблица 3

| с   | М | $\lambda = 0,0$     | $\lambda = 0,5$     | $\lambda = 0,9$     | $\lambda = 0,99$    |                                             |
|-----|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------------------|
|     |   | $P_{кр} / \sigma_s$ | $P_{кр} / \sigma_s$ | $P_{кр} / \sigma_s$ | $P_{кр} / \sigma_s$ |                                             |
| 1   | 1 | 31.83               | 16.15               | 3.66                | 1.13                | $\gamma = 0; \quad kh / \sigma_s = 0$       |
| 2   | 1 | 21.22               | 10.76               | 2.45                | 0.70                |                                             |
| 7   | 1 | 7.95                | 4.03                | 0.90                | 0.21                |                                             |
| 1   | 2 | 22.22               | 11.40               | 2.66                | 1.07                |                                             |
| 2   | 2 | 18.52               | 9.46                | 2.24                | 0.71                |                                             |
| 5   | 2 | 10.10               | 5.12                | 1.13                | 0.24                |                                             |
| 1   | 7 | 18.20               | 9.30                | 2.29                | 1.08                |                                             |
| 2   | 7 | 17.84               | 9.15                | 2.21                | 0.72                |                                             |
| 7   | 7 | 16.25               | 8.20                | 1.76                | 0.31                | $\gamma = 0.1; \quad kh / \sigma_s = 1.205$ |
| 1   | 1 | 32.78               | 17.12               | 4.87                | 1.63                |                                             |
| 2   | 1 | 21.85               | 11.41               | 3.01                | 1.01                |                                             |
| 7   | 1 | 8.20                | 4.27                | 1.12                | 0.36                |                                             |
| 1   | 2 | 23.79               | 12.86               | 4.06                | 1.87                |                                             |
| 2   | 2 | 19.82               | 10.74               | 3.39                | 1.56                |                                             |
| 7   | 2 | 10.81               | 5.82                | 1.80                | 0.85                |                                             |
| 1.7 | 7 | 20.12               | 11.19               | 3.94                | 2.154               |                                             |
| 2   | 7 | 19.72               | 10.99               | 3.88                | 2.12                |                                             |
| 7   | 7 | 17.96               | 9.90                | 3.40                | 1.89                |                                             |

$$D_3 = 12x^4(x^2 + c\beta^2)N; \quad D_2 = x^4AR - 12x^4khN/\pi^2 - 36xB(x^2 + c\beta^2)M - \\ - 12x^2(x^2 + c\beta^2)BxN;$$

$$D_1 = 36B^2(x^2 + c\beta^2)M + 3ABx^3Q + 12Bxkh(x^2N + 3M)/\pi^2;$$

$$D_0 = -36B^2khM/\pi^2; \quad N = \frac{1}{\pi^4} + \frac{5\gamma(x^2 + \beta^2)}{\pi^2} + 4\gamma^2(x^2 + \beta^2)^2;$$

$$M = \frac{\gamma}{\pi^2}(x^2 + c\beta^2) + \gamma^2[4x^2\beta^2(1-c)^2 + (x^2 + c\beta^2)^2]; \quad (26)$$



$$R = 4_1(\alpha^6 + \beta^6) - 12\gamma\alpha^2\beta^2(\alpha^2 + \beta^2) - \frac{4}{\pi^2}(\alpha^2 + \beta^2)^2;$$

$$Q = -\gamma[2\alpha^2\beta^2(2c - 2 - 2c^2)(\alpha^2 + \beta^2) - \alpha^2\beta^2(\alpha^2 + c\beta^2) + \alpha^6 + c^2\beta^6] + \frac{1}{\pi^2}(\alpha^2 - c\beta^2)$$

в них введены обозначения в соответствии с формулами

$$\frac{mh}{a} = \alpha; \quad \frac{nh}{b} = \beta; \quad \gamma = \frac{J_1}{J_2 h^2}; \quad B = i p_s. \quad (27)$$

Как и в работе [14] выбран закон распределения касательных напряжений по толщине пластинки  $z$  в следующем виде:

$$f(z) = \frac{1}{2} \left( \frac{h^2}{4} - z^2 \right). \quad (28)$$

С учетом формул (28) и (15) получим  $\frac{J_1}{J_2} = \frac{h^2}{10}$ .

При  $\gamma = 0$  получается квадратное уравнение относительно  $p$ , которое соответствует уравнению в классической постановке задачи устойчивости [13].

Для различных значений коэффициента плавучести  $k$  модуля Юнга  $E$  и параметра разупрочнения  $\lambda$  вычислены значения критических давлений  $p_{кр}$ . Из таблицы видно, что для  $h:a=1:4$ , в упругой стадии ( $\lambda=0$ ) поперечный сдвиг уменьшает критическое давление на 28—35%, при  $\lambda=0.5$ —на 20—27%, а для случая  $\lambda=0.99$ —на 5—10%.

Это наглядно видно из графиков. Далее, чем тоньше пластина ( $h:a=0.167$ ), тем меньше влияние поперечного сдвига.

Из численных расчетов данного параграфа следует, что:

1. Наибольшее расхождение между значениями критических давлений по классической и уточненной теориям имеет место для линейно-упругого упрочнения материала ( $\lambda=0$ ). С увеличением пластических свойств это расхождение монотонно убывает и при стремлении материала к идеально-пластическому ( $\lambda=1$ ) полностью исчезает.

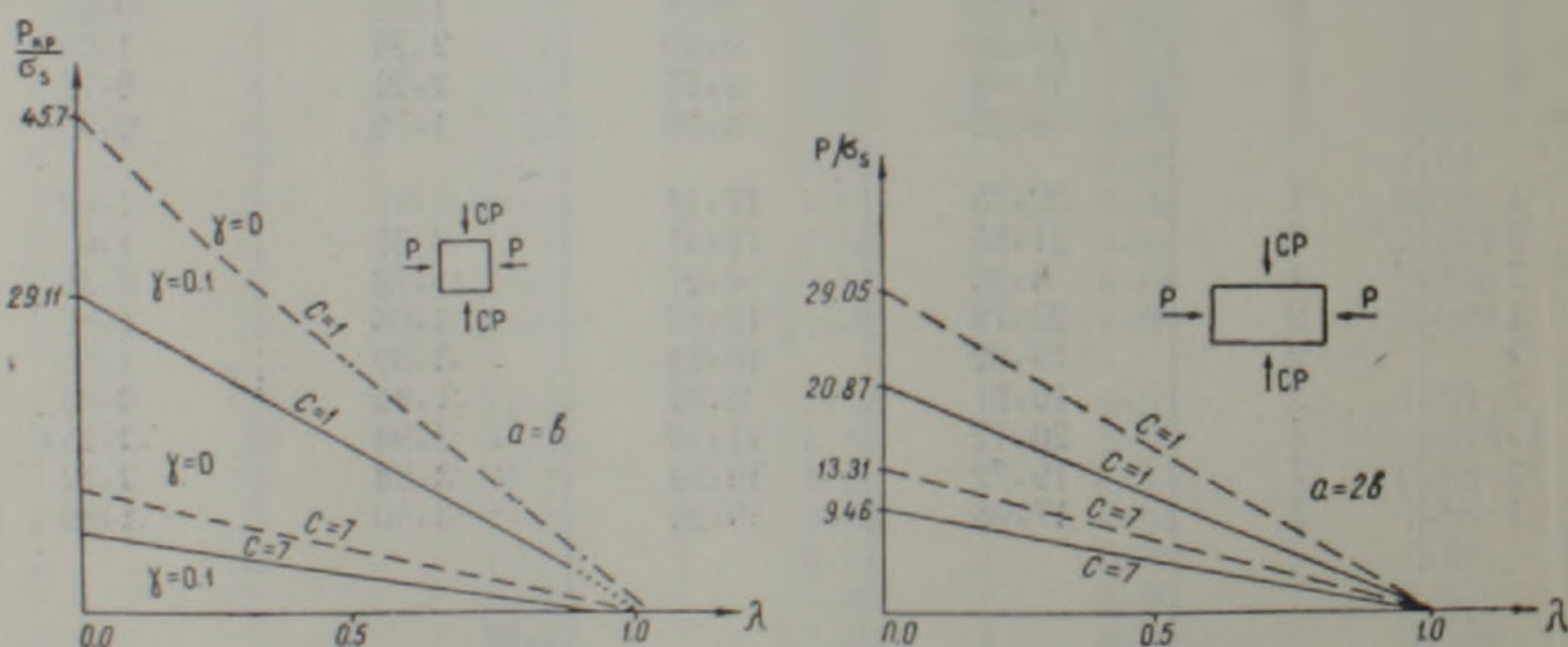


Рис. 1. Графики критических напряжений в зависимости от коэффициента разупрочнения при  $h=37 \times 10^3$  м,  $E = 0.33 \times 10^8$ ,  $\sigma_s = 0.27 \times 10^8$  кг/м<sup>2</sup>.

2. Критические напряжения стремятся к напряжениям, соответствующим площадке текучести материала, когда материал приближается к идеально-пластическому состоянию ( $\lambda=1$ ), причем наличие упругого основания приводит к повышению критических напряжений.

3. В достаточно широком интервале изменения параметра разупрочнения  $0 \leq \lambda \leq 0.90$  зависимость между критическими напряжениями и  $\lambda$  практически линейна. Нелинейность становится ощутимой лишь в малой окрестности  $0.90 < \lambda < 0.99$ , где материал достаточно близок к идеально-пластическому.



В работе [1] приводятся данные, полученные автором, а также экспериментальные данные при всестороннем давлении  $\sigma = 2960 \text{ кг/см}^2$  образцов мрамора, кристаллических сланцев, диабазов и гранитов. Предел прочности этих материалов находится между  $2,1\tau_1 - 3,2\tau_1$ .

Сравнивая их с приведенными в данной работе данными, видим, что литосферная плита теряет устойчивость в упруго-пластической области при  $0,9 \leq \lambda \leq 0,95$ .

### С. Некоторые вопросы связи устойчивости литосферы с общими геодинамическими условиями среды

1. В тектонических приложениях теории устойчивости оболочек кривизна литосферных плит часто не учитывается. Учет ее однако обнаруживает существенные эффекты. Так, растяжение, возникающее при изгибе плоской оболочки толщиной  $h$  является эффектом второго порядка малости по сравнению с прогибом  $w$  и начинает сказываться лишь при  $w \sim h$ ; в случае сфероидальных оболочек, наоборот, растяжение является эффектом первого порядка даже при  $w \ll h$ . При простом радиальном растяжении сферической оболочки радиуса  $R$  толщины  $h$  отношение энергии деформации при растяжении к энергии деформации при изгибе имеет порядок  $(R/h)^2$ , что в случае литосферы составляет  $10^4$  [16]. Последний критерий предписывает возможность возникновения в литосфере преимущественно изгибных деформаций, причем таковые в виде серповидных (в плане) структур (типа островных дуг, поясов Венинг-Мейнеса или тектогенов Хесса) будут локализоваться по малым кругам литосферы, где затраты энергии на их образование существенно меньше, чем в больших кругах. Этому же принципу следует образование деформационных структур цилиндрической формы в осадочном чехле литосферы (антиклинали и др.).

Можно отметить, что в случае, если указанные выше большие изгибные деформации будут происходить вследствие изменения объема Земли и сопровождаться крупными нарушениями сплошности литосферы, то эффект уменьшения больших кругов литосферы будет реализован не только в изгибах, но и в субдукции. При этом следует иметь в виду, что в архее ввиду высокой температуры мантийных масс (температура плавления коматитовых лав, широко развитых в разрезах архея,  $2100^\circ\text{C}$ ) литосфера имела «мягкую» ((soft) консистенцию (ничтожную жесткость изгиба), преобладали пластические деформации, исключалась возможность субдукции и возникновения высокогорных цепей. На последнее обстоятельство впервые указал А. Л. Яншин [23]. К этому выводу пришел А. Т. Асланян, учитывая распространенность строматолитов в архее и небольшую высоту морских приливов в древнейших формациях, обусловленную значительной пластичностью литосферы (перепады уровня воды 12–25 м в песчаных отложениях формации Понгола (Южная Африка), с возрастом 3,1 млрд. лет) [2].

Наблюдаемую высокую флексурную жесткость литосфера приобрела значительно позднее—после существенного падения температуры мантии (в настоящее время определена реперная точка в мантии в верхах интервала 380–670 км, фазовых переходов, где оливин переходит в структуру модифицированной шпинели при температуре  $1400^\circ\text{C}$ —по материалам [24]).

2. В классическом случае продольного изгиба изостатически уравновешанной литосферной плиты неограниченных размеров при первой критической нагрузке

$$P_{1кр} = H\sigma_{1кр} = 2(\rho_m - \rho_c)c^2 \quad (29)$$

образуются прогибы (синеклизы, тектогены) шириной  $L_{кр} = \pi c$  ( $H$ —мощность литосферы,  $\sigma_{1кр}$ —первое критическое напряжение при продольном изгибе,  $\rho_m$ —плотность жидкого субстрата,  $\rho_c$ —плотность ли-



тосферной плиты,  $c = \sqrt{D/(\rho_m - \rho_c)}$ ,  $D$  — цилиндрическая жесткость литосферы, принимаемая равной  $3,2 \cdot 10^{21}$  кгм при  $H = 75 \pm 5$  км и модуле упругости  $E = 10^{11}$  Па.

Инструментальными измерениями в ряде регионов (Балтийский щит, юг Сибирской платформы, Индийская платформа, Украинский массив, Казахстан, Горное Закавказье) установлено, что горизонтальные сжимающие напряжения на глубинах до 3—4 км (шахта Колар в Индии глубиной 3600 м) достигают значения  $2 \cdot 10^8$ — $3 \cdot 10^8$  Па (предел текучести арматурного железа, применяемого в гражданском строительстве  $2,1 \cdot 10^8$  Па). Согласно эмпирической формуле Хаста сумма главных горизонтальных напряжений в сжимаемой плите  $\sigma_1 + \sigma_2 = (0,98 h + 180) \cdot 10^5$  Па ( $h$  — глубина от поверхности в метрах) и если положить для орогенов  $\varepsilon_1 = 2\varepsilon_2$ , то для глубины  $h = 3600$  м получим  $\varepsilon_1 = 2,6 \cdot 10^8$  Па ( $\varepsilon_1$  направлено вкост простирания орогена,  $\varepsilon_2$  — вдоль орогена,  $\varepsilon_3$  — вниз по вертикали). Эти данные, очевидно, указывают на условие  $\rho_m > \rho_c$  и на присутствие в современную эпоху значительных горизонтальных сил, могущих нарушить сплошность литосферы).

В предыдущих работах одного из авторов [1, 3] было показано, что все альпийские цепи, островные дуги, глубоководные желоба, срединноокеанические хребты имеют (по гребню) ширину порядка  $L = 220 \pm 30$  км и, следовательно, для них  $c = 65$ — $80$  км, что сопоставимо с уровнем т. н. бесстрессовой глубины в верхах мантии (по Девисону—Дарвину). Согласно формуле (29), когда вещество субстрата литосферы разжижается и плотность его  $\rho_m$  падает до плотности литосферы  $\rho_c$ , то литосферная плита теряет устойчивость без внешнего воздействия ( $p_{кр} = 0$ ) под влиянием одного лишь собственного веса. Равным образом, если в своде литосферной плиты возникает раздвиг и по раздвигу выдавливается вверх текучее мантийное серпентизированное вещество, то противостоящие блоки раздвига под собственным весом скользят в дистальном направлении вниз (механизм роллинга) и более того, требуется дополнительная сила для удержания их в исходном состоянии. Скорость скольжения оценивается известной реологической формулой

$$V_s = \frac{\rho g H}{2\eta} \cdot H \sin \alpha. \quad (31)$$

Подставляя в (30) значения мощности литосферной плиты  $H = 75$  км плотность  $\rho = 3,13 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, вязкость  $\eta = 10^{23}$  пуаз, угол падения  $\alpha = 6^\circ$  ( $\sin \alpha = 1/10$ ) и ускорение силы тяжести  $g = 9,8 \cdot 10^3$  м/сек<sup>2</sup> получим скорость спрединга относительно начальной линии раздвига  $0,025$  м/год.

Указанные явления разжижения подлитосферных масс, диапиризма мантийного вещества, возникновения различных неоднородностей в мантии и др. связаны с особенностями термогравитационной дифференциации толщи Земли и механизмом теплогенерации и теплоотвода.

3. В литературе рассматривался вкратце вопрос тектонических последствий уменьшения эллиптичности Земли вследствие замедления ее вращения в несколько раз (за последние 4 млрд. лет). Эллиптичность Земли  $\varepsilon$  является квадратичной функцией угловой скорости вращения  $\omega$ , и если последняя тогда была больше ее современного значения 5 раз, то эллиптичность соответственно была в это время в 25 раз больше ( $\varepsilon = 1/12$ ) современного ее значения ( $1/298,257$ ), а экваториальное кольцо литосферы было длинее более чем на 1030 км.

Переход от такой сплюснутой формы тектоносферы к современной шарообразной должен сопровождаться кораблением и деструкцией литосферы, образованием глобальной сети мощных магистральных зон



срывов, составляющих, вероятно, матрицу мировой рифтовой системы и пиркумполярных ороклинов (типа Алсутских о-вов) и др.

По расчетам для нарушения сплошности литосферы на широте  $45^\circ$  требуется уменьшение суток на 38 мин, что могло произойти за 72 млн лет, т. е. за все кайнозойское время [2].

4. Согласно обобщенной теореме вириала  $W_g = (3\gamma - 3) U_T$  гравитационная энергия Земли  $W_g$  (равная  $2,5 \times 10^{39}$  эрг) в несколько раз больше тепловой энергии  $U_T$  ввиду того, что минеральные эвтектические массы Земли обладают свойствами твердых растворов замещения (оливины, пироксены, гранаты, ферросилициты, плагиоклазы и др.), для которых параметр Грюнайзена находится в пределах 2,5—3. В результате, при сжатии Земли (при  $\gamma = 8/3$ ) в тепловую энергию переходит лишь 1/5 часть гравитационной энергии, а большая часть ее накапливается в виде упругой энергии или переходит в энергию динамических (аперриодических) движений и рассеивается, причем динамическое давление может приводить в определенных условиях к значительному увеличению объема тела (по радиусу до 10—100 км). Если генерация тепла обеспечивается сжатием (контракцией), то удаление тепла обеспечивается лишь мощной конвекцией, которая в свою очередь поддерживается тепловой энергией, выделяемой в процессе сжатия, в т. ч. в процессе фазовых переходов и непосредственного уплотнения вещества [2, 4].

По данным чандлеровской нутации при расстоянии  $\Delta x = 7,7 \cdot 10^{-1}$  рад. (4,5 м) между полюсом инерции и полюсом вращения Земли, периодом вязкого блуждания полюса  $P_{ch} = 434$  сут., периодом осевого вращения Земли  $T = 1$  сут., за полупериод покачивания полюса 13 лет уменьшение радиуса Земли согласно пропорции  $2\Delta R/R = T\Delta x/P_{ch}$  составляет  $0,57 \cdot 10^{-2}$  м или  $4,4 \cdot 10^{-2}$  м за 100 лет.

Для всего геологического времени (с учетом эпизодов увеличения объема Земли, замедления темпа контракции, а также приливного торможения) средняя скорость уменьшения радиуса Земли оценивается  $2,26 \cdot 10$  м за 100 лет [2, 3].

В указанном выше соотношении вириала  $W \gg U$  усматривается (особенно для высоких значений  $\gamma$ ), периодичность глобальных проявлений тектоно-магматической активности Земли как своеобразной термодинамической машины. В этом же плане рассматривается возможность периодических перегревов мантийных масс и образование выплавок малой плотности в верхах мантии, обладающих высокой плавучестью и приводящих к потере устойчивости литосферных плит под действием их собственного веса, а также возможность образования в мантии мощных конвективных течений, зрская от времени увлекающих литосферные плиты в разные стороны. Важно при этом иметь в виду, что контрактционный механизм тектогенеза предписывает возможность появления в верхней мантии Земли растягивающих окружных напряжений ниже глубины 70—80 км и возникновение планетарного масштаба зон сбросовых магистральных нарушений [9, 3]. Данная задача заслуживает специального геолого-географического анализа с привлечением аэрокосмических съемок для определения места и роли таких зон в тектоно-магматической эволюции внешней сферы твердой Земли.



ԵՐԿՐԱԳՆԴԻ ՏԵԿՏՈՆԱԿԱՆ ԷՎՈՒՅՈՒՑԻՍԱՅԻ ԵՎ ՔԱՐԵՊԼԱՏՅԱՆԻ  
ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՄԻ ՔԱՆԻ ՀԱՐՑԵՐ

## Ա մ փ ո փ ու մ

Երկրագնդի քարեպատյանը հավասարակշռության իզոստատիկ վիճակում ունի նվազագույն պոտենցիալ էներգիա: Մոլեկուլային բարձր ակտիվության տեկտոնական պրոցեսները հանգեցնում են քարեպատյանի կորացմանն ու բեկորատմանը: Ընդ որում, լարված վիճակի բարձր մակարդակների պատճառով նրա սահմաններում առաջանում են բեկման ղոնաներ, որոնք առաձգական հողակապերի դեր են կատարում և մասնատում են քարեպատյանը բազմաթիվ բեկորների: Վերջիններս, իրենց հերթին, հավասարակշռվում են միմյանց նկատմամբ իզոստատիկայի սկզբունքներով:

Ելնելով սալերի ճշտված տեսության դիրքերից, որում հաշվի է առնվում լայնակի տեղաշարժերի ազդեցությունը, հողվածում քննարկված է առաձգական հիմքի վրա տեղադրված սալի տեսքով քարեպատյանի մոդելը: Չսեղմվող մարմնի պլաստիկության ձևախախտման տեսության հիման վրա հետազոտվում է սալի կայունությունն աճող բեռնավորման պայմաններում: Հիմքի հակազդեցության ինտենսիվությունը համարժեք է համարվում լողունակության ուժին, որն առաջանում է թիկնոցային զանգվածի տեղակայման ժամանակ, երբ նրա մեջ է խորասուզվում քարեպատենային զանգվածը:

Լողունակության գործակցի, Ֆունդի մոդուլի և ամրաթուլացման չափանիշի տարբեր նշանակությունների համար հաշվարկված են կրիտիկական ճրնշումների արժեքները:

Ի վերջո քննարկվում է բնդհանուր երկրագինամիկ պայմանների և դրանց յուրահատկությունների ազդեցությունը երկրակեղևի ճկման և բեկման խոշոր ձևախախտումների զարգացման ընթացքի վրա:

A. T. ASLANIAN, L. S. KAZARIAN

SOME PROBLEMS OF THE EARTH'S TECTONIC EVOLUTION  
AND THE LITHOSPHERE MECHANICAL STABILITY

## A b s t r a c t

The Earth's lithosphere has a minimal potential energy in conditions of isostatic equilibrium state. Because of high levels of stressed condition zones of fissures are formed in the lithosphere, which play the role of plastic hinges, dismembering the lithosphere into a great number of blocks, which in their turn become balanced by the principle of isostasy. On the basis of plasticity deformational theory an attempt is made to investigate the stability of the lithosphere, being considered as a plate on an elastic basement, in which the transversal shear deformations are taken into consideration and which is in conditions of increasing loading. The critical pressures are calculated for various values of the lithosphere parameters.

Some problems of the lithosphere stability relation with the medium general geodynamical conditions are considered in conclusion.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Асланян А. Т. Динамическая проблема геотектоники. Междунар. геол. конгресс XXI сессия. Докл. сов. геологов. Изд. АН СССР, 1960, с. 5—16.
2. Асланян А. Т. Большие изменения внутреннего объема и полярного сжатия Земли и их тектонические последствия — Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1983, т. 36, № 4, с. 3—25.



3. Асланян А. Т. Предельные значения мощности и прочности литосферы в свете теории гравитационного сжатия и приливного торможения Земли. — Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1976, № 1, с. 20—30.
4. Асланян А. Т. Конвекция и контракция. — Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1982, т. 35, № 6, с. 1—21.
5. Асланян А. Т. Архейские водоросли, лунные приливы и гравитационная постоянная. — Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1979, т. 32, № 6, с. 1—8.
6. Бийлард П. Теория пластического изгиба и ее приложение к геофизике. Теория пластичности. Сб. статей М.: ИЛ, 1948, с. 375—391.
7. Венинг Мейнес Ф. А. Гравиметрические наблюдения на море. Теория и практика. М.: Изд. геодез. и картогр. лит. ГУГК, 1940, с. 141—148.
8. Вольмир А. С. Устойчивость упругих систем. М.: Гостехиздат физмат. лит-ры, 1963, 867 с.
9. Джефферис Г. Земля, ее происхождение, история и строение. М.: ИЛ, 1960, 485 с.
10. Динамика и эволюция литосферы. Сб. статей, М.: Наука, 1986, 231 с.
11. Зоненшайн Л. П., Савостин Л. А. Введение в геодинамику. М.: Недра, 1979, 311 с.
12. Илюшин А. А. Пластичность. М—Л.: Гостехиздат, 1948, 372 с.
13. Казарян Л. С. Устойчивость земной литосферы за пределами упругости. ДАН АрмССР, т. 34, № 5, 1987, с. 198—202.
14. Киракосян Р. М. Об устойчивости пластинок за пределами упругости с учетом поперечных сдвигов. Изв. АН АрмССР, Механика, т. 27, № 4, 1974, с. 45—56.
15. Коваленко В. И., Богатиков О. А., Ярмолюк Б. В. Эволюция магматизма и история Земли.—В кн.: Динамика и эволюция литосферы. М.: Наука, 1986, с. 170—180.
16. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория упругости. М.: Наука, 1965, с. 204.
17. Лейбензон Л. С. Собрание трудов, том IV, Гидроаэродинамика и геофизика. М.: Изд. АН СССР, 1955, 398 с.
18. Новая глобальная тектоника (тектоника плит). Сб. статей (перев. с англ.), М.: Мир, 1974, 471 с.
19. Работнов Ю. Н., Шестериков С. А. Устойчивость стержней и пластинок в условиях ползучести. ПММ, т. 21, вып. 3, 1957, с. 406—413.
20. Современные проблемы геодинамики. Сб. статей (перевод с англ.), М.: Мир, 1984.
21. Тёркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика, в 2-х частях, ч. I. М.: Мир, 1985, 323 с.
22. Хаин В. Е., Михайлов А. Е. Общая геотектоника. М.: Недра, 1985, 326 с.
23. Яншин А. Л. Развитие геологии и ее современные особенности. — В кн.: Методологические и философские проблемы геологии. Новосибирск: Наука, 1979, с. 17—33.
24. Akaodi M., Akimoto S. High pressure phase equilibria in a garnet lherzolite. Phys. Earth Planet Interiors, 1979, 19, p. 31—51.
25. Howell B. F. Coriolis force and the New Global Tectonics. Journ Geophys. Res. v. 75, № 14, 1970, p. 2769—2772.
26. Walcott R. I. Flexural Rigidity, Thickness and viscosity of the Lithosphere Journ. Geophys. Res. vol. 75, № 20, 1970, p. 3941—3954.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XI II, № 5, 35—44

УДК: 551.16

Н. Н. КАЗАРОВ

## К ЗАКОНОМЕРНОСТИ СМЕЩЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС ВНУТРЕННЕГО ЯДРА ЗЕМЛИ ОТ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА В СТОРОНУ СОЛНЦА

В статье рассматривается суточное вращение Земли, обосновывается гипотеза зависимости его от смещения центра масс внутреннего ядра Земли в сторону Солнца и приводится методика расчета величины смещения и влияния указанного факта на сезонные природные процессы.

Известно смещение центра масс спутника Земли—Луны от геометрического центра [2, 3]. Известно также смещение центра масс Земли от геометрического центра [2, 3]. И. Н. Галкин [13, с. 131] приводит величину десятков метров для Земли. П. И. Бакулин и др. [2, с. 116] приводят разность полярных радиусов в 30 м и утверждают, что истинная фигура Земли отличается и от сфероида, и от трехосного эллипсоида. Указанные же авторы на с. 417 приводят координаты центра эллипсоида относительно центра масс в 600—700 м, полу-



3. Асланян А. Т. Предельные значения мощности и прочности литосферы в свете теории гравитационного сжатия и приливного торможения Земли. — Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1976, № 1, с. 20—30.
4. Асланян А. Т. Конвекция и контракция. — Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1982, т. 35, № 6, с. 1—21.
5. Асланян А. Т. Архейские водоросли, лунные приливы и гравитационная постоянная. — Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1979, т. 32, № 6, с. 1—8.
6. Бийлард П. Теория пластического изгиба и ее приложение к геофизике. Теория пластичности. Сб. статей М.: ИЛ, 1948, с. 375—391.
7. Венинг Мейнес Ф. А. Гравиметрические наблюдения на море. Теория и практика. М.: Изд. геодез. и картогр. лит. ГУГК, 1940, с. 141—148.
8. Вольмир А. С. Устойчивость упругих систем. М.: Гостехиздат физмат. лит-ры, 1963, 867 с.
9. Джефферис Г. Земля, ее происхождение, история и строение. М.: ИЛ, 1960, 485 с.
10. Динамика и эволюция литосферы. Сб. статей, М.: Наука, 1986, 231 с.
11. Зоненшайн Л. П., Савостин Л. А. Введение в геодинамику. М.: Недра, 1979, 311 с.
12. Илюшин А. А. Пластичность. М—Л.: Гостехиздат, 1948, 372 с.
13. Казарян Л. С. Устойчивость земной литосферы за пределами упругости. ДАН АрмССР, т. 34, № 5, 1987, с. 198—202.
14. Киракосян Р. М. Об устойчивости пластинок за пределами упругости с учетом поперечных сдвигов. Изв. АН АрмССР, Механика, т. 27, № 4, 1974, с. 45—56.
15. Коваленко В. И., Богатиков О. А., Ярмолюк Б. В. Эволюция магматизма и история Земли.—В кн.: Динамика и эволюция литосферы. М.: Наука, 1986, с. 170—180.
16. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория упругости. М.: Наука, 1965, с. 204.
17. Лейбензон Л. С. Собрание трудов, том IV, Гидроаэродинамика и геофизика. М.: Изд. АН СССР, 1955, 398 с.
18. Новая глобальная тектоника (тектоника плит). Сб. статей (перев. с англ.), М.: Мир, 1974, 471 с.
19. Работнов Ю. Н., Шестериков С. А. Устойчивость стержней и пластинок в условиях ползучести. ПММ, т. 21, вып. 3, 1957, с. 406—413.
20. Современные проблемы геодинамики. Сб. статей (перевод с англ.), М.: Мир, 1984.
21. Тёркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика, в 2-х частях, ч. I. М.: Мир, 1985, 323 с.
22. Хаин В. Е., Михайлов А. Е. Общая геотектоника. М.: Недра, 1985, 326 с.
23. Яншин А. Л. Развитие геологии и ее современные особенности. — В кн.: Методологические и философские проблемы геологии. Новосибирск: Наука, 1979, с. 17—33.
24. Akaodi M., Akimoto S. High pressure phase equilibria in a garnet lherzolite. Phys. Earth Planet Interiors, 1979, 19, p. 31—51.
25. Howell B. F. Coriolis force and the New Global Tectonics. Journ Geophys. Res. v. 75, № 14, 1970, p. 2769—2772.
26. Walcott R. I. Flexural Rigidity, Thickness and viscosity of the Lithosphere Journ. Geophys. Res. vol. 75, № 20, 1970, p. 3941—3954.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XI II, № 5, 35—44

УДК: 551.16

Н. Н. КАЗАРОВ

## К ЗАКОНОМЕРНОСТИ СМЕЩЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС ВНУТРЕННЕГО ЯДРА ЗЕМЛИ ОТ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА В СТОРОНУ СОЛНЦА

В статье рассматривается суточное вращение Земли, обосновывается гипотеза зависимости его от смещения центра масс внутреннего ядра Земли в сторону Солнца и приводится методика расчета величины смещения и влияния указанного факта на сезонные природные процессы.

Известно смещение центра масс спутника Земли—Луны от геометрического центра [2, 3]. Известно также смещение центра масс Земли от геометрического центра [2, 3]. И. Н. Галкин [13, с. 131] приводит величину десятков метров для Земли. П. И. Бакулин и др. [2, с. 116] приводят разность полярных радиусов в 30 м и утверждают, что истинная фигура Земли отличается и от сфероида, и от трехосного эллипсоида. Указанные же авторы на с. 417 приводят координаты центра эллипсоида относительно центра масс в 600—700 м, полу-



ченные спутниковыми измерениями гравитационного поля. И. Н. Казаров [7], доказывая о смещении центра масс, уточняет и направление смещения в сторону Солнца и что именно внутреннее ядро является причиной этого.

Известно также притяжение Солнцем Земли [2], в результате чего имеем солнечные приливы и отливы.

Наиболее близкой к настоящей статье является работа Ю. Н. Авсюка [1], где в основных выводах автор только косвенно уточняет: «движение внутреннего ядра (Земли) с большой степенью достоверности можно считать существующим». Эти движения вынужденные. Они управляются внешним приливным воздействием Солнца на систему Земля—Луна. Подтверждением факта движения можно считать материалы регистрации изменчивости широт и интерпретацию материалов регистрации приливных вариаций силы тяжести, наклонов, деформаций, уровней водоемов.

Из изложенного выше видно, что пока нет данных, связывающих воедино динамические характеристики планеты и их связь со смещением центра масс ядра.

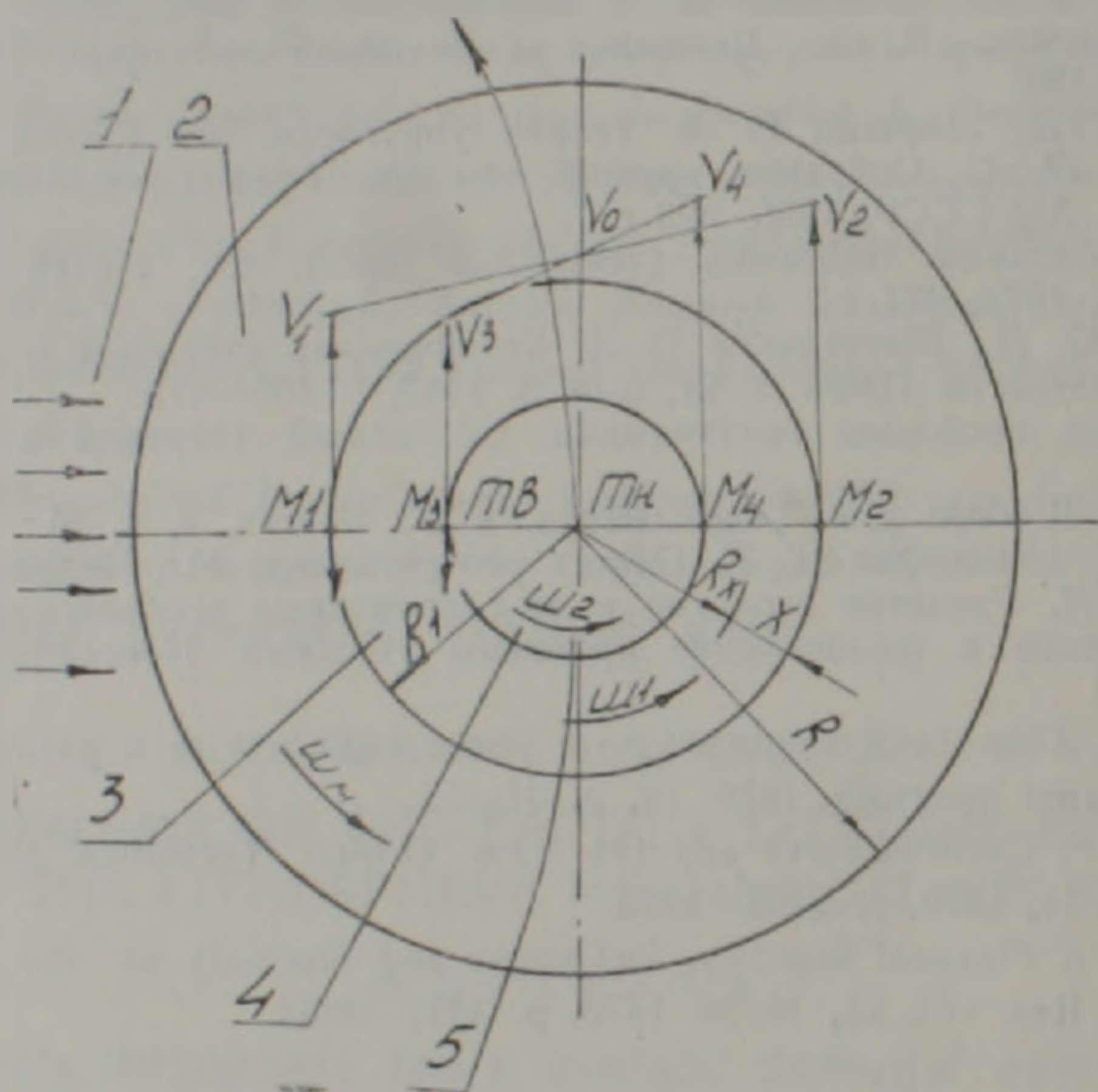


Рис. 1. Схема сечения Земли в плоскости орбиты. 1. Солнечный ветер; 2. Мантия; 3. Жидкое ядро; 4. Твердое ядро; 5. Орбита Земли.

Целью нижеследующего расчета является выявление этой взаимосвязи.

Из приведенных литературных данных можно составить схему сечения Земли (рис. 1), откуда видно, что она состоит из нескольких концентрических оболочек: 1—мантия, 2—жидкое ядро, 3—твердое ядро.

При этом масса всей Земли  $m = 5,98 \cdot 10^{27}$  г, момент инерции  $J = 0,335 m R^2$ , радиус 6378 км. Жидкое ядро имеет внешний радиус  $R_1 = 3490$  км и плотность  $\rho_1 = 10$  г/см<sup>3</sup>, внутреннее твердое ядро имеет радиус  $R_2 = 1200$  км и плотность  $\rho_2 = 13$  г/см<sup>3</sup>.

Так как ядро Земли является более активной частью, чем твердая оболочка, что видно по тепловому потоку из недр и выделяемому количеству энергии при землетрясениях и вулканических процессах, то заключаем, что суточное вращение литосферы может зависеть от вращения ядра. При этом отмечаем, что ядро на данном этапе своего развития постоянно наращивает свою массу, что видно из работы О. Г. Сорохтина [10]. Но, если какая-то масса вещества переходит из более



поверхностных слоев в нижние, например из низов мантии в жидкое ядро, ближе к центру, то согласно [2, с. 132] возрастает его угловая скорость. Отсюда заключаем, что ядро всегда должно иметь угловую скорость большую, чем твердая оболочка. Более того, именно оно является двигателем, поддерживающим суточное вращение. В этом случае энергия вращения литосферы должна быть равна или меньше энергии вращения ядра Земли.

Следует также отметить, что на смежных поверхностях мантия-ядро, жидкое ядро—твердое ядро всегда должно быть динамическое равновесие, обусловленное силами гравитации, внутренним давлением, температурой и электромагнитными силами.

В работах [7, 2] отмечалось, что солнечный ветер поляризует освещенную поверхность Земли, проникая на границы оболочек, создает противоположные заряды на смежных поверхностях, также только с солнечной стороны.

Однако механизм вращения планет, в частности Земли, недостаточно изучен. Тем более не ясны причины смещения центра масс Земли. Но если все же Земля вращается постоянно и достаточно равномерно, несмотря на сопротивление, оказываемое Луной, значит и причина этого вращения воздействует на нее постоянно и равномерно.

Попытаемся некоторыми расчетами уточнить воздействующие на Землю факторы.

Вспомним, что круглые ядра, вылетающие из орудия, только тогда начинают вращаться при полете, когда смещается центр масс за счет односторонне расположенного полого пространства внутри него. Математически можем сказать об этом факте: импульсы сил, приложенных к геометрическому центру ядра, в полете с полой и сплошной стороны должны быть равны, но массы их различны.

При равномерном движении Земли по орбите все подобно летящему эксцентричному по массе ядру орудия. Тогда можно утверждать, что суточное вращение также связано с постоянным утяжелением одной половины Земли относительно другой.

Если смотреть на Землю с Северного полюса, мы имеем суточное вращение против часовой стрелки (рис. 1). Значит мгновенные скорости противоположных точек на одном диаметре, перпендикулярном к касательной орбиты, разные. При этом внутренние точки, например  $M_1$  и  $M_3$ , должны иметь меньшую линейную скорость, чем точка, лежащая на орбите, а точки  $M_2$  и  $M_4$ —соответственно большую линейную скорость. Отсюда заключаем, что масса освещенной Солнцем половины Земли постоянно больше ночной половины. Расчеты приведем ниже. Внутри Земли, как известно, жидкое ядро, а в центре нее—твердое внутреннее ядро, находящиеся под постоянным гравитационным давлением. И говорить о полом пространстве внутри Земли нет смысла. Ссылки на неравномерность воздушной массы, укутывающей Землю, также почти отпадают, так как Луна тоже имеет смещение центра масс относительно геометрического центра, вовсе не имея воздушной оболочки.

Остается утверждать, что внутреннее ядро Земли имеет возможность постоянно перемещаться внутри жидкого в сторону Солнца и утяжелять дневную половину Земли.

Но для постоянного перемещения ядра нужно и постоянное ускорение, направленное в ту же сторону. Таким ускорением может быть только тяготение Солнца.

Могут, конечно, возразить, что давно доказано [2, с. 101], что ускорение приливообразующей силы Луны в 2,2 раза более солнечной, и потому отдельно солнечные приливы и отливы не наблюдаются. Более того, лунные и солнечные приливы двусторонние, т. е. поднятие воды океанов имеем как со стороны Луны, так и с противоположной стороны.

На это ответим следующим:



1. Все же теоретически размеры Земли и его ядра не бесконечно малы по сравнению с расстояниями до Луны и Солнца [2] и независимо от формы Земли силы лунного и солнечного притяжения на разные точки Земли неодинаковы.

Выполним для точек  $M_3$  и  $M_4$  на поверхности твердого ядра небольшой расчет по определению их солнечного ускорения:

$$\omega_1 = \frac{fM_0}{(c-R_2)^2} - \frac{fM_0}{c^2} \quad (1)$$

$$\omega_2 = \frac{fM_0}{c^2} - \frac{fM_0}{(c+R_2)^2}, \quad (2)$$

где:  $f$ —гравитационная постоянная,  $M_0$ —масса Солнца,  $c$ —расстояние между центрами масс Солнца и Земли.

Разделив уравнение (1) на уравнение (2), выполнив преобразования и подставив значение величин, получим:

$$\omega_1/\omega_2 \approx 1,00003. \quad (3)$$

Соотношение ускорений точек  $M_3$  и  $M_4$  очень мало, однако оно есть, поэтому твердое ядро будет, во-первых, под действием приливного усилия Солнца растягиваться в эллипсоид со значительной разницей полуосей, во-вторых, этот эллипсоид будет постоянно расположен асимметрично относительно геометрического центра Земли, так как твердая оболочка оказывает значительное сопротивление деформирующей силе.

2. Хотя лунное приливообразующее ускорение в 2,2 раза больше солнечного и оно искажает вышеописанный процесс, но за лунный месяц сумма работ от нее равна нулю, в то время как солнечное ускорение действует постоянно.

Таким образом, когда Луна находится в фазе новолуния и центры Солнца, Луны и Земли расположены на прямой происходит более усиленное перемещение твердого ядра в сторону Солнца. В течение лунного месяца происходит размежевание направлений ускорений от солнечного и лунного притяжений. Последнее по кругу меняет свое направление и только снова приближаясь к исходному направлению в новолуние усиленно помогает солнечному ускорению как в вытягивании твердого земного ядра в удлинённый эллипсоид вращения, так и в перемещении большой оси его в сторону Солнца, создавая смещение центра масс внутреннего ядра Земли от геометрического центра.

Хотя землетрясения происходят в любое время, именно на период новолуния приходится 65—70% их, что также связано со смещением внутреннего ядра Земли, о чем будет сказано в конце работы.

Ниже приведены расчеты, определяющие как смещение центра масс ядра Земли относительно геометрического центра, так и среднюю величину этой части массы внутреннего ядра. За основу расчета примем, что кинетическая энергия вращения мантии и всех вышележащих слоев равна или менее кинетической энергии ядра, которая их вращает.

Известно [9], что кинетическая энергия вращающегося тела выражается формулой:

$$E_b = \frac{1}{2} I \omega^2, \quad (4)$$

где:  $I$ —момент инерции тела,  $\omega$ —угловая скорость тела. Для Земли можем написать:

$$\frac{1}{2} I_M \cdot \omega_M^2 \leq \frac{1}{2} I_Y \cdot \omega_Y^2 \quad (5)$$

где  $I_M$ ,  $\omega_M$ —момент инерции и угловая скорость мантии,  $I_Y$ ,  $\omega_Y$ —момент инерции и угловая скорость ядра.



В зависимости от того к какому ядру отнести расчет, примем индексацию:

Я1—относится к внешнему жидкому ядру,

Я2—относится к внутреннему твердому ядру.

Формула (5) для внешнего ядра будет иметь вид:

$$\omega_{я1} \geq \omega_m \sqrt{\frac{I_m}{I_{я1}}} \quad (6)$$

Так как плотности ядер приняты разными, то подсчитаем моменты инерции внутреннего ядра и жидкого ядра и сложив получим величину  $I_{я1}$ :

для внутреннего ядра Земли имеем:

$$I_{я2} = 0,4m_2 R_2^2 = 5 \cdot 10^{41} \text{ г} \cdot \text{см}^2, \quad (7)$$

для внешнего ядра Земли имеем:

$$I_{я1} = 8,34 \cdot 10^{43} \text{ г} \cdot \text{см}^2. \quad (8)$$

Полный момент инерции ядра:

$$I_{я} = I_{я1} + I_{я2} = 8,39 \cdot 10^{43} \text{ г} \cdot \text{см}^2. \quad (9)$$

Момент инерции мантии Земли найдем из разности:

$$I_m = I - I_{я} = 72,97 \cdot 10^{43} \text{ г} \cdot \text{см}^2. \quad (10)$$

Подставив значения в выражение (6), получим:

$$\omega_{я1} \geq 2,95 \omega_m. \quad (11)$$

Если представить, что двигателем является внутреннее ядро и в формулу (6) поставить соответствующие данные, получим:

$$\omega_{я2} \geq 54 \omega. \quad (12)$$

Аналогичный результат упоминается и в работе [6].

Разобьем массу внутреннего ядра условно на две полусферы: внутреннюю относительно орбиты— $m_o$  и внешнюю— $m_m$ . Ввиду вращения ядра абсолютные линейные скорости противоположных точек  $M_1$  и  $M_2$  будут разные. Указанное же рассуждение распространим и на внутреннее ядро с точками  $M_3$  и  $M_4$ .

Если обозначить  $V_1$  и  $V_2$ —мгновенные скорости точек  $M_1$  и  $M_2$ ,  $V_3$  и  $V_4$ —мгновенные скорости точек  $M_3$  и  $M_4$ , а орбитальную скорость планеты  $V_o$ , то можно утверждать, что скорости  $V_1$  и  $V_2$  (а также скорости  $V_3$  и  $V_4$ ) складываются из орбитальной скорости  $V_o$  плюс линейная векторная скорость от углового вращения ядра, то есть:

$$V_1 = V_o - V_{я1}; \quad V_2 = V_o + V_{я1}; \quad V_3 = V_o - V_{я2}; \quad V_4 = V_o + V_{я2}. \quad (13)$$

Линейные скорости ядра на поверхностях, соответствующих найденным угловым скоростям  $\omega_1$  и  $\omega_2$  при минимальных их значениях будут как произведения угловых скоростей на радиусы их, т. е.

$$V_{я1} = 0,81 \text{ км/с}; \quad V_{я2} = 4,26 \text{ км/с} \quad V_o = 29,8 \text{ км/с}$$

$$V_1 = 29,0 \text{ км/с}; \quad V_2 = 30,6 \text{ км/с} \quad \text{I вариант}$$

$$V_3 = 24,24 \text{ км/с}; \quad V_4 = 34,06 \text{ км/с} \quad \text{II вариант.}$$

Первый вариант относится к жидкому ядру, второй—к твердому.



Зная, что переходная масса  $\Delta m$  находится на внутренней относительно орбиты полусфере ядра и что имеется динамическое равновесие, можем написать:

$$m_{\text{я}} + m_{\text{н}} = m_{\text{я}}; \quad m_{\text{я}} \cdot V_{\text{я}} = \text{const} \quad \text{и} \quad m_{\text{н}} - \Delta m = m_{\text{н}}.$$

Рассчитаем массы ядер  $m_{\text{я1}}$  и  $m_{\text{я2}}$ :

$$m_{\text{я2}} = \frac{4}{3} \pi \rho_2 \cdot R_2^3 = 9,36 \cdot 10^{26},$$

$$m_{\text{я1}} = \frac{4}{3} \pi \rho_1 (R_1^3 - R_2^3) + m_{\text{я2}} = 1,82 \cdot 10^{27},$$

или в долях массы Земли:

$$m_{\text{я2}} = m : 64; \quad m_{\text{я1}} = 0,3 m.$$

Координаты центров масс полусфер принимаем на расстоянии  $3/8$  радиуса от основания. Тогда линейные скорости их ( $V_{\text{ц}}$ ) будут пропорционально меньше, чем линейные скорости на внешнем радиусе

полусферы, а  $V_{\text{ц1}} = \frac{3}{8} V_{\text{я1}} = 0,3 \text{ км/с}; \quad V_{\text{ц2}} = \frac{3}{8} V_{\text{я2}} = 1,6 \text{ км/с}$ , и аб-

солютные линейные скорости центра масс полуядер будут:

$$V_1^1 = 29,8 - 0,3 = 29,5 \text{ км/с}; \quad V_2^1 = 29,8 + 0,3 = 30,1 \text{ км/с},$$

$$V_3^1 = 29,8 - 1,6 = 28,2 \text{ км/с}; \quad V_4^1 = 29,8 + 1,6 = 31,4 \text{ км/с}.$$

Импульсы сил, приложенных к центрам масс полуядер, при динамическом равновесии равны:

для первого варианта:

$$\frac{m_{\text{я}}}{m_{\text{н}}} = \frac{V_2^1}{V_1^1} = \frac{30,1}{29,5} = 1,02; \quad m_{\text{я1}} = 2,02 m_{\text{н}},$$

$$\Delta m = m_{\text{я}} - m_{\text{н}} = 1,02 m_{\text{н}} - m_{\text{н}} = 0,02 m_{\text{н}},$$

для второго варианта:

$$\frac{m_{\text{я}}}{m_{\text{н}}} = \frac{V_4^1}{V_3^1} = \frac{31,4}{28,2} = 1,105; \quad m_{\text{я2}} = 2,105 m_{\text{н}},$$

$$\Delta m = m_{\text{я}} - m_{\text{н}} = 1,105 m_{\text{н}} - m_{\text{н}} = 0,105 m_{\text{н}}.$$

Зная величину возмущающей массы  $\Delta m$  и радиус его приложения в центре масс полуядра, можем пересчитать его на всю массу Земли:

$$\Delta m \cdot R_{\text{ц}} = e_1 m, \quad (20)$$

где  $e_1$  — эксцентриситет центра масс Земли относительно геометрического центра.

Подставив значение, получим:

для первого варианта:  $e_1 = 3,92 \text{ км}$ ,

для второго варианта:  $e_2 = 0,35 \text{ км}$ .

Величина  $e_1 = 3,92 \text{ км}$ , если бы имела место, давно могла бы быть зафиксирована гравиметрическими спутниковыми измерениями. Поэтому можно заключить, что основным двигателем является внутреннее твердое ядро. При этом смещение центра масс Земли относительно геометрического центра при нормальных условиях составляет:



$$e_1 = 0,35 \text{ км.}$$

Выполним еще один расчет, пересчитав величину возмущающей массы  $\Delta m$  применительно к твердому ядру.

$$\Delta m R_{\text{н}} = e_2 m_{\text{я2}},$$

где:  $e_2$  — смещение центра масс твердого ядра относительно геометрического центра Земли

$$e_2 = \frac{0,105 m_4 \cdot 3,8 R_2}{m_{\text{я2}}} = \frac{0,105 m_{\text{я2}} \cdot 3 \cdot 1200}{2,105 \cdot m_{\text{я2}} \cdot 8} = 22,5 \text{ км.}$$

Расчет показал, что внутреннее ядро Земли имеет большое смещение  $e_2 = 22,5$  км, направленное в сторону Солнца.

Так как оно состоит из достаточно тяжелых компонентов — в основном металлов, лишенных электронов, т. е. положительно заряженных частиц и вращается с угловой скоростью  $\omega_2 \geq 51 \omega$ , а жидкое ядро вращается с угловой скоростью  $\omega_1 \geq 2,95 \omega$ , то создается круговой электрический ток, вокруг которого формируется магнитное поле Земли. Во второй части этой статьи мы покажем некоторые практические процессы, подтверждающие наличие смещения масс твердого ядра относительно геометрического центра.

Если вектор  $e_1$  (рис. 2) всегда направлен от оси вращения к Солнцу, то проекция его на саму ось вращения  $e_3$  будет иметь определенное значение. Причем летом и зимой  $e_3$  — максимальное и равно:

$$e_3 = e_1 \sin \varphi = 0,35 \sin 23^\circ 27' = 0,140 \text{ км.}$$

Здесь  $\varphi = 23^\circ 27'$  — склонение Земли.

Весной и осенью  $e_3$  близок к нулю или равен нулю.

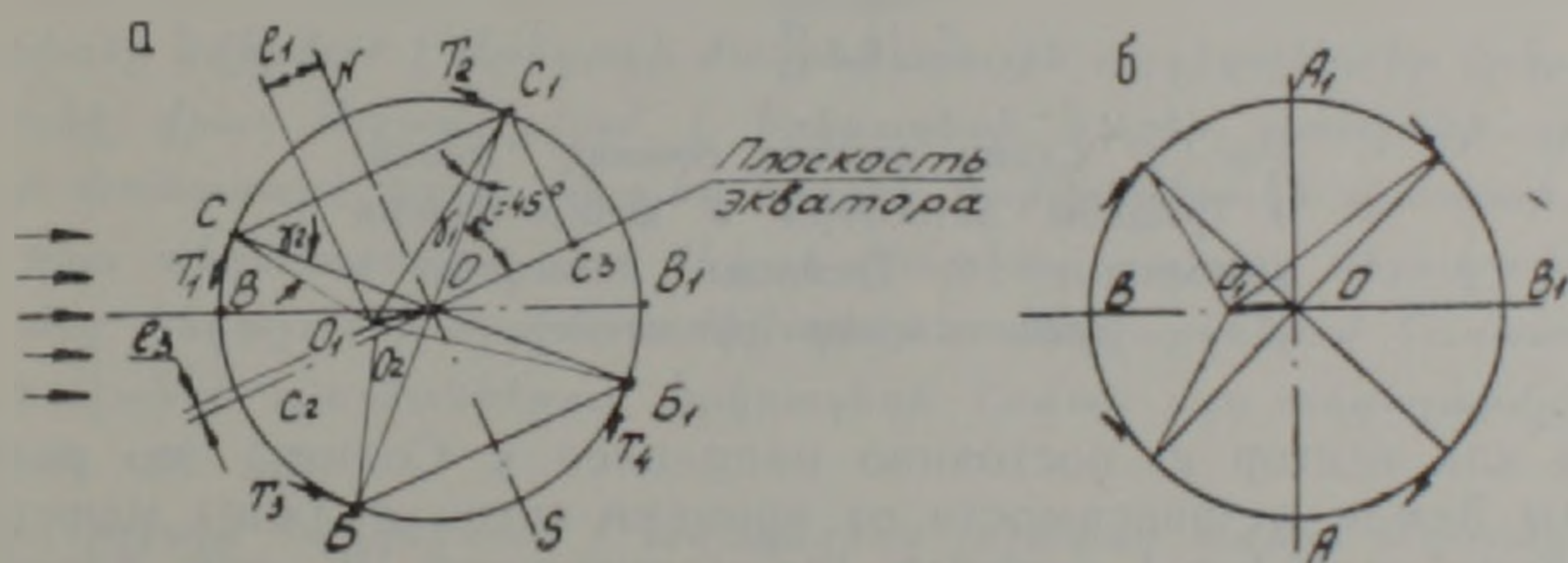


Рис. 2. Схема смещения центра масс Земли в июне: а) в плоскости оси вращения; б) в плоскости экватора

Именно весной и осенью мы имеем наиболее неустойчивую погоду, причина которой станет ясна в дальнейшем.

Таким образом Полярный радиус за полгода меняется на величину  $\pm 0,140$  км. Летом в Северном полушарии он на 250 м короче, чем зимой. Но если центр тяжести Земли смещен относительно геометрического центра, то ускорение свободного падения создает касательное ускорение, всегда и с любой точки поверхности направленное к наиболее близкой к Солнцу точки дневной стороны.

При этом максимальное значение касательного ускорения  $T$  равно:

$$T = g \frac{e_1}{R} \approx 0,000006 \text{ г.}$$

Это максимальное ускорение действует на поверхности Земли в плоскости, касательной к орбите ее, и уменьшается до нуля по мере удаления от этой плоскости. Максимальных значений тангенциальное ускорение достигает к 6 и 18 часам местного времени.



Рассмотрим наиболее значительные процессы, где ярко выявляется смещение центра масс Земли от геометрического центра. В первую очередь это само суточное вращение, которое приведено выше, но оно также должно относиться и к изменениям формы Земли, кривизны его поверхности. Например, покрытый толстым льдом Ледовитый океан, как уже сформировавшееся твердое тело, не может безболезненно изменить кривизну, не расколовшись ввиду малой прочности и хрупкости.

При увеличении радиуса кривизны мы видим образование значительных меридиональных трещин у края льда и, наоборот, при уменьшении радиуса мы видим сжатие льдов. Указанное верно как для Арктики, так и для Антарктиды.

Очень интересное движение создается в океанской воде. Днем она собирается со всех сторон к наиболее близкой к Солнцу точке, куда направлено движение воды из-за касательного ускорения. По мере перемещения указанной точки по кругу из-за суточного вращения, дневной прилив рассасывается, но все же из-за нахождения вектора  $e_1$  в северном полушарии вода преимущественно накапливается там же. Через полгода потоки воды преимущественно накапливаются в южном полушарии.

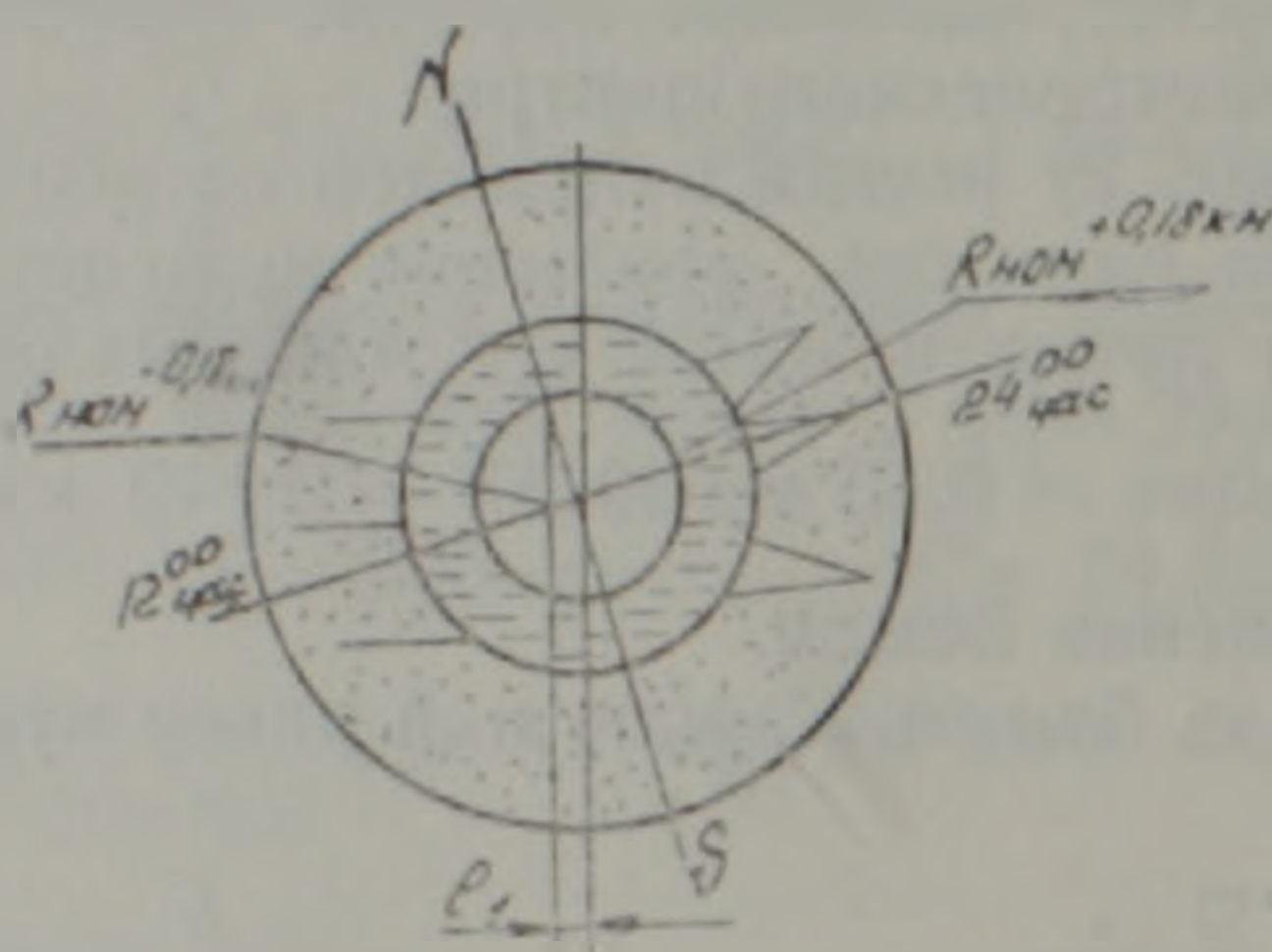


Рис. 3 Схема осевого сечения Земли:  
1. Трещины литосферы в ночное время (раскрытые). 2. Трещины литосферы в дневное время (прижатые)

Так как вектор  $e_1$  постоянно направлен к Солнцу, то радиусы кривизны Земли в зависимости от времени суток должны меняться, с деформацией литосферы, которая перенапрягается. В этом случае на ее внутренней стороне в ночное время в наиболее напряженных точках появляются трещины (рис. 3.), когда радиус кривизны поверхности наибольший и в эти трещины проникает более плотная магма.

Именно поэтому вдоль трещины мы должны регистрировать повышение величины ускорения свободного падения по сравнению с постоянной его величиной в данном регионе. Через 12 часов, то есть когда указанный регион находится на дневной стороне, и радиус кривизны уменьшается, происходит постепенное закрытие трещины. Природа как бы сама заживает свои раны.

Рассмотрение причин движения атмосферного воздуха—это отдельная тема. Здесь же упомянем одну характерную особенность ее в приземном слое. Ввиду большой подвижности воздуха при увеличении ускорения свободного падения в данном районе или вдоль трещины большая его часть резко прижимается к поверхности Земли, увеличивая атмосферное давление, конденсируя влагу и постепенно выдавливается из этого района в смежные.

Как только основная причина—ускорение свободного падения (из-за закрытия трещин) выравнивается в районе, в атмосфере над ним оказывается зона относительно пониженного атмосферного давления, и из смежных регионов воздух устремляется к этой зоне. Вышеприве-



денное изложение верно как для целого полушария Земли, так и суточного периода или отдельного региона, где произошло землетрясение с разрывом коры. Указанное подтвердим следующим примером.

В таблице 1 показано среднее атмосферное давление в зимние и летние месяцы для района Армянской АЭС и Москвы

| Атмосферное давление в<br>мм рт. ст. | Таблица 1     |         |         |
|--------------------------------------|---------------|---------|---------|
|                                      | 1978 г.       | 1979 г. | 1979 г. |
|                                      | Армянская АЭС |         | Москва  |
| Среднее зимнее                       | 685,1         | 648,8   | 751,1   |
| Среднее летнее                       | 677,2         | 679,1   | 743,0   |
| Разность их                          | 7,9           | 5,7     | 8,1     |

Из таблицы видно, что зимой, когда радиус кривизны в регионе больше, чем летом и имеются значительные трещины в коре Земли— выше атмосферное давление Северного полушария.

Армянская атомная  
электростанция

Поступила 29.1.1988.

Ի. Ն. ԴԱԶԱՐՈՎ

ՆՐԿՐԱԳՆԵՒԻ ՆԵՐՔԻՆ ՄԻՋՈՒՆԻ ԶԱՆԴԱԾՆԵՐԻ ԿԵՆՏՐՈՆԻ ԻՐ  
ՆՐԿՐԱԶԱՓԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆԵՑ ԴԵՊԻ ԱՐԵՓԱԿԸ ՏԵՂԱՇԱՐԺՄԱՆ  
ՕՐԻՆԱԶԱՓՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հողվածը նվիրված է Արեգակի մակրոթացային ադդեցությունը ներկադրնդի միջուկի վրա: Ապացուցվում է ներկադնդի կարծր պատյանի օրական պտույտի փոխադարձ կապը ինչպես ներքին կարծր միջուկի պտույտի, այնպես էլ նրա տեղաշարժման հետ հեղուկ վիճակում գտնվող միջուկում: Բերվում է այդ տեղաշարժի որոշման մեթոդական: Հաշվարկներով հաստատվում է, որ բնականոն պայմաններում ներկադնդի համար այդ տեղաշարժը կադմում է 0, 18 կմ:

Վերահիշյալը հանգեցնում է տանգենցիալ շոշափող ուժերի առաջադմանը, որոնք ազդում են եղանակային բոլոր երևույթների վրա: Օրինակներ են բերվում այդ երևույթներից որոշների վրա առաջացած ադդեցությունների վերաբերյալ:

I. N. KAZAROV

ON THE REGULARITY OF THE EARTH'S INNER CORE MASSES  
CENTER DISPLACEMENT FROM THE GEOMETRIC CENTER  
TOWARDS THE SUN

A b s t r a c t

The Earth's daily rotation is considered in the paper. The hypothesis of this rotation dependence on the Earth's inner core masses center displacement towards the Sun is substantiated. The methods of the the displacement value calculation and influence of above-mentioned fact on the season natural processes are brought.



1. Авсюк Ю. Н. Движения в ядре Земли и их связь с наблюдаемыми на поверхности явлениями. Автореф. дисс. на соиск. уч. степени докт. физ.-мат. наук, М.: МГУ, 1988, 24 с.
2. Бакулин П. И., Кононович Э. В., Мороз В. И. Курс общей астрономии. М.: Наука, 1977, 543 с.
3. Галкин И. Н. Геофизика Луны. М.: Наука, 1978, 176 с.
4. Грушинский И. П. Теория фигуры Земли. М.: Наука, 1976, 512 с.
5. Жарков В. Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1978, 192 с.
6. Зубков В. Земля—полчок и волчок? Газета «Социндустрия», 18 апреля 1979.
7. Казаров И. Н. Суточное вращение Земли. Газета Хагах атом, АрмАЭС, № 12, 1979.
8. Казаров И. Н. Смещение центра масс внутреннего ядра Земли от геометрического центра в сторону Солнца. Газета Хагах атом, АрмАЭС, № 13, 1986.
9. Кошкин Н. И., Ширкевич М. Г. Справочник по элементарной физике. М.: Наука, 1976, 246 с.
10. Сорохтин О. Г. Глобальная эволюция Земли. М.: Наука, 1979, 184 с.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XLII, № 5, 44—54

УДК 550.837

А. К. МАТЕВОСЯН

## СОПОСТАВЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАЖУЩЕГОСЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ И КАЖУЩЕГОСЯ ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ НА ПРИМЕРЕ ДВУХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

На примере двухмерной модели геоэлектрической среды, представляющей собой анизотропную вмещающую среду, низкоомный пласт, поляризующийся цилиндр, и осложненной локальными электрическими неоднородностями, показана существенная зависимость параметров кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости от выбранной системы возбуждения электрического поля (расстановки питающих электродов). Основываясь на устойчивости остаточных параметров кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости к различным системам возбуждения и регистрации электрических полей, доказана их надежность при исследованиях геоэлектрической среды со сложной дифференциацией электрических свойств. Экспериментально подтверждена эффективность использования многоэлектродных установок при изучении анизотропной среды с локальными электрическими неоднородностями путем регистрации параметров первичного и вторичного полей различными парами взаимно перпендикулярных приемных линий в исследуемом пункте наблюдений.

С целью подтверждения справедливости теоретических исследований особенностей проявления различных параметров кажущегося сопротивления (КС) и кажущейся поляризуемости (КП), характеризующих геоэлектрическую среду возбуждением электрического поля многоэлектродной системой питающих электродов [2, 3, 4, 5], проведена экспериментальная проверка основных положений и выводов.

Моделирование выполнено на электропроводной бумаге, с использованием планшета аппаратуры МУСІ—І [1], над двухмерной моделью анизотропной по удельному электрическому сопротивлению среды, вмещающей низкоомный неполяризующийся пласт и поляризующийся бесконечный цилиндр, не отличающийся по электропроводности от вмещающей среды (рис. 1). Выбранная модель соответствует одному из наиболее обобщенных случаев геоэлектрической среды, которая не поддается математическим расчетам и может дать весомые доводы при оценке эффективности электроразведочных исследований различными модификациями установок.

Физическое моделирование анизотропной среды осуществлялось путем наложения на фоновую электропроводную бумагу равномерно расположенных и одинаково ориентированных полосок из более низкоомной электропроводной бумаги. Подобным же образом имитировался



1. Авсюк Ю. Н. Движения в ядре Земли и их связь с наблюдаемыми на поверхности явлениями. Автореф. дисс. на соиск. уч. степени докт. физ.-мат. наук, М.: МГУ, 1988, 24 с.
2. Бакулин П. И., Кононович Э. В., Мороз В. И. Курс общей астрономии. М.: Наука, 1977, 543 с.
3. Галкин И. Н. Геофизика Луны. М.: Наука, 1978, 176 с.
4. Грушинский И. П. Теория фигуры Земли. М.: Наука, 1976, 512 с.
5. Жарков В. Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1978, 192 с.
6. Зубков В. Земля—полчок и волчок? Газета «Социндустрия», 18 апреля 1979.
7. Казаров И. Н. Суточное вращение Земли. Газета Хагах атом, АрмАЭС, № 12, 1979.
8. Казаров И. Н. Смещение центра масс внутреннего ядра Земли от геометрического центра в сторону Солнца. Газета Хагах атом, АрмАЭС, № 13, 1986.
9. Кошкин Н. И., Ширкевич М. Г. Справочник по элементарной физике. М.: Наука, 1976, 246 с.
10. Сорохтин О. Г. Глобальная эволюция Земли. М.: Наука, 1979, 184 с.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XLII, № 5, 44—54

УДК 550.837

А. К. МАТЕВОСЯН

## СОПОСТАВЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАЖУЩЕГОСЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ И КАЖУЩЕЙСЯ ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ НА ПРИМЕРЕ ДВУХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

На примере двухмерной модели геоэлектрической среды, представляющей собой анизотропную вмещающую среду, низкоомный пласт, поляризующийся цилиндр, и осложненной локальными электрическими неоднородностями, показана существенная зависимость параметров кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости от выбранной системы возбуждения электрического поля (расстановки питающих электродов). Основываясь на устойчивости остаточных параметров кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости к различным системам возбуждения и регистрации электрических полей, доказана их надежность при исследованиях геоэлектрической среды со сложной дифференциацией электрических свойств. Экспериментально подтверждена эффективность использования многоэлектродных установок при изучении анизотропной среды с локальными электрическими неоднородностями путем регистрации параметров первичного и вторичного полей различными парами взаимно перпендикулярных приемных линий в исследуемом пункте наблюдений.

С целью подтверждения справедливости теоретических исследований особенностей проявления различных параметров кажущегося сопротивления (КС) и кажущейся поляризуемости (КП), характеризующих геоэлектрическую среду возбуждением электрического поля многоэлектродной системой питающих электродов [2, 3, 4, 5], проведена экспериментальная проверка основных положений и выводов.

Моделирование выполнено на электропроводной бумаге, с использованием планшета аппаратуры МУСІ—І [1], над двухмерной моделью анизотропной по удельному электрическому сопротивлению среды, вмещающей низкоомный неполяризующийся пласт и поляризующийся бесконечный цилиндр, не отличающийся по электропроводности от вмещающей среды (рис. 1). Выбранная модель соответствует одному из наиболее обобщенных случаев геоэлектрической среды, которая не поддается математическим расчетам и может дать весомые доводы при оценке эффективности электроразведочных исследований различными модификациями установок.

Физическое моделирование анизотропной среды осуществлялось путем наложения на фоновую электропроводную бумагу равномерно расположенных и одинаково ориентированных полосок из более низкоомной электропроводной бумаги. Подобным же образом имитировался



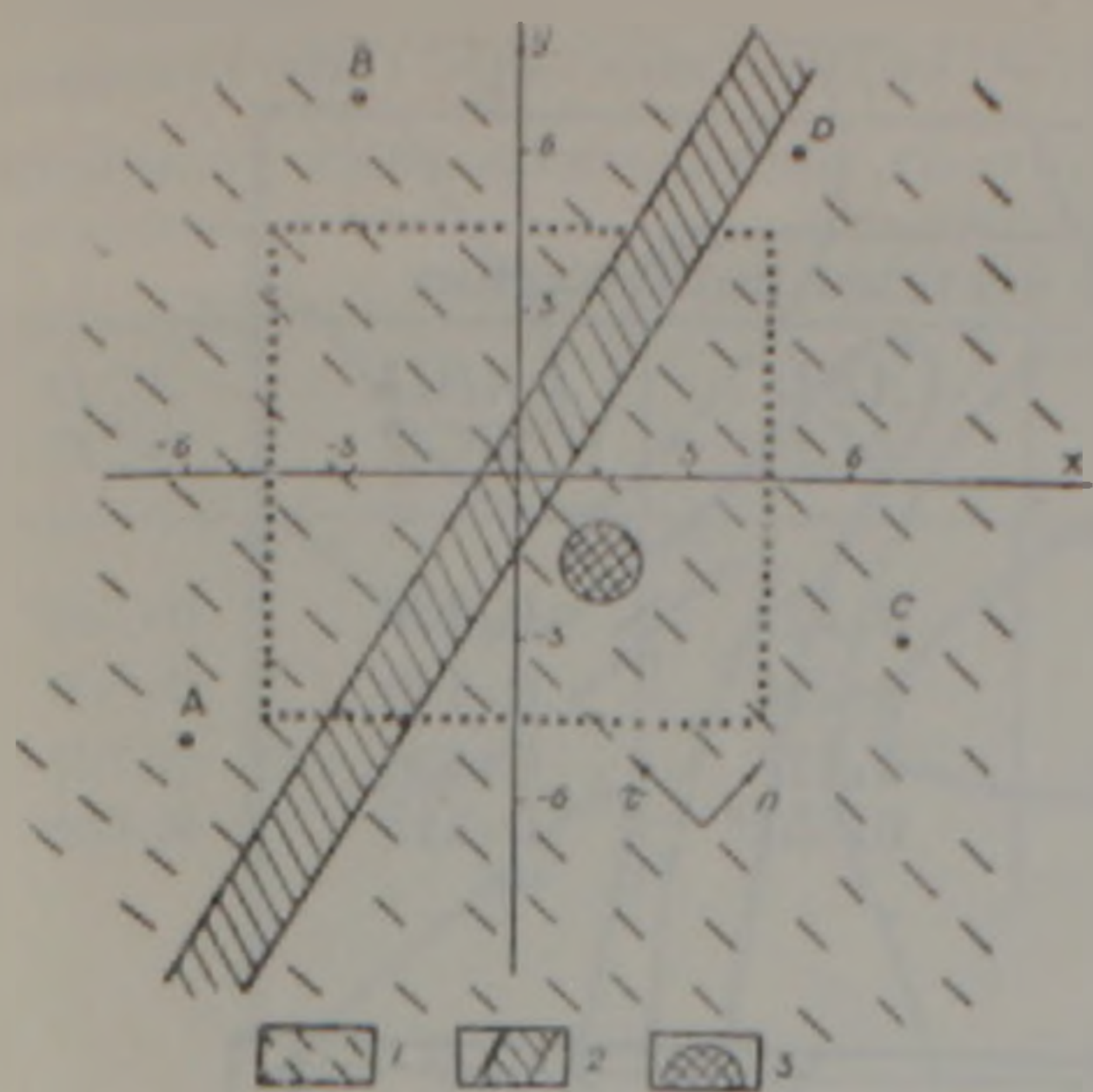


Рис. 1. Двухмерная модель геоэлектрической среды с расстановкой питающих электродов (квадратный контур—планшет съемки). 1—анизотропная среда; 2—низкоомный пласт; 3—поляризующийся цилиндр

и низкоомный пласт. Созданная модель геоэлектрической среды характеризовалась следующей дифференциацией по электропроводности: анизотропная вмещающая среда— $\rho_{0i}=550$ ,  $\rho_{0n}=2500$ ; низкоомный пласт— $\rho_1=120$ . Здесь индексом  $i$  обозначено удельное электрическое сопротивление вдоль плоскости простирания анизотропии,  $n$ —поперек ей, которые представлены в условных единицах. Вторичное электрическое поле (поле ВП) изучалось математическим моделированием. Отметим, что самой электропроводной бумаге была присуща неоднородность, что проявлялось в

виде варьирования ее электропроводности в диапазоне  $\pm 6\%$  от средней величины. Координаты питающих электродов  $A$  ( $-6, -5$ );  $B$  ( $-3, 7$ );  $C$  ( $7, -3$ );  $D$  ( $5, 6$ ) даны в условных единицах (рис. 1), местоположение которых выбрано произвольно. Измерения первичного и вторичного электрических полей проводились по квадратному планшету  $10 \times 10$  в плоскости  $XOY$  с шагом, равным 1. Поле ВП имитировалось двумя взаимно перпендикулярными питающими диполями, ток в которых подбирался пропорционально разностям потенциалов, измеренным с использованием этих же диполей при возбуждении первичного электрического поля соответствующей системой питающих электродов. Измерения проводились универсальным цифровым вольтметром В7—18; источниками тока служили генераторы стабилизированного постоянного тока.

Выбранные системы возбуждения и регистрации электрических полей позволили рассчитать карты и диаграммы необходимых параметров кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости как при исследованиях различными многоэлектродными установками, так и при измерениях различными приемными линиями, согласно выражениям, представленным в [2, 3].

На рис. 2, 3, 4 приведены карты изолиний параметров КС  $\rho_{\max}$ ,  $\rho_{\min}$ ,  $\rho_m = \sqrt{\rho_{\max} \cdot \rho_{\min}}$ , полученные четырьмя различными многоэлектродными установками, а на рис. 5—карты изолиний остаточного кажущегося сопротивления (ОКС)  $P_m = \sqrt{P_{\max} \cdot P_{\min}}$  [3], полученного путем квадратного усреднения по смежным четырем пунктам для тех же установок. Расчеты этих параметров выполнены для двух взаимно перпендикулярных приемных линий с разносами, равными 2, с центром, совпадающим с пунктом наблюдений, и ориентированных по осям координатной системы.

С целью сопоставления параметров КС и ОКС, определенных для различных систем возбуждения электрического поля, вычислены значения выборочного коэффициента корреляции  $r$ , которые представлены в табл. 1, где звездочками обозначены те значения  $r$ , при которых наблюдается линейная корреляция между рассматриваемыми параметрами. Из приведенных данных можно заключить, что параметры  $\rho_{\max}$ ,  $\rho_{\min}$ ,  $\rho_m$  существенно зависят от выбранной многоэлектродной установки, что создает определенные трудности при истолковании результатов измерений по параметрам КС. В отличие от параметров КС, на



Таблица 1

Значения выборочного коэффициента корреляции  $r$ , полученные при сопоставлении параметров КС ( $\bar{r}_{\max}$ ,  $\bar{r}_{\min}$ ,  $\bar{r}_m$ ) и ОКС ( $P_m$ ) различных многоэлектродных установок

| Параметры<br>КС и ОКС | Установки измерений системы возбуждения |                |                |                |                |                |
|-----------------------|-----------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                       | $ABC$<br>$ABD$                          | $ABC$<br>$ACD$ | $ABC$<br>$BCD$ | $ABD$<br>$ACD$ | $ABD$<br>$BCD$ | $ACD$<br>$BCD$ |
| $\bar{r}_{\max}$      | 0.178                                   | 0.857*         | 0.869*         | -0.222         | 0.430          | 0.725*         |
| $\bar{r}_{\min}$      | 0.416                                   | 0.657*         | 0.600          | -0.214         | 0.439          | 0.609          |
| $\bar{r}_m$           | 0.446                                   | 0.797*         | 0.880*         | -0.117         | 0.496          | 0.731*         |
| $P_m$                 | 0.740*                                  | 0.967*         | 0.905*         | 0.651*         | 0.815*         | 0.838*         |

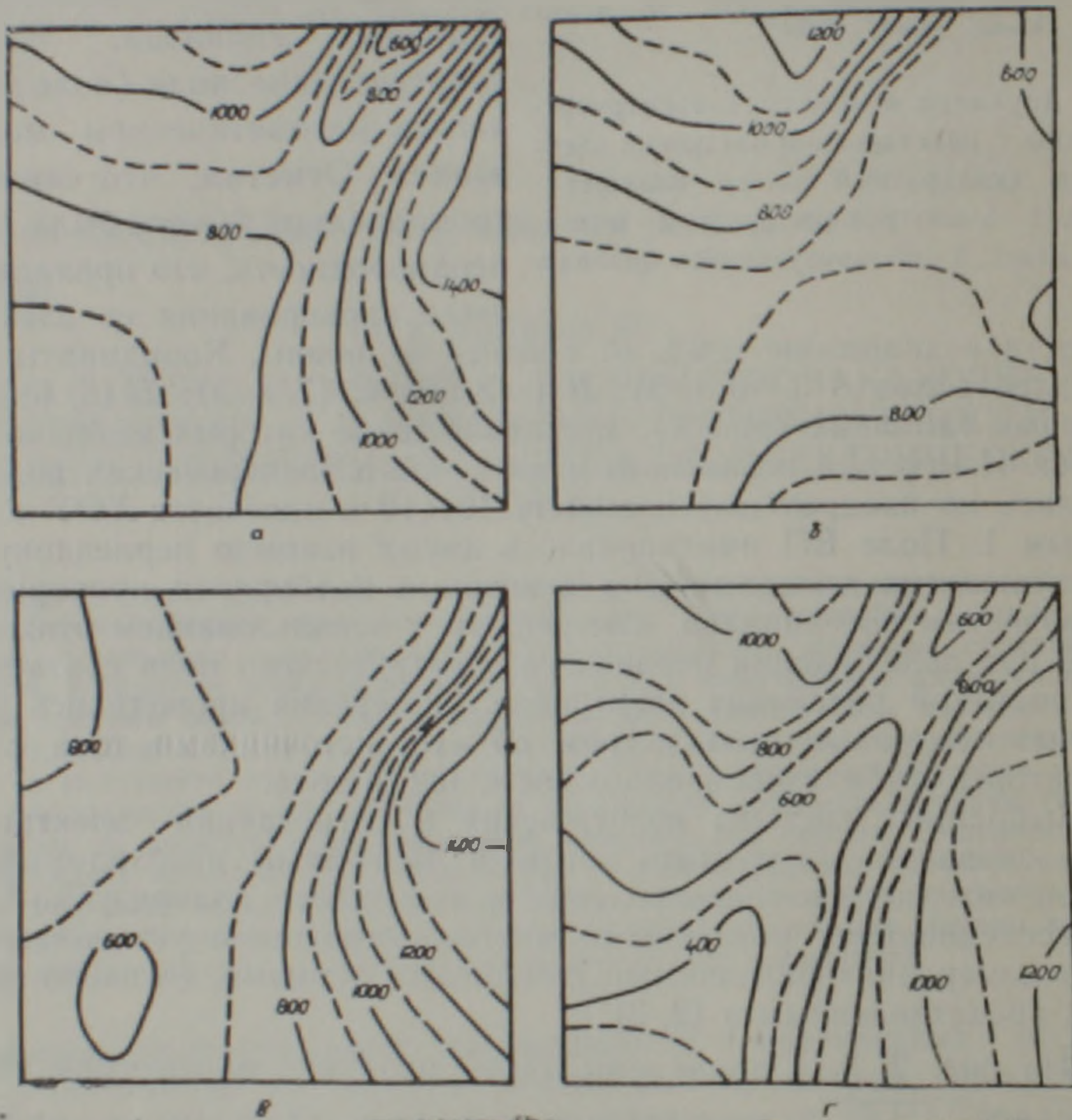


Рис. 2. Карты изолиний кажущегося сопротивления  $\bar{r}_{\max}$  для различных установок  
а — ABC; б — ABD; в — ACD; г — BCD.

всех построенных картах параметра ОКС ( $P_m$ ), полученных различными системами возбуждения и регистрации электрических полей, наблюдается похожая картина — вмещающая среда характеризуется фоновыми значениями  $P_m$ , близкими к единице, над низкоомным пластом происходит заметное уменьшение значений, а в контактовой зоне наблюдается незначительное увеличение этого параметра относительно фоновых значений. Расчеты, проведенные при различных условиях усреднения, показали, что с увеличением радиуса усреднения или разносов приемных линий происходит постепенное сглаживание аномалий  $P_m$ . На картах изолиний КП и ОКП для установки ABC, приведенных на рис. 6, наглядно отражается наличие хорошо поляризующего объекта. Аналогичная картина наблюдается и на соответствующих картах, полученных другими установками (ABD, ACD, BCD). Однако в



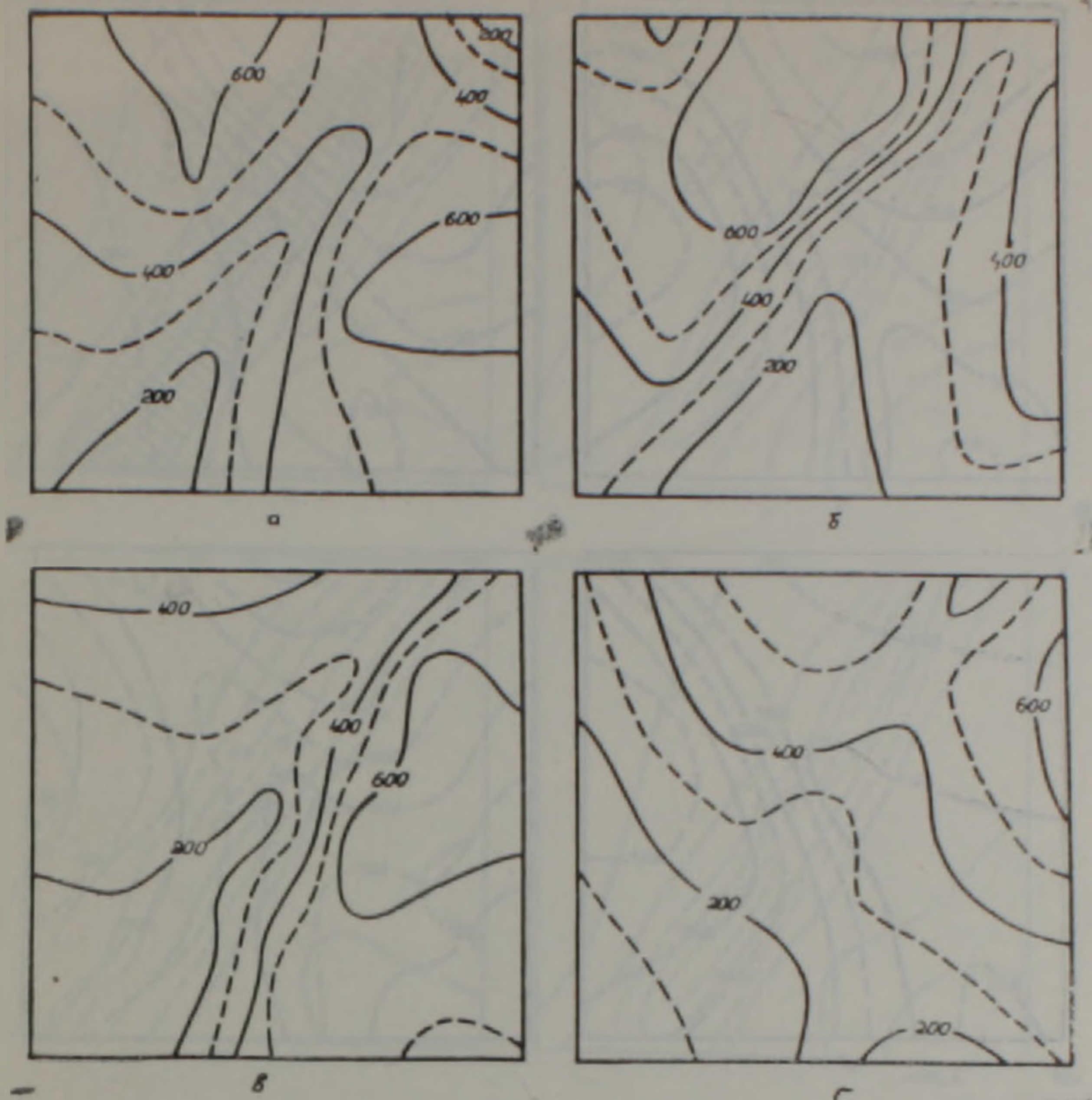


Рис. 3. Карты изолиний кажущегося сопротивления  $\rho_{\min}$  для различных установок а—ABC; б—ABD; в—ACD; г—BCD.

отличие от карт изолиний КП, где интенсивность проявления соответствующих параметров существенно зависит от выбранной системы возбуждения электрического поля, параметр ОКП  $H_m = \sqrt{H_{\max} \cdot H_{\min}}$  [3] незначительно подвержен изменениям, что говорит в пользу утверждения о большей устойчивости параметров ОКП к выбору расположения питающих электродов.

В таблицах 2 и 3 приведены параметры, отражающие особенности первичного и вторичного полей и характеризующие диаграммы КС и КП, которые могут быть получены при вращении направления возбуждаемого поля (при изучении первичного поля—вектора плотности тока, а вторичного—вектора напряженности первичного поля) [2], для двух пунктов наблюдений  $Q_1(0, 0)$  и  $Q_2(-3, 2)$  с использованием четырех различных систем питающих электродов (многоэлектродных установок измерений), каждая из которых представлена тремя питающими электродами, и при регистрации электрических полей шестью различными парами взаимно перпендикулярных приемных линий, с центрами, совмещенными с соответствующим пунктом наблюдений. В этих таблицах данные об ориентировке минимальных значений параметров КС и КП не приведены ввиду взаимной перпендикулярности направлений экстремальных значений [4]. Поскольку рассматриваемые параметры первичного и вторичного полей являются инвариантами тензоров  $\rho$  и  $\eta$  и тем самым устойчивы к изменению ориентировки двух взаимно перпендикулярных приемных диполей в пункте наблюдений, то диаграммы КС и КП, полученные по результатам измерений различными приемными линиями при возбуждении каждой системой питающих электродов, должны совмещаться [4]. Но, поскольку в



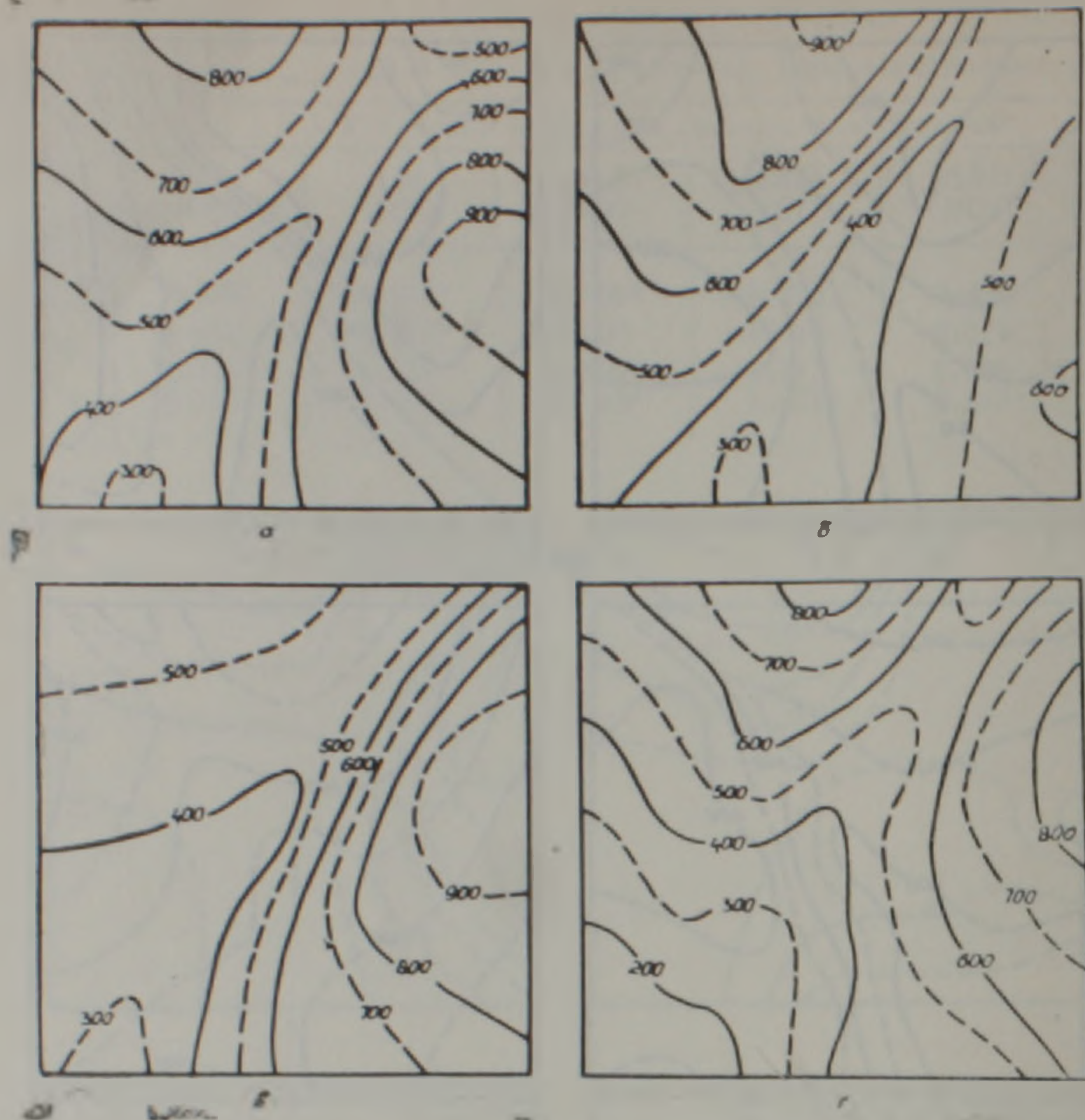


Рис. 4. Карты изолиний кажущегося сопротивления  $\bar{\rho}_m$  для различных установок.  
а - ABC, б - ABD, в - ACD, г - BCD.

реальных условиях измерения составляющих электрических полей осуществляются с конечными размерами приемных линий, то в зависимости от их выбора и характера исследуемой геоэлектрической среды, эти диаграммы могут отличаться.

Сопоставляя величины, представленные в табл. 2, и диаграммы КС (рис. 7) для пункта  $Q_1$ , можно заметить, что при возбуждении электрического поля различными многоэлектродными установками с измерением электрических полей приемными линиями 1 (т. е. когда измерительные электроды размещены в низкоомном пласте) диаграммы  $\bar{\rho}$  имеют вытянутую форму и определенную выдержанную ориентацию. С изменением ориентировки и увеличением величины разностей приемные линии 2 (когда электроды одной приемной линии находятся над пластом, а другой — в анизотропной среде в непосредственной близости к пласту), происходит как изменение формы диаграмм, что отражает величина отношения  $\bar{\rho}_{\text{гип}}/\bar{\rho}_{\text{мн}}$  (отметим, что при этом существенному изменению подвергается величина  $\bar{\rho}_{\text{мн}}$ ), так и определенное изменение их ориентации. Сравнивая диаграммы  $\bar{\rho}$ , полученные приемными линиями 1, 3 и 2, 5, которые попарно одинаково ориентированы и отличаются только величиной разностей, можно заметить, что при возбуждении системами ABC, ABD, ACD наблюдается некоторое увеличение значений  $\bar{\rho}$  без существенного изменения ориентации диаграмм, а при BCD — происходит резкое изменение их ориентации. При возбуждении электрического поля установками ABC, ABD, ACD и регистрации первичного поля различными парами приемных линий наблюдается выраженная стабильность в ориентации диаграмм  $\bar{\rho}$ , с



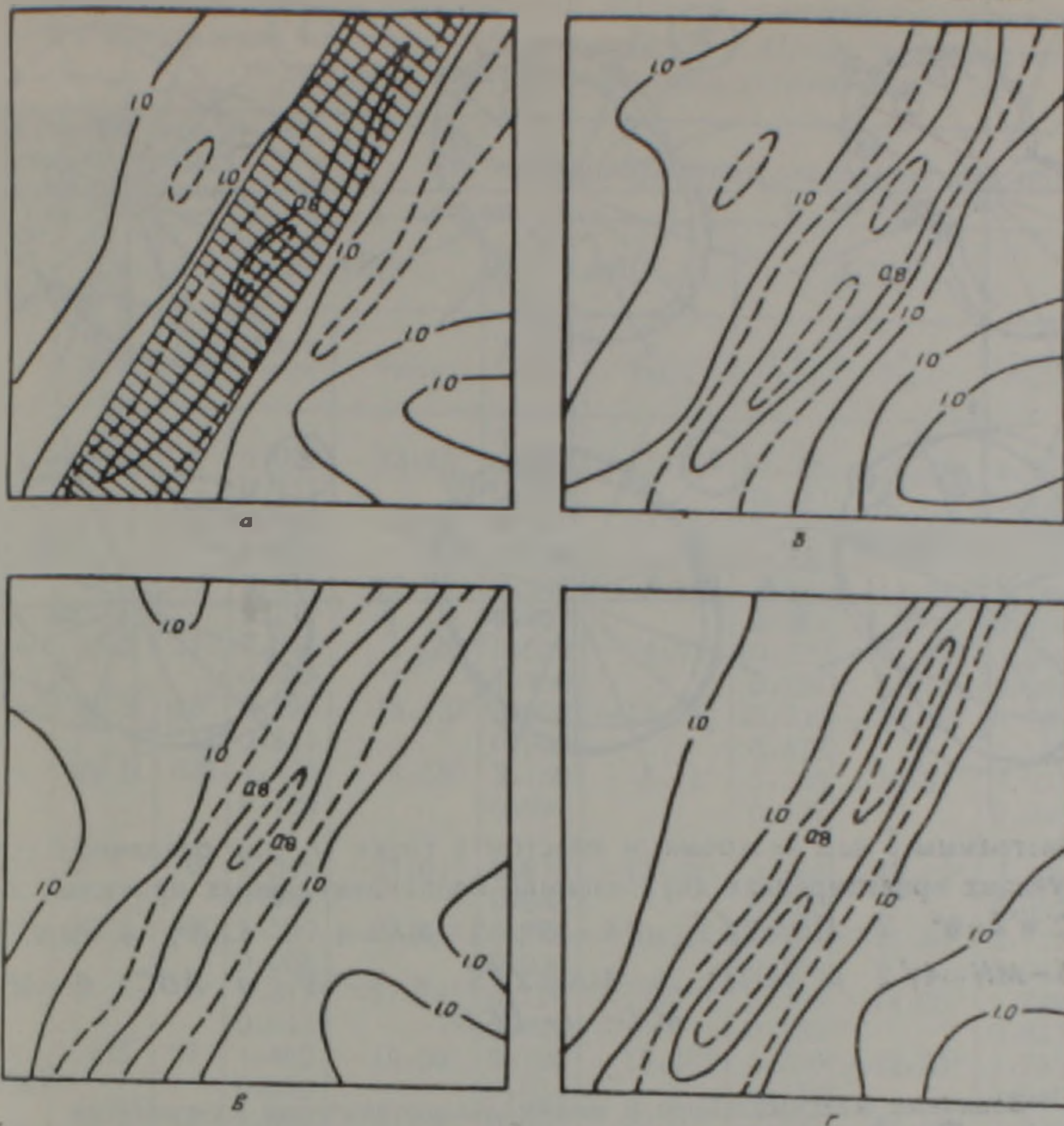


Рис. 5. Карты изолиний остаточного кажущегося сопротивления  $R_m$  для различных установок. а—ABC; б—ABD; в—ACD; г—BCD.

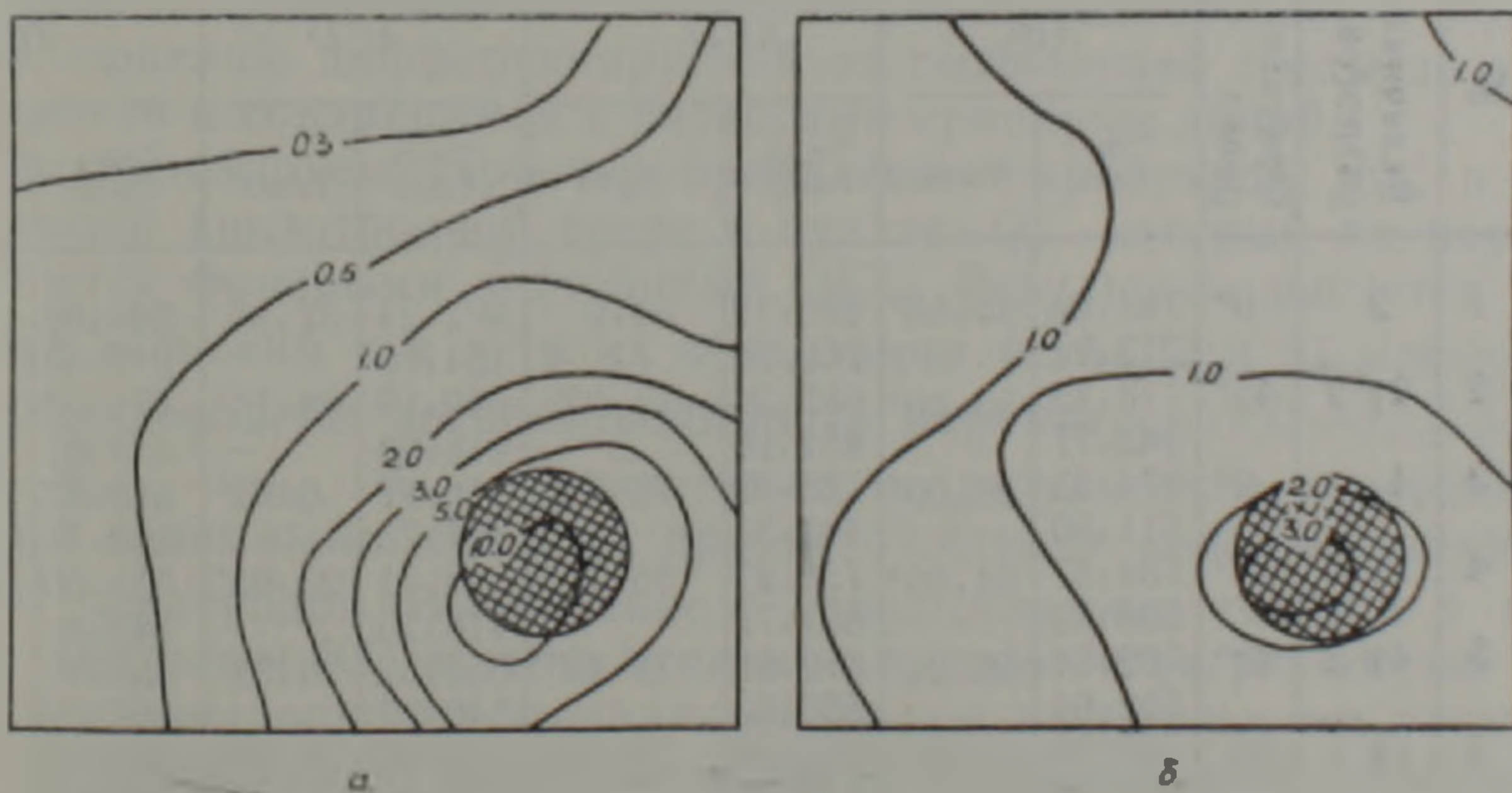


Рис. 6. Карты изолиний кажущейся поляризуемости  $\tau_m$  (а) и остаточной кажущейся поляризуемости  $H_m$  (б) для установки ABC.

направлением  $\rho_{\max}$ , близким к направлению простирания пласта. При возбуждении системой BCD эта закономерность проявляется при малых разносах приемных линий, а с их увеличением происходит резкое изменение направления  $\rho_{\max}$  почти на  $90^\circ$ . Однако, несмотря на все сложности, возникающие при истолковании результатов измерений в пункте  $Q_1$ , учет особенностей проявления параметров КС позволяет



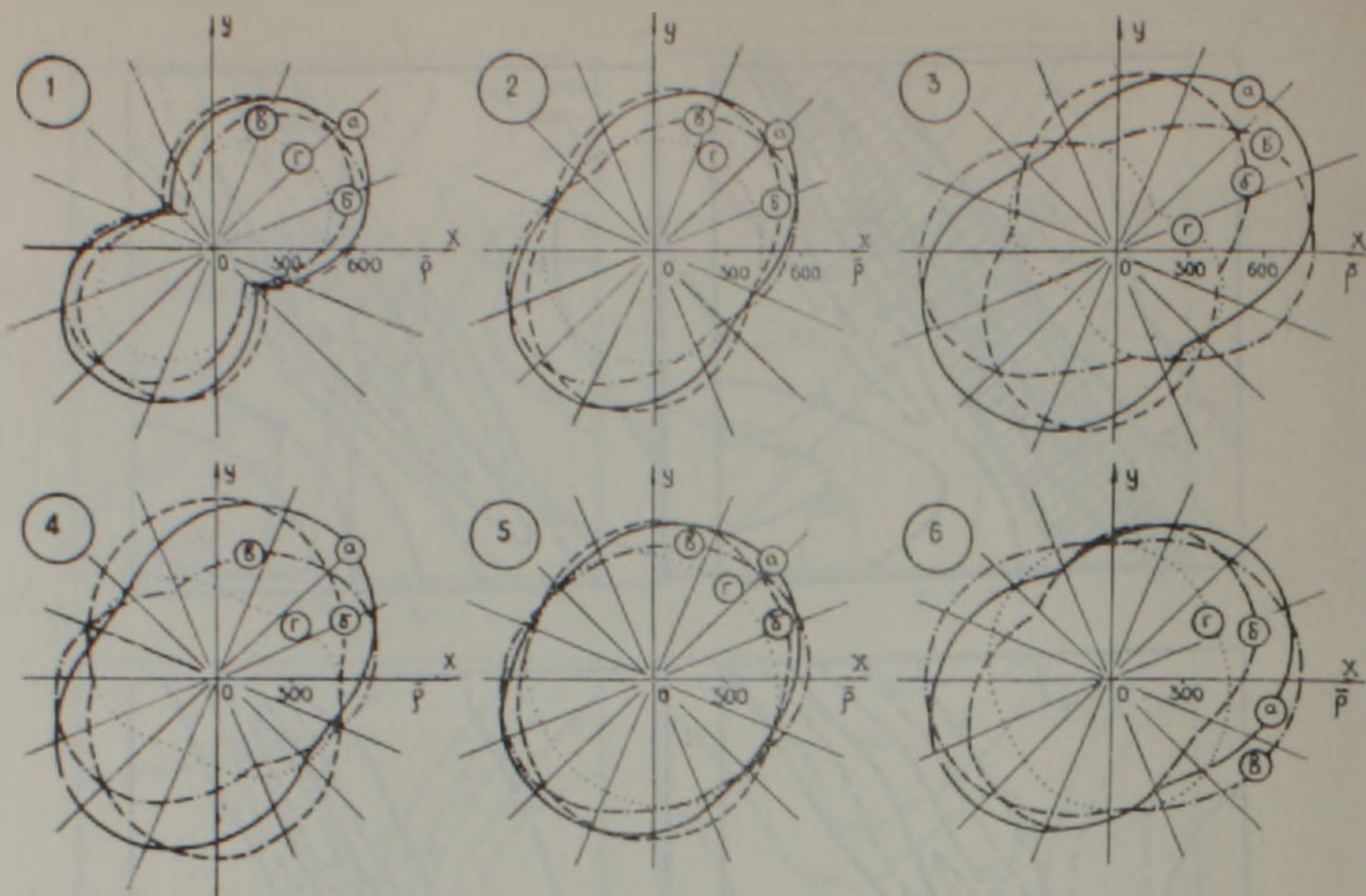


Рис. 7. Диаграммы  $\bar{\rho}$  над низкоомным пластом и точке  $Q_1$  для различных установок при следующих ориентировках двух взаимно перпендикулярных приемных линий: 1 --  $MN=2$  и  $\theta=0^\circ$ ; 2 --  $MN=2\sqrt{2}$  и  $\theta=45^\circ$ ; 3 --  $MN=4$  и  $\theta=0^\circ$ ; 4 --  $MN=2\sqrt{5}$  и  $\theta=27^\circ$ ; 5 --  $MN=4\sqrt{2}$  и  $\theta=45^\circ$ ; 6 --  $MN=2\sqrt{5}$  и  $\theta=63^\circ$ . а ABC, б -- ABD; в -- ACD; г -- BCD.

Таблица 2

Величины максимального и минимального значений кажущегося сопротивления  $\bar{\rho}$  и направления их ориентации в точках  $Q_1$  и  $Q_2$  при исследованиях различными многоэлектродными установками

| Точка наблюдений | Взаимно перпендикулярные приемные линии |                    |              | Системы возбуждения электрического поля |                  |                     |                  |                     |                  |                     |                  |
|------------------|-----------------------------------------|--------------------|--------------|-----------------------------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|
|                  | №                                       | Величина разностей | Ориентировка | ABC                                     |                  | ABD                 |                  | ACD                 |                  | BCD                 |                  |
|                  |                                         |                    |              | $\bar{\rho}_{\min}$                     | $\varphi_{\max}$ | $\bar{\rho}_{\min}$ | $\varphi_{\max}$ | $\bar{\rho}_{\min}$ | $\varphi_{\max}$ | $\bar{\rho}_{\min}$ | $\varphi_{\max}$ |
|                  |                                         |                    |              |                                         |                  |                     |                  |                     |                  |                     |                  |
| $Q_1$            | 1                                       | 2                  | $0^\circ$    | 743.80                                  | $46.68^\circ$    | 696.19              | $54.9^\circ$     | 692.21              | $37.96^\circ$    | 540.98              | $41.97^\circ$    |
|                  |                                         |                    |              | 233.94                                  |                  | 269.52              |                  | 184.80              |                  | 212.44              |                  |
|                  | 2                                       | $2\sqrt{2}$        | $45^\circ$   | 713.15                                  | $55.60^\circ$    | 685.24              | $71.07^\circ$    | 649.9               | $38.14^\circ$    | 471.73              | $66.68^\circ$    |
|                  |                                         |                    |              | 443.77                                  |                  | 451.98              |                  | 418.08              |                  | 451.81              |                  |
|                  | 3                                       | 4                  | $0^\circ$    | 874.55                                  | $38.09^\circ$    | 755.90              | $72.59^\circ$    | 816.81              | $6.62^\circ$     | 515.83              | $-46.34^\circ$   |
|                  |                                         |                    |              | 511.30                                  |                  | 442.31              |                  | 457.73              |                  | 238.71              |                  |
| $Q_2$            | 4                                       | $2\sqrt{5}$        | $27^\circ$   | 784.37                                  | $54.69^\circ$    | 758.27              | $88.11^\circ$    | 679.71              | $23.05^\circ$    | 535.50              | $-25.64^\circ$   |
|                  |                                         |                    |              | 503.85                                  |                  | 521.73              |                  | 416.26              |                  | 340.46              |                  |
|                  | 5                                       | $4\sqrt{2}$        | $48^\circ$   | 702.84                                  | $55.24^\circ$    | 682.88              | $78.42^\circ$    | 656.52              | $26.38^\circ$    | 559.17              | $-51.43^\circ$   |
|                  |                                         |                    |              | 552.64                                  |                  | 550.63              |                  | 540.22              |                  | 497.59              |                  |
|                  | 6                                       | $2\sqrt{5}$        | $63^\circ$   | 788.88                                  | $27.28^\circ$    | 692.94              | $50.67^\circ$    | 785.90              | $2.28^\circ$     | 582.73              | $-71.93^\circ$   |
|                  |                                         |                    |              | 531.79                                  |                  | 440.35              |                  | 574.84              |                  | 484.09              |                  |
| $Q_1$            | 1                                       | 2                  | $0^\circ$    | 896.39                                  | $65.74^\circ$    | 886.96              | $-67.25^\circ$   | 881.22              | $11.36^\circ$    | 811.64              | $-41.96^\circ$   |
|                  |                                         |                    |              | 499.16                                  |                  | 507.61              |                  | 312.13              |                  | 240.71              |                  |
|                  | 2                                       | $2\sqrt{2}$        | $45^\circ$   | 903.25                                  | $68.35^\circ$    | 904.78              | $-86.95^\circ$   | 841.61              | $13.81^\circ$    | 835.53              | $-43.71^\circ$   |
|                  |                                         |                    |              | 456.31                                  |                  | 453.53              |                  | 313.83              |                  | 211.20              |                  |
|                  | 3                                       | 4                  | $0^\circ$    | 879.35                                  | $68.45^\circ$    | 886.45              | $-81.97^\circ$   | 865.55              | $12.44^\circ$    | 901.05              | $-37.79^\circ$   |
|                  |                                         |                    |              | 558.65                                  |                  | 571.70              |                  | 314.07              |                  | 308.53              |                  |
| $Q_2$            | 4                                       | $2\sqrt{5}$        | $27^\circ$   | 867.12                                  | $61.49^\circ$    | 828.79              | $-86.68^\circ$   | 814.82              | $11.28^\circ$    | 721.09              | $-46.15^\circ$   |
|                  |                                         |                    |              | 487.37                                  |                  | 505.80              |                  | 289.71              |                  | 307.98              |                  |
|                  | 5                                       | $4\sqrt{2}$        | $45^\circ$   | 903.92                                  | $68.23^\circ$    | 914.95              | $-86.19^\circ$   | 815.30              | $15.77^\circ$    | 813.40              | $-43.73^\circ$   |
|                  |                                         |                    |              | 450.54                                  |                  | 442.85              |                  | 307.04              |                  | 217.92              |                  |
|                  | 6                                       | $2\sqrt{5}$        | $63^\circ$   | 904.90                                  | $74.58^\circ$    | 962.92              | $-77.77^\circ$   | 812.62              | $14.64^\circ$    | 1032.79             | $-34.55^\circ$   |
|                  |                                         |                    |              | 516.70                                  |                  | 494.18              |                  | 330.86              |                  | 195.82              |                  |



Таблица 3

Величины максимального и минимального значений кажущейся поляризуемости  $\eta$  и направления их ориентации в точках  $Q_1$  и  $Q_2$  при исследованиях различными многоэлектродными установками

| То ка наблюдений | Взаимно перпендикулярные приемные линии |                    |              | Системы возбуждения электрического поля |                    |                     |                    |                     |                    |                     |                    |
|------------------|-----------------------------------------|--------------------|--------------|-----------------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
|                  | №                                       | Величина разностей | Ориентировка | ABC                                     |                    | ABD                 |                    | ACD                 |                    | BCD                 |                    |
|                  |                                         |                    |              | $\bar{\eta}_{\min}$                     | $\varphi_{\max}^*$ | $\bar{\eta}_{\min}$ | $\varphi_{\max}^*$ | $\bar{\eta}_{\min}$ | $\varphi_{\max}^*$ | $\bar{\eta}_{\min}$ | $\varphi_{\max}^*$ |
| $Q_1$            | 1                                       | 2                  | 0            | 6.099                                   | 13.33              | 3.299               | 7.79°              | 10.505              | 25.35°             | 4.781               | 57.72°             |
|                  |                                         |                    |              | 0.171                                   |                    | 0.264               |                    | 0.217               |                    | 0.447               |                    |
|                  | 2                                       | $2\sqrt{2}$        | 45           | 6.888                                   | 9.83°              | 4.982               | 21.86°             | 7.527               | 4.18°              | 2.648               | 36.31°             |
|                  |                                         |                    |              | 0.613                                   |                    | 0.566               |                    | 0.842               |                    | 1.126               |                    |
|                  | 3                                       | 4                  | 0            | 2.945                                   | 8.09               | 2.488               | 5.79°              | 3.281               | 14.75°             | 3.786               | 89.55°             |
|                  |                                         |                    |              | 0.212                                   |                    | 0.201               |                    | 0.274               |                    | 0.281               |                    |
| $Q_2$            | 4                                       | $2\sqrt{5}$        | 27           | 7.827                                   | 1.06°              | 5.522               | 4.53°              | 10.222              | 17.23°             | 6.674               | 83.73°             |
|                  |                                         |                    |              | 0.956                                   |                    | 1.450               |                    | 0.197               |                    | 0.251               |                    |
|                  | 5                                       | $4\sqrt{2}$        | 45           | 9.928                                   | 14.15°             | 5.558               | 13.81°             | 13.230              | 30.69°             | 0.753               | 87.10°             |
|                  |                                         |                    |              | 0.231                                   |                    | 0.230               |                    | 0.473               |                    | 0.103               |                    |
|                  | 6                                       | $2\sqrt{5}$        | 63           | 4.826                                   | 8.65°              | 3.780               | 5.11°              | 5.068               | 16.81°             | 3.933               | 65.82°             |
|                  |                                         |                    |              | 0.120                                   |                    | 0.094               |                    | 0.137               |                    | 0.096               |                    |
| $Q_2$            | 1                                       | 2                  | 0            | 1.548                                   | 21.01°             | 0.835               | 17.20°             | 3.466               | 40.72°             | 2.392               | 0.49°              |
|                  |                                         |                    |              | 0.055                                   |                    | 0.033               |                    | 0.166               |                    | 0.052               |                    |
|                  | 2                                       | $2\sqrt{2}$        | 45           | 1.590                                   | 23.67°             | 0.864               | 20.22°             | 3.394               | 41.05°             | 2.722               | 3.54°              |
|                  |                                         |                    |              | 0.058                                   |                    | 0.036               |                    | 0.169               |                    | 0.047               |                    |
|                  | 3                                       | 4                  | 0            | 1.317                                   | 17.14°             | 0.729               | 13.07°             | 3.368               | 14.06°             | 1.739               | 5.63°              |
|                  |                                         |                    |              | 0.013                                   |                    | 0.026               |                    | 0.132               |                    | 0.033               |                    |
| $Q_2$            | 4                                       | $2\sqrt{5}$        | 27           | 1.402                                   | 19.96°             | 0.706               | 15.65°             | 3.726               | 12.33°             | 1.735               | 7.61°              |
|                  |                                         |                    |              | 0.050                                   |                    | 0.034               |                    | 0.134               |                    | 0.046               |                    |
|                  | 5                                       | $4\sqrt{2}$        | 45           | 1.036                                   | 25.85°             | 0.663               | 22.02°             | 2.847               | 42.50°             | 2.224               | 1.82°              |
|                  |                                         |                    |              | 0.068                                   |                    | 0.044               |                    | 0.158               |                    | 0.086               |                    |
|                  | 6                                       | $2\sqrt{5}$        | 63           | 1.857                                   | 23.13°             | 0.719               | 18.67°             | 2.462               | 40.90°             | 2.395               | 3.73°              |
|                  |                                         |                    |              | 0.024                                   |                    | 0.036               |                    | 0.186               |                    | 0.047               |                    |

заклучить о существовании электрической неоднородности под пунктом наблюдений, дифференцируемой от вмещающей среды по электропроводности и соизмеримой с разностями приемных линий.

Проанализируем характер проявления параметров КС и КП во вмещающей анизотропной среде в пункте  $Q_2$ , который на картах  $P_m$  проявляется фоновыми значениями ОКС. Результаты расчетов экстремальных значений  $\bar{\rho}$  и  $\bar{\eta}$  и их ориентации (табл. 2 и 3) наглядно показывают хорошую воспроизводимость параметров КС— $\bar{\rho}_{\max}$ ,  $\bar{\rho}_{\min}$ ,  $\bar{\varphi}_{\max}$  и КП— $\bar{\eta}_{\max}$ ,  $\bar{\eta}_{\min}$ ,  $\bar{\varphi}_{\max}$ , полученных по результатам измерений различными приемными линиями при возбуждении каждой системой питающих электродов. Вычисление с использованием тензора  $\bar{\rho}$  и построение диаграмм КС в этом пункте позволяют с уверенностью заключить об анизотропности вмещающей среды по удельному электрическому сопротивлению. Незначительные отклонения этих величин обусловлены как влиянием локальных электрических неоднородностей модели, наличием низкоомного пласта и поляризующегося цилиндра, так и зависимостью параметров КС и КП от разностей приемных линий. Определенная доля при этом вносится и самой методикой моделирования на электропроводной бумаге.

Следует подчеркнуть, что составление представления о поляризуемости исследуемой среды по параметрам КП, без учета характера первичного электрического поля может привести к существенным ошибкам при интерпретации, в частности, для пункта  $Q_2$  можно сказать об анизотропии вмещающей среды и по поляризуемости, а в пункте  $Q_1$ —хорошо дифференцируемой по поляризуемости электрической неоднородности, что не соответствует действительности.



Однако, несмотря на вышеуказанные отклонения, результаты экспериментальных работ хорошо согласуются с теоретическими исследованиями особенностей параметров КС и КП [4] и математическими расчетами для случая однородной анизотропной среды [5].

Из результатов приведенных экспериментальных исследований и ранее представленных теоретических рассуждений [2, 3, 4, 5] можно сделать следующие выводы:

—параметры КС и КП при исследовании сложных геоэлектрических сред существенно зависят от выбранной системы возбуждения электрического поля (расстановки питающих электродов);

—составление представления о поляризуемости исследуемой среды по параметрам КП и ОКП без учета характера первичного поля (дифференциации среды по удельному электрическому сопротивлению) может привести к существенным ошибкам при интерпретации результатов наблюдений;

—ввиду инвариантности рассматриваемых параметров КС и КП при проведении исследований анизотропных сред, осложненных локальными электрическими неоднородностями (различными искажающими факторами, являющимися пассивными помехами), необходимо выполнять измерения различными парами взаимно перпендикулярных приемных линий с общими центрами, совпадающими с пунктом наблюдений;

—параметры ОКС и ОКП более устойчивы к изменениям как системы возбуждения электрического поля, так и системы регистрации первичного и вторичного полей, что, в частности, позволяет при интерпретации результатов площадных измерений над локальными объектами, дифференцируемыми по электрическим свойствам от вмещающих пород, рекомендовать построение карт остаточных параметров;

—проведение регистрации электрических полей по квадратной сети с шагом, не превышающим размеры интересующих геологических образований, позволяет получить требуемые параметры кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости и тем самым необходимую и достаточно полную информацию, что существенно повышает эффективность электроразведочных исследований.

Институт геофизики и инженерной  
сейсмологии Академии наук АрмССР

Поступила 18.X.1988

#### Ա. Վ. ՄԱԹԵՎՈՍՅԱՆ

ԹՎԱՑՈՂ ԴԻՄԱԳՐՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԹՎԱՑՈՂ ԲԵՆՈՒԱՑՄԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ  
ՀԱՂՈՐԴՈՒՄԸ ԵՐԿՐԱՋԵԿՏՐԱԿԱՆ ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ԵՐԿՋԱՓ ՄՈՒԵԼԻ ՕՐԻՆԱԿՈՎ

#### Ա մ փ ո փ ու մ

Թվացող դիմադրության և թվացող բևեռացման պարամետրերի դրսևորման առանձնահատկությունների տեսական հետազոտությունների ճշգրտության հաստատման համար կատարված է հիմնական դրույթների և եզրակացությունների փորձնական ստուգում:

Երկրաէլեկտրական միջավայրի երկչափ մոդելի օրինակով, որն իրենից ներկայացնում է անիզոտրոպ ներփակող միջավայր, ցածր դիմադրության շերտ, բևեռացվող գլան և բարդեցված է տեղային էլեկտրական անհամասեռություններով, ցույց է տրված թվացող դիմադրության և թվացող բևեռացման պարամետրերի մեծությունների էական կախվածությունը էլեկտրական դաշտի զրգոման ընտրված համակարգից:

Հիմնվելով թվացող դիմադրության և թվացող բևեռացման մնացորդային պարամետրերի էլեկտրական դաշտերի զրգոման ու գրանցման տարբեր հա-



մակարգերի նկատմամբ ունեցած կայունություն վրա, ապացուցված է նրանց հուսալիությունը էլեկտրական հատկությունների բարդ տարրերակում ունեցող երկրաբանական միջավայրի ուսումնասիրության ժամանակ: Փորձնականորեն հաստատված է տեղային էլեկտրական անհամասեռություններ ունեցող անիզոտրոպ միջավայրի ուսումնասիրման ժամանակ բազմաէլեկտրոդ սարքավորումների կիրառման էֆեկտիվությունը: Դա կատարվել է ուսումնասիրվող դիտարկման կետում փոխուղղահայաց բնդունող գծերի տարբեր զույգերով առաջնային և երկրորդային դաշտերի պարամետրերի գրանցման ճանապարհով:

Կատարված փորձնական հետազոտությունների արդյունքներից և նախկինում ներկայացված տեսական դատողություններից արվել են հետևյալ եզրակացությունները.

ա) թվացող դիմադրության և թվացող բեռացման պարամետրերը բարդ երկրաէլեկտրական միջավայրերի ուսումնասիրման դեպքում էականորեն կախված են էլեկտրական դաշտի զրգոման ընտրված համակարգից,

բ) ուսումնասիրվող միջավայրի բեռացումն ըստ թվացող բեռացման ու մնացորդային թվացող բեռացման գնահատելիս անհրաժեշտ է ի նկատի ունենալ առաջնային դաշտի բնույթը, հակառակ դեպքում դիտարկման արդյունքների մեկնաբանման ժամանակ դա կարող է հանգեցնել էական սխալների,

գ) ի նկատի ունենալով թվացող դիմադրության և թվացող բեռացման դիտարկվող պարամետրերի ինտենսիվությունը, տեղային էլեկտրական անհամասեռություններով բարդեցված անիզոտրոպ միջավայրերի ուսումնասիրման դեպքում անհրաժեշտ է շափումները կատարել դիտարկման կետի հետ համընկնող բնդհանուր կենտրոն ունեցող փոխուղղահայաց բնդունող գծերի տարբեր զույգերով,

դ) մնացորդային թվացող դիմադրության և թվացող բեռացման պարամետրերը կայուն են ինչպես էլեկտրական դաշտի զրգոման համակարգի, այնպես էլ առաջնային և երկրորդային դաշտերի գրանցման փոփոխությունների նկատմամբ: Դա թույլ է տալիս ներփակող ապարների նկատմամբ ըստ էլեկտրական հատկությունների տարբերակում ունեցող օբյեկտների վրա մակերեսային շափումների արդյունքների մեկնաբանման ժամանակ կառուցել նշված պարամետրերի քարտեզները,

ե) էլեկտրական դաշտերի գրանցումն ըստ քառակուսային ցանցի, որի բայլը չի գերազանցում հետաքրքրություն ներկայացնող երկրաբանական առաջացումների շափերին, թույլ է տալիս ստանալու թվացող դիմադրության և թվացող բեռացման պահանջվող պարամետրերը, դրանով իսկ՝ նաև լրիվ ու անհրաժեշտ տեղեկություններ ուսումնասիրվող երկրաէլեկտրական միջավայրի մասին, ինչը և էականորեն բարձրացնում է էլեկտրահետախուղական աշխատանքների էֆեկտիվությունը:

A. K. MATEVOSIAN

## THE APPARENT RESISTIVITY AND APPARENT POLARIZABILITY PARAMETERS COMPARISON THE GEOELECTRICAL MEDIUM TWO-DIMENSIONAL MODEL BEING AN EXAMPLE

### A b s t r a c t

The geoelectrical medium two-dimensional model being an example represented by an anisotropic containing medium, a low-ohm bed, a polarized cylinder and complicated by local electrical heterogeneities.



It is shown the essential dependence of both apparent resistance and polarizability parameters on the electrical field stimulation chosen system (on the arrangement of feeding electrodes). Basing on the stability of both apparent resistance and polarizability residual parameters to the electrical fields stimulation and recording different systems, their reliability is demonstrated during investigation of the geological medium with a complicated differentiation of electrical characteristics. The effectiveness of multielectrode installations applying is experimentally corroborated during investigation of the anisotropic medium with local electrical heterogeneities by means of recording the both primary and secondary fields parameters with different pairs of mutually perpendicular receiving lines is the investigated point of observation.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Авдевич М. М., Фокин А. Ф. Электромоделирование потенциальных геофизических полей. Л.: Недра, 1978, 100 с.
2. Матевосян А. К. Вращение направления возбуждаемого электрического поля многоэлектродной установкой. — Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1988, XLI, № 2, с. 56—63.
3. Матевосян А. К. Способ интерпретации результатов измерений методами сопротивлений и вызванной поляризации. — Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1988, XLI, № 3, с. 46—55.
4. Матевосян А. К. О системе параметров кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости. — Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1988, XLI, № 4, с. 58—64.
5. Матевосян А. К. Изучение анизотропии электропроводности и поляризуемости пород с использованием различных систем возбуждения и регистрации электрических полей. — Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XLII, № 2, с. 53—66.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XLII, № 5, 54—63

УДК: 550.348.098

И. В. ГОРБУНОВА, М. Б. МКРТЧЯН

#### О ВЫЯВЛЕНИИ РАЗРЫВОВ В ОЧАГАХ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ АРМЯНСКОГО НАГОРЬЯ

На основе применения способа определения параметров разрыва при землетрясении определены направления разрывов в очагах сильных землетрясений по инструментальным данным, согласующиеся с направлениями разрывов, вышедшими на поверхность Земли. Определены также направления разрывов в очагах землетрясений, разрывные нарушения которых на земной поверхности не наблюдались. Показано хорошее согласование направлений разрывов с одной из нодальных плоскостей при определении механизмов очагов рассмотренных землетрясений по знакам первых смещений в волне Р.

При сильных землетрясениях на поверхности Земли образуются разрывы [6], как это было и при Ванском землетрясении 24 ноября 1976 г. в 12 ч. 22 м., в результате которого образовался разрыв с направлением СЗ—ЮВ и протяженностью в 53 км [10]. К этой зоне разрыва были приурочены и эпицентры самых сильных его афтершоков. Для обработки сейсмограмм главного толчка и 9 афтершоков был применен способ [3] определения параметров разрыва при землетрясении, в результате чего оценена протяженность очаговых зон и установлены направления разрывов, хорошо согласующиеся с ориентацией разрыва на поверхности Земли. Полученные результаты показали, что можно изучить процесс сейсмического разрывообразования и при



It is shown the essential dependence of both apparent resistance and polarizability parameters on the electrical field stimulation chosen system (on the arrangement of feeding electrodes). Basing on the stability of both apparent resistance and polarizability residual parameters to the electrical fields stimulation and recording different systems, their reliability is demonstrated during investigation of the geological medium with a complicated differentiation of electrical characteristics. The effectiveness of multielectrode installations applying is experimentally corroborated during investigation of the anisotropic medium with local electrical heterogeneities by means of recording the both primary and secondary fields parameters with different pairs of mutually perpendicular receiving lines is the investigated point of observation.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Авдевич М. М., Фокин А. Ф. Электромоделирование потенциальных геофизических полей. Л.: Недра, 1978, 100 с.
2. Матевосян А. К. Вращение направления возбуждаемого электрического поля многоэлектродной установкой. — Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1988, XLI, № 2, с. 56—63.
3. Матевосян А. К. Способ интерпретации результатов измерений методами сопротивлений и вызванной поляризации. — Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1988, XLI, № 3, с. 46—55.
4. Матевосян А. К. О системе параметров кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости. — Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1988, XLI, № 4, с. 58—64.
5. Матевосян А. К. Изучение анизотропии электропроводности и поляризуемости пород с использованием различных систем возбуждения и регистрации электрических полей. — Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XLII, № 2, с. 53—66.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XLII, № 5, 54—63

УДК: 550.348.098

И. В. ГОРБУНОВА, М. Б. МКРТЧЯН

#### О ВЫЯВЛЕНИИ РАЗРЫВОВ В ОЧАГАХ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ АРМЯНСКОГО НАГОРЬЯ

На основе применения способа определения параметров разрыва при землетрясении определены направления разрывов в очагах сильных землетрясений по инструментальным данным, согласующиеся с направлениями разрывов, вышедшими на поверхность Земли. Определены также направления разрывов в очагах землетрясений, разрывные нарушения которых на земной поверхности не наблюдались. Показано хорошее согласование направлений разрывов с одной из нодальных плоскостей при определении механизмов очагов рассмотренных землетрясений по знакам первых смещений в волне Р.

При сильных землетрясениях на поверхности Земли образуются разрывы [6], как это было и при Ванском землетрясении 24 ноября 1976 г. в 12 ч. 22 м., в результате которого образовался разрыв с направлением СЗ—ЮВ и протяженностью в 53 км [10]. К этой зоне разрыва были приурочены и эпицентры самых сильных его афтершоков. Для обработки сейсмограмм главного толчка и 9 афтершоков был применен способ [3] определения параметров разрыва при землетрясении, в результате чего оценена протяженность очаговых зон и установлены направления разрывов, хорошо согласующиеся с ориентацией разрыва на поверхности Земли. Полученные результаты показали, что можно изучить процесс сейсмического разрывообразования и при



других, менее сильных землетрясениях Армянского нагорья, разрывы которых на поверхности Земли не наблюдались.

Методика, используемая в настоящей работе основана на новом подходе к интерпретации сейсмограмм, который рассматривает не точечный очаг, принятый в сейсмологической практике, а распространяющийся источник излучения сейсмических волн [2, 4, 5]. В результате такой интерпретации излученные из очага волны могут быть не только первые вступления  $P$  и  $S$  волн, но и следующие за ними. Отнесение волн, следующих за первыми вступлениями к очаговым, производится на основе азимутальных годографов и одновременной интерпретации и идентификации волн на разных станциях, образующих азимутальную систему наблюдений.

В данной работе идентификация волн не представляла существенных трудностей, так как запись  $P$  и  $S$  волн для всех рассматриваемых землетрясений была идентичной и состояла из двух волновых групп, из которых вторая по интенсивности значительно превосходила первую (рис. 1). Эти волны в существующей на практике интерпретации по квазилинейному годографу соответствуют на одних станциях волнам  $pP$ , на других  $sP$ , иногда  $PcP$ . Здесь надо обратить внимание на то, что одни и те же интенсивные волновые группы во вторых вступлениях интерпретируются по-разному ( $pP$  или  $sP$ ), когда эта интерпретация производится по наблюдениям единичных станций.

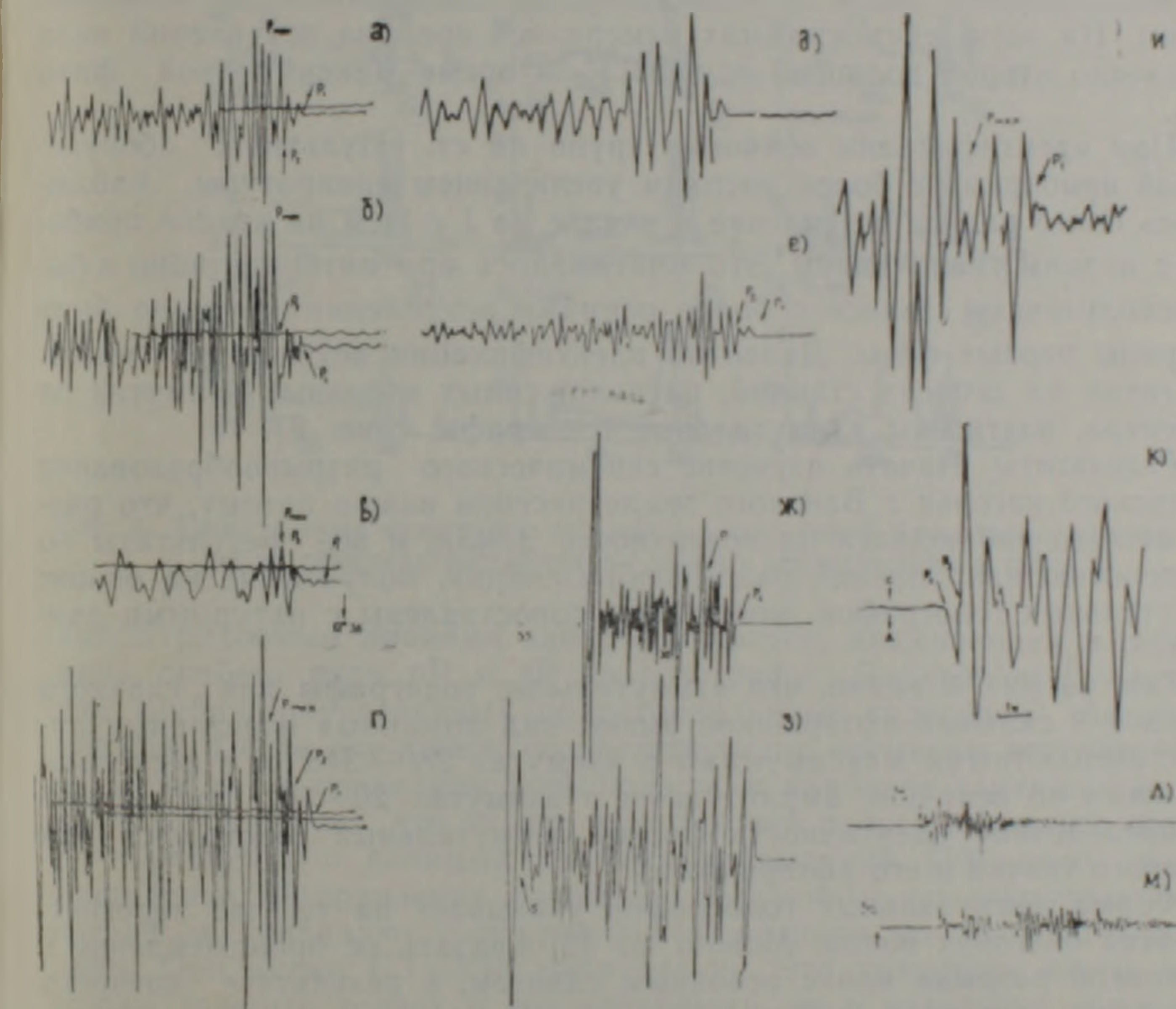


Рис. 1. Примеры записи Ванского землетрясения 24.11.76 12 ч 22 мин. а) станция Иркутск  $Az=51^\circ$  прибор СКМЗ, б), в) станция Нультин  $Az=16^\circ$  прибор СВК—МЗ и СВК—Д, г) ст. Новосибирск  $Az=45^\circ$  прибор СВК—МЗ, д, е) ст. Южно-Сахалинск  $Az=46^\circ$  СКД, СКМЗ, ж, з) ст. Мокса (ГДР)  $Az=310^\circ$  приборы, и) ст. Виктория (Канада)  $Az=340^\circ$  прибор, к) ст. Коллмберг (ГДР)  $Az=310^\circ$  прибор, SSI—1 (типа П-ю), л, м) ст. Ехери (Франция)  $Az=300^\circ$  длиннопериодная аппаратура с цифровой регистрацией.

В отличие от этого интерпретация волн по новой методике проводится по совокупности станций, расположенных в разных азимутах от эпицентра, с учетом вида и формы записи группы волн  $P$  и  $S$ . По временам вступлений вторых интенсивных волновых групп, наблюдае-



мых на всех записях, были построены азимутальные распределения разностей времен вступлений волн  $P_2 - P_1$  (упрощенная форма азимутального годографа). Эти вступления были замерены на сейсмограммах станций Единой системы сейсмических наблюдений, с микрофильмов записей зарубежных станций, а также взяты вторые четкие вступления (i) из бюллетеней ISC.

*Характерные особенности записей* использованных землетрясений. Всего было рассмотрено 22 землетрясения, происшедших в различных сейсмоактивных зонах Армянского нагорья: в Ванском районе—13, в Карс-Эрзрумском—2, в районе Эрзинджан—4, в Зангезурском районе—1, в северной части Армянского нагорья—2. Основные параметры этих землетрясений приведены в таблице 1. Для исследованных землетрясений характерны записи группы P и S волн, из которых вторая группа интенсивнее первой по разной аппаратуре. На рис. 1. приведены примеры записи Ванского землетрясения 24.XI.76 г 12<sup>h</sup> 22<sup>m</sup> приборами разного типа станциями «Иркутск», (прибор СКМЗ) «Иультин» (СВК-МЗ и СВК-Д), «Новосибирск» (СВК-МЗ), «Ю-Сахалинск», (СКД, СКМЗ), «Мокса» (ГДР) (SSI—I), «Виктория» (ST) (Канада), «Коллиберг» (SSI—I) ГДР и «Ехери» (Франция) (длиннопериодная аппаратура с цифровой регистрацией).

На записях короткопериодной аппаратурой после четкого первого вступления волны P наблюдается увеличение амплитуд до наступления максимальной фазы. В этом интервале выделяются две волновые группы. На всех сейсмограммах измерялись времена вступлений волн  $P_1$ , начало второй волновой группы  $P_2$  и время максимальной фазы  $P_{max}$ .

При идентификации волновых групп на ст. «Иультин», оборудованной приборами с более высоким увеличением аппаратуры, наблюдалось более раннее вступление в начале на 1 с, чем на записи прибором с низким увеличением. Это учитывалось при интерпретации и были использованы записи с более ранними вступлениями, где не были потеряны первые фазы. Далее по идентификации вступлений волновых групп на записях станций, расположенных в разных азимутах от эпицентра, построены азимутальные годографы (рис. 2).

*Результаты.* Начать изучение сейсмического разрывообразования Армянского нагорья с Ванского землетрясения важно потому, что разрыв от него наблюдался на поверхности Земли, и все результаты по определению направлений разрывообразования, полученные на основе азимутальных годографов, могут быть сопоставлены с натурными данными.

Так, из рис. 2 видно, что азимутальные годографы для главного толчка и 9 сильных афтершоков имеют вид ломанных изрезанных линий с абсолютными максимумами в азимутах 280—340° и с несколько меньшими по величине амплитудами в азимутах 20—50°. Наблюдается определенная идентичность формы азимутальных годографов для основного толчка и его афтершоков.

Форма азимутальных годографов указывает на то, что зарегистрирована очаговая волна. Можно по [9] связать ее происхождение с остановкой разрыва или с основным сдвигом, в результате которого выделилась основная сейсмическая энергия.

Идентичность графиков главного толчка и афтершоков указывает на то, что афтершоки мигрировали вдоль магистрального разрыва СЗ—ЮВ направления, при этом разрывообразование происходило в азимуте 120—140°. Почти для всех афтершоков и главного толчка наблюдались меньшие времена запаздываний в направлениях, перпендикулярных основному магистральному разрыву. Эти запаздывания времен пробега можно проинтерпретировать как волны, образующиеся в результате отрывной компоненты при образовании сдвигового разрыва. Как дополнительное доказательство того, что эти волны являются не отраженными  $pP$  или обменно-отраженными  $sP$ , на этих графиках



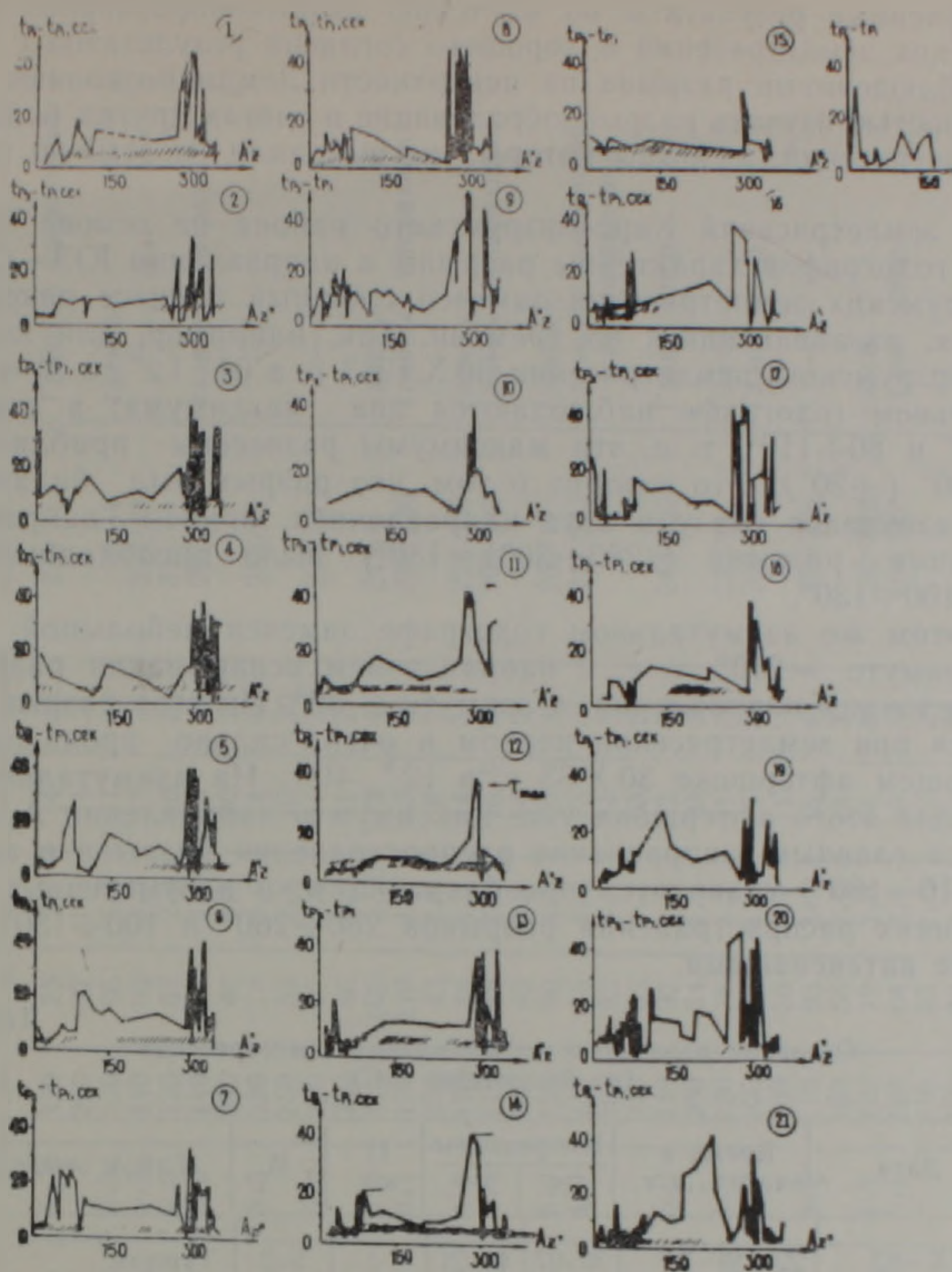


Рис. 2. Азимутальные годографы сильных землетрясений Армянского нагорья (номера на графиках соответствуют номеру землетрясения в табл. 1).

ках штриховыми линиями зачерчена полоса, включающая в себя времена пробега волн  $pP$  и  $sP$  по годографу Джеффриса-Буллена [7] для глубин, определенных по региональному годографу Армянского нагорья. Почти все точки, соответствующие временам вступлений волн  $P_2$ , лежали за пределами этой полосы, и наиболее характерным здесь является тот факт, что их нет в штриховой полосе в азимуте разрыва.

Сравнение с данными полевых наблюдений [10] дало хорошее совпадение. Направления разрывов, полученные по азимутальным годографам, совпадают с направлением разрыва по полевым наблюдениям. Они имеют СЗ—ЮВ направление. Это указывает на то, что не только главный толчок и его афтершоки, но и отдельные землетрясения Ванского района приурочены к одной тектонической структуре.

По результатам определения механизмов очагов по знакам первых вступлений  $P$  волн и реализованной на ЭВМ программе [1], в очагах Ванской серии землетрясений преобладает субмеридиональное простирание одной из подальных плоскостей в среднем азимуте вектора падения  $A_z \sim 350^\circ$  при угле наклона к горизонту  $e \sim 60^\circ$ , вторая подальная плоскость имеет  $A_z \sim 240^\circ$  угол наклона  $e \sim 50^\circ$ . Преобладают комбинированные подвижки типа сдвигов и взбросо-сдвигов.

Азимутальный годограф позволяет из двух подальных плоскостей выбрать плоскость северо-западного направления и остановиться на определении механизма очага в более конкретном варианте.



Полученные результаты по изучению разрывообразования в очагах Ванских землетрясений и хорошего согласия результатов с натурными наблюдениями разрыва на поверхности Земли позволяют далее с уверенностью изучать разрывообразование в очагах других более слабых землетрясений, разрывы которых не выходили на земную поверхность.

Для землетрясений Карс-Эрзрумского района на основе азимутальных годографов характерны разрывы в направлении ЮЗ—СВ. Но для Эрзрумских землетрясений замечен сложный процесс разрывообразования, развивающийся во времени. Так, например, для главного толчка Эрзрумского землетрясения 30.X.1983 г. в 04<sup>h</sup> 12<sup>m</sup>, с  $M=6,0$  на азимутальном годографе наблюдаются два максимума: в азимутах  $280\div 310^\circ$  и  $80\div 110^\circ$ , т. е. эти максимумы разнесены приблизительно на  $180^\circ$  ( $\pm 20^\circ$ ). Это говорит о том, что разрыв был билатеральным и развивался сразу в двух направлениях, причем направление вспарывания разрыва  $[(280\div 300) - 180^\circ]$  было преобладающим в азимуте  $100\div 130^\circ$ .

На этом же азимутальном годографе замечен небольшой максимум в азимуте  $\sim 210^\circ$ , т. е. с направлением вспарывания разрыва в северо-восточном направлении, в азимуте  $\sim 30^\circ$ . Но этот разрыв слабо выделялся при землетрясении первом и очень сильно проявился при последующем афтершоке 30.X.83 г. в 12<sup>h</sup> 40<sup>m</sup>. На азимутальном годографе для этого афтершока уже максимум в направлении А,  $\sim 210^\circ$  становится главным, направление распространения разрыва в азимуте  $\sim 30^\circ$  ( $210 - 180^\circ$ ) становится преобладающим, а в отмеченных ранее направлениях распространения разрывов  $280\div 260^\circ$  и  $100\div 130^\circ$  стали уже менее интенсивными.

Таблица 1

Основные параметры исследованных землетрясений  
(по бюллетеню ISC)

| №№<br>п п | Дата       | Время в<br>очаге ч. м. с. | Координаты        |                   | II<br>к.м | M   | Район землетрясения     |
|-----------|------------|---------------------------|-------------------|-------------------|-----------|-----|-------------------------|
|           |            |                           | $\varphi^\circ N$ | $\lambda^\circ E$ |           |     |                         |
| 1         | 4 IX—62    | 22—59—17                  | 39.97             | 44.21             | 5         | 5.2 | Турция                  |
| 2         | 30 I—67    | 01—20—28.7                | 41.09             | 44.31             | 11        | 5.0 | Сев. част. Арм. нагорья |
| 3         | 19 VIII—66 | 12—22—10.5                | 39.17             | 41.56             | 26        | 5.8 | Турция                  |
| 4         | 20 VIII—66 | 11—59—04.0                | 39.42             | 40.98             | 14        | 5.3 | —                       |
| 5         | 29 IV—98   | 07—01—55.6                | 39.24             | 44.23             | 17        | 5.3 | —                       |
| 6         | 9 VI—68    | 00—56—32                  | 39.09             | 46.10             | 31        | 5.0 | Арм. наг.               |
| 7         | 14 III—70  | 01—51—47.8                | 38.62             | 44.80             | 50        | 5.2 | Тур-Иран                |
| 8         | 6 IX—75    | 09—20—12.0                | 38.51             | 40.77             | 32        | 6.0 | Турция                  |
| 9         | 24 XI—76   | 12—22—16                  | 39.05             | 44.04             | 7         | 6.1 | —                       |
| 10        | —          | 13—18—08.9                | 39.09             | 43.71             | 49        | 4.5 | —                       |
| 11        | —          | 15—04—05.1                | 39.18             | 43.71             | 45        | 4.9 | —                       |
| 12        | —          | 15—11—07.1                | 39.0              | 44.19             | 62        | 5.0 | —                       |
| 13        | —          | 20—46—07.2                | 40.39             | 44.13             | 52        | 4.9 | —                       |
| 14        | 25 XI—76   | 09—49—27                  | 38.96             | 44.28             | 36        | 5.0 | —                       |
| 15        | 4 XII—76   | 04—10—36.8                | 39.31             | 43.66             | 36        | 4.9 | —                       |
| 16        | 17 I—77    | 05—19—24.7                | 39.27             | 43.7              | 29        | 5.0 | —                       |
| 17        | 26 V—77    | 01—35—13.9                | 38.93             | 44.38             | 38        | 5.2 | —                       |
| 18        | 11 IV—79   | 12—14—27.6                | 39.12             | 43.91             | 44        | 4.9 | —                       |
| 19        | 18 X—80    | 03—14—10.4                | 39.91             | 40.31             | 37        | 5.1 | —                       |
| 20        | 30 X—83    | 04—12—28.1                | 40.35             | 42.18             | 16        | 6.0 | —                       |
| 21        | 30 X—83    | 12—40—25.5                | 40.45             | 42.17             | 31        | 5.3 | —                       |
| 22        | 17 XII—86  | 00—14—21.3                | 41.20             | 44.01             | 1         | 4.7 | Сев. часть Арм. наг.    |

Таким образом, можно сделать вывод, что при сильном землетрясении 30/X—83 г. 04<sup>h</sup> 12<sup>m</sup>  $M=6,0$  произошли разрывы в двух направлениях: главный двунаправленный с преобладающим направлением распространения в азимуте  $\sim 110^\circ$  и было положено начало развития разрыва в  $Az \sim 30^\circ$ . При последующем за ним толчке в 12<sup>h</sup> 40<sup>m</sup> с  $M=5,3$  процесс, который только начался в предыдущем землетрясении,



| № №<br>п п | Дата<br>землетр. | Время в<br>очаге<br>Ч. М. С. | Координаты нач.<br>точки разрыва<br>(по ISC) |       | Глубина<br>очага, км | М    | Азимут рас-<br>прос. разры-<br>ва в град. | Длина раз-<br>рыва в км | Скор. рас-<br>пр. разрыва,<br>км/с | min | max | Азимуты век-<br>тора падения<br>плоскостей<br>разрывов по ме-<br>ханизму очага | Примечание        |
|------------|------------------|------------------------------|----------------------------------------------|-------|----------------------|------|-------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-----|-----|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|            |                  |                              | φ°N                                          | λ°E   |                      |      |                                           |                         |                                    |     |     |                                                                                |                   |
| 1          | 4 IX—62          | 22—59—17.0                   | 39.97                                        | 44.21 | 5                    | 5.25 | 120                                       | 75                      | 2.7                                | 14  | 42  | 219 315                                                                        | Главный оперяющий |
| 2          | 19 VII—66        | 12—22—10.5                   | 39.17                                        | 41.56 | 26                   | 5.8  | 260                                       | 27                      | 1.8                                | 11  | 21  | 6 34                                                                           | главный           |
| 3          | 20 VII—66        | 11—53—03.1                   | 39.42                                        | 40.98 | 14                   | 5.3  | 130                                       | 96                      | 3.6                                | 11  | 42  | 202 323                                                                        | —                 |
| 4          | 30 I—67          | 01—20—28.7                   | 41.09                                        | 44.31 | 11                   | 5.0  | 140                                       | 66                      | 2.7                                | 13  | 36  | 311 64                                                                         | —                 |
| 5          | 9 VI—68          | 00—56—32                     | 39.09                                        | 46.10 | 31                   | 5.0  | 120                                       | 62                      | 2.9                                | 10  | 32  | 202 340                                                                        | главный оперяющий |
| 6          | 29 IV—68         | 17—01—55.6                   | 39.24                                        | 44.23 | 17                   | 5.3  | 140                                       | 72                      | 3.0                                | 15  | 40  | 285 26                                                                         | —                 |
| 7          | 14 III—70        | 01—51—47.8                   | 48.62                                        | 44.80 | 50                   | 5.2  | 280                                       | 40                      | 2.5                                | 10  | 24  | 206 311                                                                        | —                 |
| 8          | 6 IX—75          | 09—20—12                     | 38.51                                        | 40.77 | 32                   | 6.0  | 130                                       | 73                      | 3.0                                | 14  | 40  | 212 4                                                                          | главный           |
| 9          | 24 XI—76         | 12—22—16                     | 39.05                                        | 44.04 | 7                    | 6.1  | 250                                       | 53                      | 2.8                                | 10  | 29  | 217 330                                                                        | главный оперяющий |
| 10         | 24 XI—76         | 13—18—08.9                   | 39.09                                        | 43.71 | 49                   | 4.9  | 120                                       | 77                      | 3.6                                | 11  | 33  | 228 337                                                                        | главный           |
| 11         | 24 XI—76         | 15—04—04                     | 39.18                                        | 43.71 | 46                   | 4.9  | 240                                       | 56                      | 3.1                                | 11  | 27  | 208 349                                                                        | главный оперяющий |
| 12         | 24 XI—79         | 15—11—07.6                   | 39.00                                        | 44.19 | 62                   | 5.0  | 110                                       | 105                     | 3.05                               | 13  | 45  | 265 12                                                                         | главный           |
| 13         | 24 XI—76         | 20—46—07.2                   | 39.08                                        | 44.13 | 52                   | 4.9  | 125                                       | 84                      | 3.1                                | 14  | 38  | 246 342                                                                        | главный оперяющий |
| 14         | 25 XI—76         | 09—49—27                     | 38.96                                        | 44.28 | 36                   | 5.0  | 110                                       | 92                      | 3.6                                | 12  | 40  | 243 352                                                                        | главный оперяющий |
| 15         | 4 XII—76         | 04—10—36.8                   | 39.31                                        | 43.66 | 36                   | 4.9  | 160                                       | 45                      | 2.8                                | 14  | 28  | 233 11                                                                         | главный оперяющий |
| 16         | 17 I—77          | 05—19—24.7                   | 39.27                                        | 43.70 | 29                   | 5.0  | 120                                       | 76                      | 3.7                                | 11  | 30  | 290 31                                                                         | главный оперяющий |
| 17         | 26 V—77          | 01—35—13.9                   | 38.93                                        | 44.38 | 38                   | 5.2  | 260                                       | 34                      | 2.3                                | 10  | 20  | 329 325                                                                        | главный оперяющий |
| 18         | 11 IV—79         | 12—14—27.6                   | 39.12                                        | 43.91 | 44                   | 4.9  | 110                                       | 95                      | 4.0                                | 9   | 38  | 202 349                                                                        | главный оперяющий |
| 19         | 18 X—80          | 03—14—10.4                   | 39.91                                        | 40.31 | 37                   | 5.1  | 260                                       | 56                      | 2.9                                | 11  | 28  | 164 317                                                                        | главный оперяющий |
| 20         | 30 X—83          | 04—12—28.1                   | 40.35                                        | 42.18 | 15                   | 6.0  | 160                                       | 46                      | 2.4                                | 12  | 26  | 301 36                                                                         | главный оперяющий |
| 21         | 30 X—83          | 12—40—25.5                   | 40.45                                        | 42.17 | 31                   | 5.3  | 260                                       | 83                      | 3.0                                | 15  | 41  | 284 24                                                                         | главный оперяющий |
| 22         | 17 XII—83        | 00—14—21.3                   | 41.20                                        | 44.04 | 1                    | 4.7  | 30                                        | 79                      | 2.9                                | 16  | 40  | 309 46                                                                         | главный оперяющий |
|            |                  |                              |                                              |       |                      |      | 110                                       | 70                      | 3.1                                | 12  | 33  |                                                                                |                   |
|            |                  |                              |                                              |       |                      |      | 200                                       | 46                      | 2.5                                | 7   | 30  |                                                                                |                   |
|            |                  |                              |                                              |       |                      |      | 130                                       | 23                      | 1.9                                | 7   | 17  |                                                                                |                   |



в  $Az \sim 30^\circ$  развился и достиг своего максимума. Разрыв в  $Az \sim 110^\circ$  продолжал наблюдаться, но он был меньше.

Следовательно, на основе азимутального годографа появилась возможность проследить за процессом разрывообразования в очагах двух сильных землетрясений Карс-Эрзрумского района. В очагах землетрясений этого района по механизму преобладают субмеридиональное простирание одной из нодальных плоскостей с вектором падения в  $Az \sim 320^\circ$ , совпадающий с азимутом по азимутальному годографу,  $\delta \sim 65^\circ$ ; вторая нодальная плоскость, которую надо считать не работающей, имеет в среднем азимут вектора падения  $\sim 67^\circ$ ,  $\delta \sim 50^\circ$ . В отличие от механизмов очагов Ванских землетрясений здесь преобладают подвижки сдвигового характера. Азимутальные годографы землетрясений в районе Эрзинджан (земл. № 2, 3, 8, 19, табл. 1) имеют выраженный максимум кривой в  $Az \sim 300-320^\circ$  (всплеск кривой в  $Az \sim 10^\circ$  земл. № 2 и  $Az \sim 130^\circ$ , земл. № 19 ненадежны ввиду малого количества станций в этом азимуте). Разрывы направлены с СЗ на ЮВ.

По механизму очагов здесь преобладает субширотное простирание обеих нодальных плоскостей и подвижки типа взбросо-сдвиг. Одна из нодальных плоскостей имеет азимут вектора падения  $Az \sim 200^\circ$ ,  $\delta \sim 55^\circ$ , вторая в среднем  $Az \sim 300^\circ$ ,  $\delta \sim 50^\circ$ , согласующаяся с направлением, определенным по азимутальному годографу.

На азимутальном годографе Загезурского землетрясения 9/VI—68 г.  $00^h 56^m$  виден выраженный максимум в  $Az \sim 300-320^\circ$  и сравнительно малый максимум в  $Az \sim 100-120^\circ$ . Это позволяет говорить о двунаправленном разрыве с преобладающим движением в азимуте  $120-140^\circ$  ( $\pm 20^\circ$ ). Одна из нодальных плоскостей по механизму очага имеет азимут вектора падения  $\sim 200^\circ$ ,  $\delta \sim 60^\circ$ , вторая нодальная плоскость  $Az \sim 340^\circ$ ,  $\delta \sim 30^\circ$ , которую надо считать в пределах ( $\pm 20^\circ$ ), согласуется с направлением разрыва по азимутальному годографу. Преобладают подвижки типа сбросо-сдвиг. Азимутальный годограф Спитакского землетрясения 30/I—67 г.  $01^h - 20^m$   $M=5,0$  (сев. часть Армянского нагорья) имеет всплеск кривой в  $Az \sim 280-340^\circ$ , а максимум в  $Az \sim 300^\circ$ . Разрыв имеет направление  $120^\circ$ . По механизму очага вектор падения одной нодальной плоскости в  $Az \sim 310^\circ$ ,  $\delta = 60^\circ$ , согласующейся с направлением разрыва по азимутальному годографу и второй нодальной плоскости в  $Az \sim 64^\circ$ ,  $\delta \sim 60^\circ$ .

Второе землетрясение северной части Армянского нагорья 17/XII—83 г.  $00^h 14^m$   $M=4,7$ , вероятно ввиду слабости, не имеет ярко выраженных максимумов кривой. Некоторые всплески наблюдаются в  $Az \sim 310^\circ$  и  $100-150^\circ$ . Одна нодальная плоскость, которую надо считать работающей, имеет азимут вектора падения  $Az \sim 310^\circ$ ,  $\delta \sim 45^\circ$  и совпадает с результатами по азимутальному годографу.

#### *Обсуждение результатов.*

Результаты сравнения направлений разрывов, полученных по азимутальным годографам и по механизмам очагов, определенных по знакам первых вступлений волн Р, приведены на рис. 3 и в табл. 2.

Как видно, в 70% случаев наблюдается хорошее согласие между полученными данными, определенными разными независимыми способами. Различие между направлениями разрывов по азимутальным годографам и близкой к ней по простиранию нодальной плоскостью колеблется в пределах  $10-40^\circ$ .

В 20% случаев (землетрясение № 9, 11, 14, 17) нодальные плоскости не совпадают с направлением главного разрыва по азимутальному годографу, а в пределах  $0-10^\circ$  совпадают с оперяющим разрывом. Это можно объяснить тем, что механизм землетрясения определяется по первому смещению волн Р и соответствует началу процесса в очаге, далее при выходе основной энергии разрыв ориентируется в



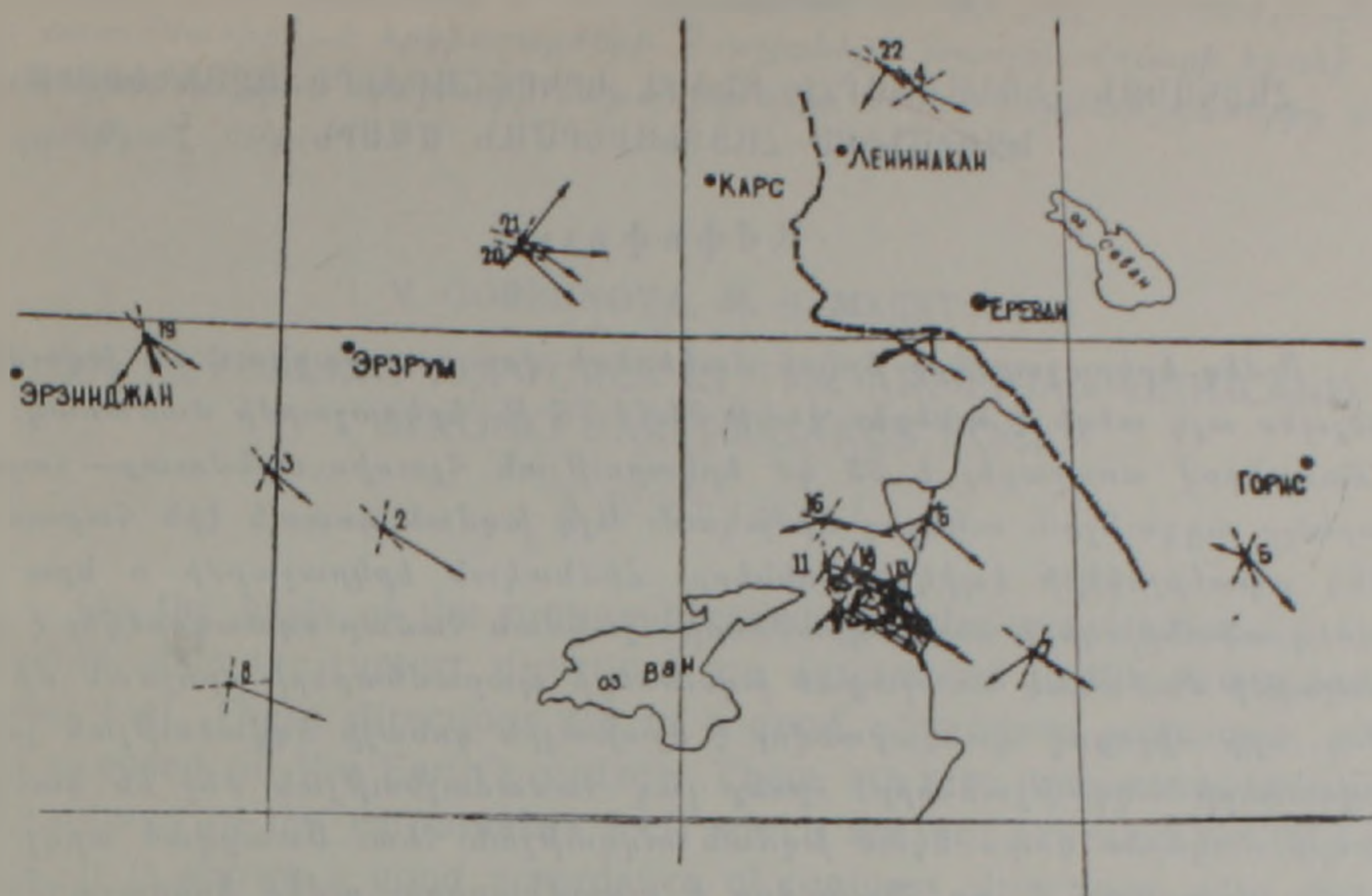


Рис. 3. Сравнение направлений разрывов по азимутальному годографу с нодальными плоскостями механизмов очагов. Обозначения: стрелки—разрывы по азимутальным годографам (масштаб стрелок увеличен в 2 раза сравнительно с картой); штриховые линии—простираание нодальных плоскостей по механизму очага; цифры—номера землетрясений соответственно табл. 1.

пространстве, несколько отличном от первоначального направления в зависимости от ориентации напряжений в среде. При землетрясениях № 12, 16, 21 (табл. 1) обе нодальные плоскости в пределах  $10-30^\circ$  ориентированы в направлениях главного и оперяющего разрывов по азимутальному годографу. Сравнение направлений разрывов, определенных по азимутальным годографам, с механизмами очагов, определенных по стандартной методике (с использованием знаков первых вступлений Р волн), с одной стороны, позволяет однозначно выбрать действующую плоскость в очаге землетрясения, а с другой, выявлять новые особенности процессов в очаге, т. е. не всегда начальная фаза процесса характеризует основную подвижку в очаге.

Таким образом в Ванской очаговой зоне разрывы имеют СЗ—ЮВ направление. В Карс-Эрзрумском районе и севанской части Армянского нагорья разрывы имеют направление ЮЗ—СВ, которые можно приурочить к Абул-Самсарскому глубинному разлому, который в районе Эрзинджан соединяется в Северо-Анатолийским глубинным разломом [8]. К узлу соединения этих двух разломов приурочены землетрясения в районе Эрзинджан, главные направления которых имеют СЗ—ЮВ простираание.

Определение направлений разрывов по азимутальным годографам дает возможность однозначного решения вопроса выбора действующей плоскости при решениях механизмов очагов, когда вопрос касается однонаправленного разрыва. Если разрыв сложный, то первый момент жизни очага может соответствовать не основному магистральному разрыву, а оперяющему. Поэтому азимутальный годограф может дать дополнительные сведения о процессе в очаге.



## ՀԱՅԿԱԿԱՆ ԼԵՌՆԱՇԽԱՐՀԻ ՈՒՃԵՂ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐԻ ՕՋԱԽՆԵՐՈՒՄ ԽՉՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՅՏՆԱՐԵՐՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

### Ա մ փ ո փ ու մ

Ուժեղ երկրաշարժերը երկրի մակերեսի վրա առաջացնում են խզումներ, ինչպես այդ տեղի է ունեցել Վանի 24.11.76 թ. երկրաշարժի ժամանակ, որի հետևանքով առաջացել է 53 կմ երկարության հյուսիս-արևմուտք—հարավ-արևելք ուղղություներ ունեցող մի խզում: Այդ խզման գոտուն էին հարում ուժեղ աֆտերշոկերի էպիկենտրոնները: Հիմնական երկրաշարժի և նրա ինքնուրույն աֆտերշոկերի սեյսմոգրամների մշակման համար օգտագործվել է երկրաշարժի ժամանակ առաջացած խզումների պարամետրերի որոշման մի մեթոդ, որի միջոցով պարզարանվել է օջախային ղոնայի ձգվածության չափը, խզումների ուղղությունները, որոնք լավ համաձայնության մեջ են գտնվում երկրի մակերեսի դուրս եկած խզման ուղղության հետ: Ստացված արդյունքներից պարզվում է, որ հնարավոր է ուսումնասիրել ուժեղ երկրաշարժի առաջացրած խզումների գոյացման պրոցեսներն ավելի թույլ երկրաշարժերի ժամանակ, որոնց առաջացրած խզումները չեն դիտվում երկրի մակերեսին: Աշխատանքի մեջ օգտագործված մեթոդիկան հիմնված է սեյսմոգրամների մեկնարանման նկատմամբ նոր մոտեցման վրա, որն օջախները դիտում է ոչ թե որպես կետային առաջացումներ, այլ որպես սեյսմիկ ալիքների ճառագայթման տարածվող աղբյուրներ: Նման մեկնարանման հիման վրա օջախից ճառագայթված ալիքներ կարող են հանդիսանալ ոչ միայն P և S ալիքների առաջին մուտքերը, այլև նրանց հաջորդող մուտքերը: Առաջին մուտքերին հաջորդող մուտքերի դասվելը օջախային ալիքներին կատարվում է ազիմուտալ հողոգրաֆների տարբեր սեյսմիկ կայանների կողմից գրանցված ալիքների նույնացման մեթոդիկայի հիման վրա:

Ուսումնասիրվել են Վանի երկրաշարժը և նրա աֆտերշոկերը Կարս-էրզրումի օջախային գոտու, Երզնկայի շրջանի, Զանգեզուրի 9.06.68 թ., ինչպես նաև Հայկական լեռնաշխարհի հյուսիսային մասի երկու ուժեղ երկրաշարժերը և որոշվել են դրանց հետևանքով առաջացած խզումների ուղղությունները: Այսպես օրինակ, Վանի օջախային գոտում երկրաշարժերի օջախների խզումներն ունեն հյուսիս-արևմուտք—հարավ-արևելք ուղղությունը: Կարս-էրզրումի և Հայկական լեռնաշխարհի հյուսիսային մասում տեղի ունեցած երկրաշարժերի օջախներում խզումներն ունեն հարավ-արևմուտք—հյուսիս-արևելք ուղղություններ, ինչը կարելի է համադրել Արուլ-Սամսարի խորքային բեկվածքի հետ, որը Երզնկայի շրջանում միանում է Հյուսիս-Անատոլիական խորքային բեկվածքին: Այդ երկու բեկվածքների հանգույցում են կենտրոնացած Երզնկայի շրջանի երկրաշարժերը, որոնց առաջացրած խզումներն ունեն հյուսիս-արևմուտք—հարավ—արևելք ուղղությունը:

Ազիմուտալ հողոգրաֆների հիման վրա խզումների ուղղությունների որոշումը հնարավորություն է տալիս օջախի մեխանիզմներում գործող հարթության միանշանակ որոշման, եթե խզումը մի ուղղություն ունի: Բարդ խզումների ժամանակ օջախում պրոցեսի առաջին մոմենտը կարող է չհամընկնել հիմնական խզման ուղղության հետ, այլ համընկնել այլ խզումների ուղղության հետ: Այսպիսով, ազիմուտալ հողոգրաֆը կարող է լրացուցիչ տրվյալներ տալ շրջանում տեղի ունեցող երևույթների մասին:



Ցույց է տրված նաև խզումների ուղղությունների լավ համաձայնությունը ուսումնասիրված երկրաշարժերի P-ալիքների առաջին մուտքի նշանի հիման վրա որոշված օջախների մեխանիզմների նոդալ հարթություններից մեկի ուղղության հետ:

I. V. GORBUNOVA, M. B. MKERTCHIAN

## ON REVEALING RUPTURES IN THE ARMENIAN HIGHLAND STRONG EARTHQUAKES FOCI

### A b s t r a c t

On the basis of the rupture parameters definition method by instrumental data the rupture directions are determined in the strong earthquakes foci. These directions are in a good accordance with ones, which are exposed on the Earth's surface. There are also determined directions of ruptures in the earthquakes foci, which are not revealed on the surface. It is shown a good accordance of ruptures directions with one of nodal planes during investigated earthquakes foci mechanisms determination by the signals of P-waves first shifts.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Алтекман Ж. Е., Желанкина Т. С., Кейлис-Борок В. И. и др. Массовое определение механизмов очагов землетрясений на ЭВМ. — В кн.: Теория и анализ сейсмологических наблюдений. М.; Наука, 1979 (Выч. сейсм., вып. 12), с. 45—48.
2. Горбунова И. В. Определение протяженности очага землетрясения и ориентация разрыва по волновой картине на сейсмограмме. — ДАН СССР, 1981, том 261, № 4, с. 836—839.
3. Горбунова И. В. Авторское свидетельство № 1245106. Способ определения параметров разрыва при землетрясениях, 1987.
4. Горбунова И. В. Методика и некоторые результаты определения длины, скорости и направления распространения разрыва по волновой картине на сейсмограмме. Деп. № 344—84, 1984. 180 с.
5. Горбунова И. В., Кальментьева З. А. Новые характеристики протяженности очагов слабых землетрясений. — Изв. АН СССР, Физика Земли, 1982, № 3, с. 34—45.
6. Штейнберг В. В. О параметрах очагов и сейсмическом эффекте землетрясений. — Изв. АН СССР, Физика Земли, 1983, № 7, с. 49—64.
7. Jeffreys H., Bullen K. E. Seismological tables. OBA, Zondou, 1967, p. 50.
8. Nowroosi A. A. Seismotectonics of the Persian plateau, eastern Turkey, Caucasus and Hingl-Kush. Bull. Seism. Soc. Am. v. 61, № 2, 1971, p. 317—341.
9. Savage J. S. Stopping phase on seismograms. BSSA. v. 55, p. 47—58.
10. Toksoz N. M., Arpat E., Saroglu F. East Anatolian earthquake of 24 November, 1976. „Nature“ Soudou 1977, 270, № 5636, p. 423—425.
11. Dewey J. W. Seismicity and tectonics of western Venezuela, BSSA. 1972, 62, 1711—1751.



## ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ВНЕДРЕНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ СИСТЕМЫ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ НА РОВЕНСКОЙ АЭС

В статье приводятся основные сведения и технические характеристики о разработанной и выпускаемой в ЕрПИ усовершенствованной системе гидродинамического нивелирования (УСГДН) для дистанционного и высокоточного измерения высотного положения контролируемых точек фундаментов сооружений и оборудования.

Описаны результаты промышленных испытаний и внедрения 3-х таких систем на Ровенской АЭС, при которых, по данным этого предприятия, обеспечивается годовой экономический эффект в размере 180 тыс. руб.

Сделан вывод о необходимости широкого внедрения систем УСГДН на различных объектах страны.

На атомных электростанциях (АЭС) турбоагрегаты устанавливаются на железобетонных плитах. Незначительные вертикальные смещения этих плит приводят к расстройству работы турбоагрегатов, вплоть до наступления их аварийного состояния. Поэтому необходимость проведения систематических, высокоточных наблюдений за вертикальными смещениями контролируемых точек указанных плит обязательна.

Производство таких наблюдений на Ровенской АЭС дополнительно обусловлено и тем, что на ее территории были обнаружены карстовые явления, могущие вызвать значительные осадки всего сооружения. В связи с этим выполнение данной работы было включено в число мероприятий по обеспечению надежной эксплуатации Ровенской АЭС, утвержденных министром энергетики и электростанций СССР.

Измерение вертикальных смещений контролируемых точек в стесненных условиях АЭС традиционным методом геометрического нивелирования малоэффективно, а иногда и невозможно. Современные достижения в области электроники, автоматики и телемеханики позволяют создать новые геодезические приборы и системы, обеспечивающие:

- а) повышение производительности измерительных работ и точности измерений;
- б) возможность передачи информации о высотном положении точек на расстояние с вводом этой информации на ЭВМ;
- в) простоту эксплуатации системы и возможность выполнения измерений силами техперсонала данного объекта.

Такие системы удобнее всего создавать с использованием метода гидронивелирования.

Еще в 1973 году Ереванским политехническим институтом (ЕрПИ) был предложен новый метод гидронивелирования, названный гидродинамическим, не имеющим своего аналога в мировой практике. Теоретические основы и принцип работы этой системой подробно изложены в [1, 2].

Измерение превышения между опорной и любой  $i$ -ой точками при этом осуществляется только при подъеме уровня жидкости в системе.

В 1975 году в ЕрПИ была разработана первая такая система с десятью датчиками уровня (СГДН—10Д), а в 1981 году ее модернизированный вариант—СГДН—10ДМ. Эти системы были внедрены на многих объектах страны, где перепад температуры внешней среды при различных циклах измерений небольшой.

В условиях Ровенской АЭС температура воздуха в помещении турбоагрегатов меняется в пределах от  $10^{\circ}$  до  $40^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, площадки для установки датчиков уровня жидкости подвержены постоянному воздействию вибрации.

В связи с этим возникла необходимость разработки усовершенствованной системы гидродинамического нивелирования (УСГДН), поз-



воляющей исключать влияние изменения температуры внешней среды на точность измерений, а также обеспечить надежность ее работы в условиях вибрации.

Первая из указанных выше задач теоретически была решена К. Р. Трозян. В работе [5] ею было доказано, что при измерении превышения точек системой УСГДН как при подъеме, так и при опускании уровня жидкости в среднем их значении автоматически исключается влияние изменения температуры внешней среды.

В работе [4] приведены результаты экспериментальных исследований, полностью подтвердившие этот вывод.

На основе этих данных Опытно-экспериментальным заводом (ОЭЗ) ЕрПИ разработаны две модификации УСГДН, на которые в 1984 году получено авторское свидетельство на изобретение [3]. Более того, ОЭЗ ЕрПИ освоил выпуск этих систем, которые успешно прошли госиспытания, и по ним составлены утвержденные технические условия.

Первая модификация этой системы—УСГДН(В) предназначена для использования при температуре окружающего воздуха от 0° до +40°С, с использованием в качестве рабочей жидкости питьевой воды, а вторая модификация УСГДН(А) при температуре от —30°С до +40°С, с использованием в качестве рабочей жидкости антифриза, состоящего из 50% этиленгликоля и 50% дистиллированной воды.

В состав комплекта этих систем входят: блок управления и регистрации (БУР); блок регистрации (БР); подъемно-преобразующее устройство (ППУ); датчики уровня (ДУ), прозрачные шланги и соединительные кабели (КА, КС—1, КС—2, КС—3, КС—4 и КС—5).

По заказу потребителей ОЭЗ ЕрПИ выпускает 10-ти, 20-ти и 30-датчиковые системы, обозначаемые УСГДН—10Д, УСГДН—20Д и УСГДН—30Д, в состав которых входят:

| Обозначение систем | Количество |    |     |    |    |      |      |      |      |      |
|--------------------|------------|----|-----|----|----|------|------|------|------|------|
|                    | БУР        | БР | ППУ | ДУ | КС | КС—1 | КС—2 | КС—3 | КС—4 | КС—5 |
| УСГДН—10Д          | 1          | —  | 1   | 10 | 1  | 1    | —    | 1    | 1    | —    |
| УСГДН—20Д          | 1          | 1  | 1   | 20 | 1  | 1    | 1    | 1    | 2    | 1    |
| УСГДН—30Д          | 1          | 2  | 1   | 30 | 1  | 1    | 2    | 1    | 3    | 2    |

Диапазон измерения превышений между точками, на которые устанавливаются датчики уровня,—90 мм. Максимальная продолжительность одного приема измерений для системы УСГДН(А)—80 мин, а для систем УСГДН(В)—30 мин.

Средняя квадратическая погрешность измерения в лабораторных условиях составляет: для систем УСГДН(А)—0,25 мм, а для систем УСГДН(В)—0,09 мм. Питание системы от сети переменного тока напряжением 220 В, а потребляемая мощность—150÷200 ВА.

На рис. 1 показан общий вид аппаратуры, входящей в систему УСГДН—30Д. На рис. 2 представлена монтажная схема этой системы, которая состоит из двух БР (1), одного БУР (2), тридцати последовательно устанавливаемых ДУ (3) на контролируемых точках, соединенных между собой, и ППУ (10) с помощью шлангов (11). Система подключается к сети 220 В посредством сетевого кабеля (4). БУР, БР, ППУ и ДУ электрически соединяются с помощью соединительных кабелей (5), (6), (7), (8) и (9).

В исходном положении уровень жидкости в баке ППУ и в сосудах ДУ одинакова и расположена несколько выше нижних концов электродов, закрепленных сверху к головкам ДУ.

Порядок работ при производстве измерений данной системой следующий. С помощью схемы запуска бак ППУ равномерно опускается, при котором жидкость из сосудов ДУ вытекает в бак. При отрыве



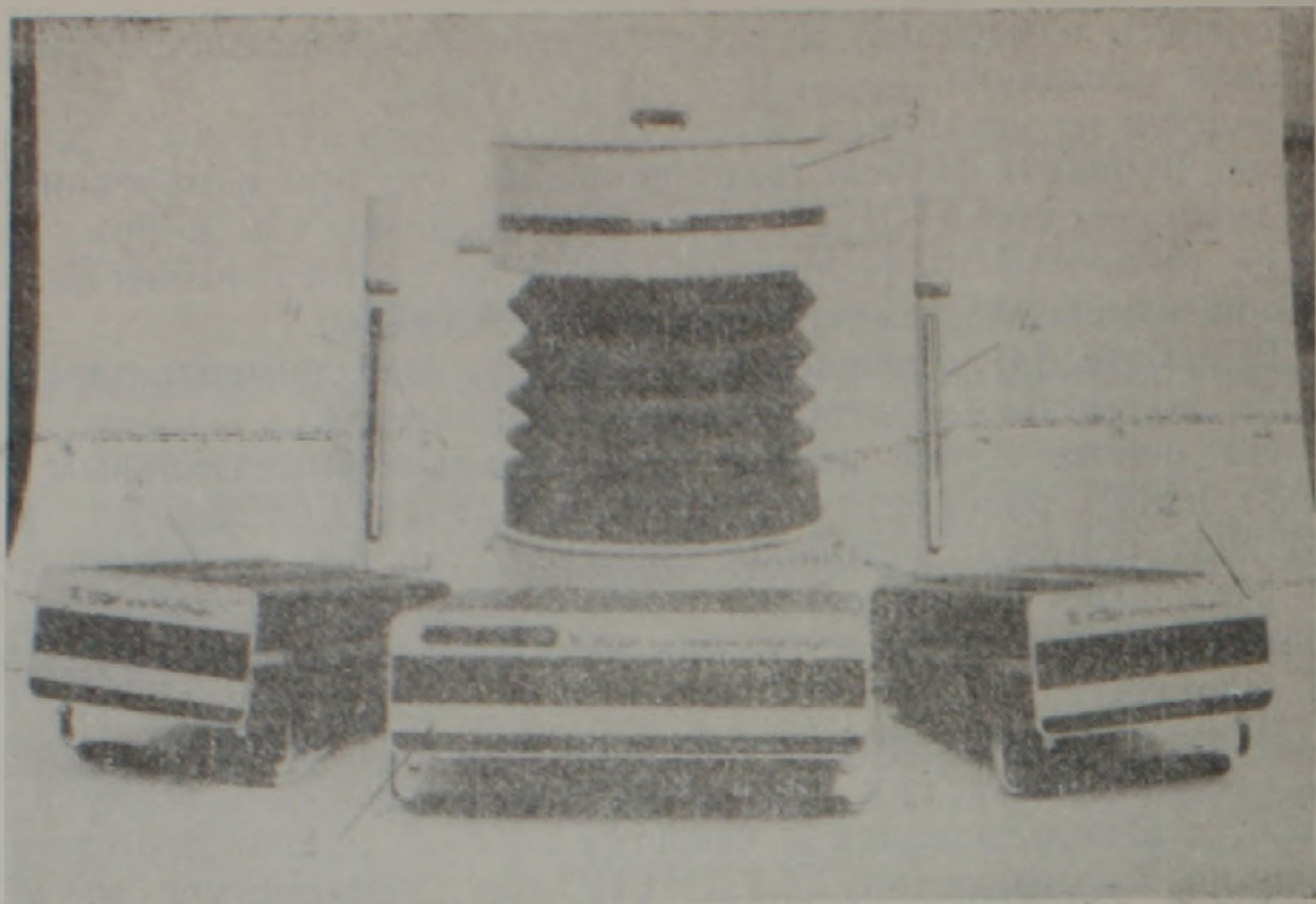


Рис. 1. Общий вид аппаратуры в системе УСГДН—30Д. 1—БУР; 2—БР; 3—ППУ; 4—ДУ.

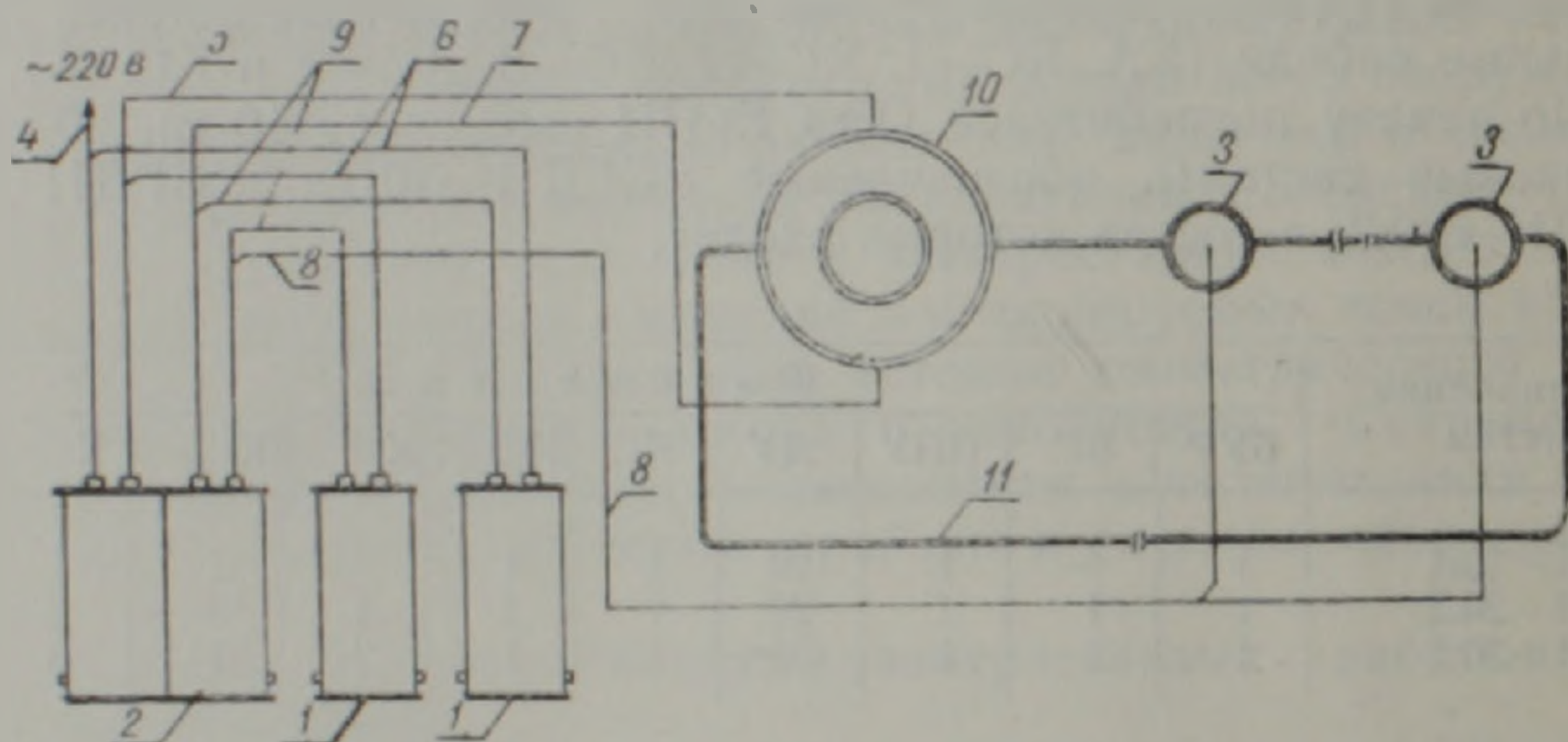


Рис. 2. Монтажная схема системы УСГДН 30Д.

уровня жидкости от нижнего конца электрода на счетчики БУР и БР начинают поступать вырабатываемые ППУ счетные импульсы для каждого датчика до момента опускания бака в нижнее положение. Через некоторое время, после стабилизации уровня жидкости в системе вновь запускается ППУ, и бак начинает перемещаться вверх. При этом счетчики продолжают регистрировать счетные импульсы до момента касания уровня жидкости в каждом датчике уровня с нижним концом его электрода. После завершения контактов во всех датчиках на табло БУР и БР фиксируются суммарные числа импульсов как для опорного датчика ( $N_{0n}$ ), так и для любого  $i$ -го датчика ( $N_i$ ).

Вертикальное смещение любой  $i$ -ой точки относительно опорной, за промежуток времени между исходным ( $l$ ) и  $m$ -ым циклами измерений вычисляется по формуле:

$$\Delta H_{l-0n}^{l-m} = K[(N_l^m - N_{0n}^m) - (N_l^l - N_{0n}^l)], \quad (1)$$

где  $N_l^l$  и  $N_{0n}^l$  — среднее из 2—3 приемов измерений числа импульсов при 1 цикле измерений для  $i$ -ого и опорного датчиков;  $N_l^m$  и  $N_{0n}^m$  — то же при  $m$ -ом цикле измерений;  $K$  — коэффициент, зависящий от геометрических параметров данной системы.



На Ровенской АЭС были смонтированы три системы УСГДН—20Д, каждая из них включала 18 точек наблюдений. На рис. 3, в частности, изображена монтажная схема 1-ой системы, смонтированной на колонках под железобетонными плитами 2-х турбоагрегатов (ТА—1 и ТА—2). По аналогичной схеме были смонтированы 2-ая система для ТА—3 и ТА—4 и 3-я система для ТА—5.

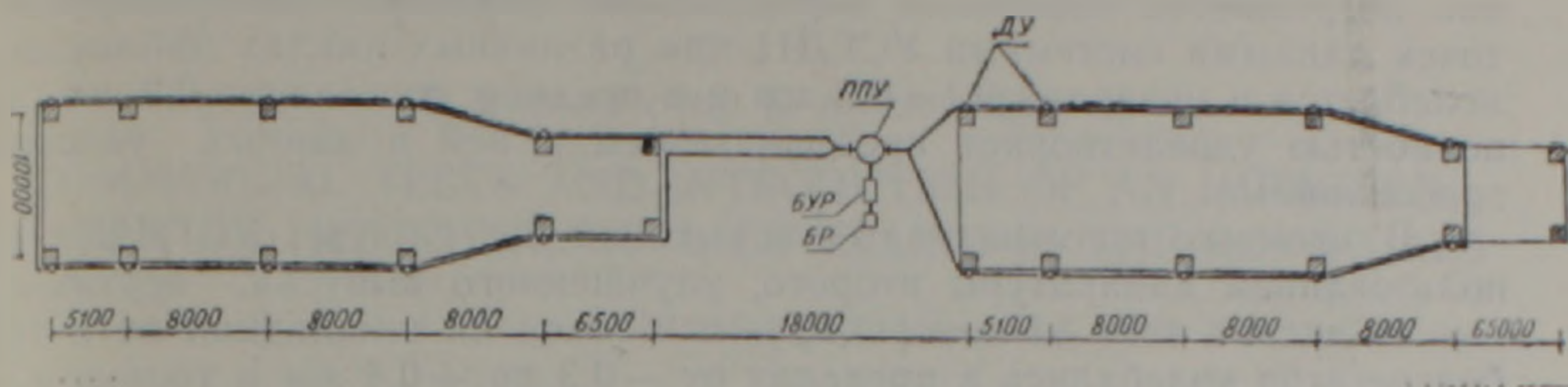


Рис. 3. Монтажная схема 1-ой системы УСГДН, смонтированная на ТА—1, ТА—2 Ровенской АЭС.

Промышленные испытания 1-ой системы УСГДН—20Д были начаты в 1986 году. При этом была использована аппаратура первого выпуска этой системы, где верхняя часть ДУ представляла собой стеклянную трубку, закрепленную к нижней металлической подставке. Достоинство этих датчиков заключается в том, что прозрачность их сосудов позволяет визуально следить за положением уровня жидкости в нем.

До конца 1981 года этой системой были осуществлены 4 цикла наблюдений. Анализом результатов этих наблюдений были выявлены следующие недостатки данной системы:

1. Под воздействием вибрации всей плиты под турбоагрегатами, в том числе площадок, на которые укреплялись датчики, стеклянные их трубки не выдерживали. На стыке 4-х стеклянных трубок и их подставке образовывались трещины и в дальнейшем происходила утечка жидкости из этих сосудов. Замена этих датчиков новыми требует повторной заливки жидкости во всей системе и, что главное, при этом результаты предыдущих циклов измерений аннулируются.

2. Электроды в датчике первого выпуска представляют цельные стержни диаметром 2,5 мм с отточенным под углом  $60^\circ$  нижним концом. В процессе испытаний было установлено, что в некоторых датчиках при опускании уровня жидкости в них отрыв от жидкости нижнего конца электрода происходит не мгновенно, а затягивается во времени, и показания счетчика числа импульсов становятся расплывчатыми. Кроме того, разброс величины  $\Delta N = N_i - N_{0i}$  для некоторых датчиков в различных приемах в данном цикле измерений доходит до 40 единиц, чему соответствует 0,8 мм, что явно выходит за пределы точности измерений.

3. Значительные колебания значений  $\Delta N$ , помимо причин, указанных выше, обусловлены также и отсутствием усилителей во вводных устройствах БУР.

Учитывая вышесказанное, ОЭЗ ЕРПИ перешел к изготовлению УСГДН второго выпуска. Отличительными особенностями аппаратуры второго выпуска от первого являются:

- а) датчики уровня полностью изготовлены из металла;
- б) стержни электродов датчиков снизу имеют игольчатые накопечники, а их держатели сверху более надежны и они защищены крышкой;
- в) в электронную схему БУР дополнительно включены усилители во входных устройствах.

С начала 1987 года на Ровенской АЭС все три системы УСГДН были смонтированы с использованием аппаратуры второго выпуска.



До конца 1988 года 1-ой, 2-ой и 3-ей системами были произведены соответственно 7, 8 и 3 цикла наблюдений, с участием представителей технического персонала АЭС.

Анализ результатов промышленных испытаний этих трех систем УСГДН в 1987—1988 г.г. в условиях Ровенской АЭС при постоянно действующей вибрации показал, что аппаратура второго выпуска действует безотказно и надежно. Фактическая средняя квадратическая погрешность измерения вертикальных смещений контролируемых точек данными системами УСГДН при различных циклах наблюдений колеблется в пределах 0,1—0,3 мм и в среднем составляет 0,2 мм, что полностью удовлетворяет предъявляемым к ней в данных условиях требованиям.

В процессе промышленных испытаний 3-х систем УСГДН с использованием аппаратуры второго, улучшенного выпуска, вертикальные смещения всех 54 контролируемых точек на площадках пяти турбоагрегатов колебались в пределах от  $-0,3$  до  $+0,4$  мм и только в 3-х точках, где вибрация сравнительно большая, вертикальные перемещения составили 0,7—0,9 мм.

Следовательно, в период указанных наблюдений площадки, на которые смонтированы турбоагрегаты, не подвергались опасным высотным деформациям.

За указанный период технический персонал Ровенской АЭС полностью освоил правила обращения и использования систем УСГДН, а также методику обработки результатов измерений.

С начала 1989 года все три системы УСГДН внедрены на данной АЭС и их использование осуществляется силами технического персонала АЭС. В заключении ПТО и ПЭО Ровенской АЭС по данной работе отмечается, что внедрение систем УСГДН на данной АЭС позволяет принять своевременные меры по предотвращению недопустимой вертикальной деформации площадок турбоагрегатов, которая может привести к внеплановым остановкам энергоблоков и, следовательно, к экономическому ущербу от недовыработки электроэнергии. В приведенных ими же расчетах установлено, что ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения указанных систем УСГДН на Ровенской АЭС составит около 180 тыс. рублей.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод о том, что в ЕрПИ осуществлен комплекс работ, начиная от теоретических исследований по разработке новых эффективных систем для высокоточного измерения вертикальных смещений контролируемых точек фундаментов сооружения и оборудования и кончая освоением выпуска этих систем и успешным внедрением их на некоторых объектах страны.

Имеется полное основание для рекомендации к широкому внедрению этой системы на соответствующих объектах страны.

Ереванский политехнический институт

Поступила 12.VII.1989

Բ. Բ. ՍԻՆԱՆՅԱՆ, Յ. Ա. ՓԱՐԿՅԱՆ

ՋՐԱԴԻՆԱՄԻԿ ՀԱՐԹԱԶԱՓՄԱՆ ԿԱՏԱՐԵԼԱԳՈՐԾՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ  
ԱՐԴՅՈՒՆԱՔԵՐԱԿԱՆ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄՆԵՐԸ ԵՎ ՆԵՐԴՐՈՒՄԸ  
ԹՈՎԱՆՅԻ ԱԷԿ-ՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հողվածում բերված են նրանի պոլիտեխնիկական ինստիտուտում մշակված և արտադրվող ջրադինամիկ հարթափման կատարելագործված համակարգի վերաբերյալ հիմնական տեղեկությունները և տեխնիկական ընդհանուրները: Այդ համակարգը կիրառվում է կառույցների հիմքերի և սարքավորման վրա



գտնվող վերահսկվող կետերի բարձրությունների դիստանցիոն բարձր ճշտությամբ չափումների համար:

Նկարագրված են Ռովնոյի ԱԷԿ-ում երեք նման համակարգերի արդյունաբերական փորձարկումների և ներդրման արդյունքները, որի շնորհիվ տարեկան տնտեսական օգուտը կազմում է 180 հազար ուրլի: Իզրակացություն է արված երկրի տարրեր օբյեկտներում այդպիսի համակարգերի տեղադրման անհրաժեշտության վերաբերյալ:

R. R. SINANIAN, F. A. PALIKIAN

## COMMERCIAL TESTS AND INTRODUCTION OF AN IMPROVED SYSTEM OF HYDRODYNAMICAL LEVELLING IN THE ROVNO AES

### A b s t r a c t

The general information and technical characteristics of developed and produced in the Yerevan polytechnical institute the Improved system of hydrodynamical levelling for remoted and high-precise measurement of building foundations and installations controlled points height positions are brought in this paper.

The results of commercial tests and introduction of three of such systems in the Rovno AES are described.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мовсисян Р. А., Таплашвили И. А., Варданян В. Н. Способ гидродинамического нивелирования—Ас 480906 (СССР). — Оpubл. в Б. И., 1975, № 30.
2. Мовсисян Р. А., Бархударян А. М. Теоретические основы гидродинамического нивелирования. — Изв. ВУЗ-ов, Геодезия и аэрофотосъемка. 1976, № 1, с. 9—14.
3. Мовсисян Р. А., Погосян А. Г., Бабаян Г. А., Джентереджян А. Г. Система гидродинамического нивелирования. А. с. 1106989 (СССР). Оpubл. в Б. И.,—1964, № 29.
4. Синанян Р. Р., Бабаян Г. А., Таплашвили И. А. Экспериментальные исследования системы гидродинамического нивелирования с полным циклом измерений. В кн.: Проблемы инженерной геодезии. Ереван: 1983, с. 34—41.
5. Трозян К. Р. Определение превышения точек с помощью гидродинамического нивелирования. — Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1980, XXXIII, № 6, с. 96—102.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XLII, № 5, 69—74

УДК: 624. 131

### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

С. Р. МЕСЧЯН, Т. Л. ПЕТРОСЯН

## ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОГАРИФМИЧЕСКОГО ДЕКРЕМЕНТА КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ КОМПРЕССИИ

Под внутренним трением [7] в не вполне упругих материалах понимают необратимые в энергетическом отношении процессы, сопровождающие циклическое деформирование тел. Необратимость этих процессов характеризуется тем, что часть энергии деформации за каждый цикл преобразуется в тепло и, в конечном счете, рассеивается.

Потребление определенной энергии на поддержание установившихся колебаний тела (как известно, для этого при идеально упругом теле не требуется потребления энергии), повышение его температуры и отдача тепла в окружающую среду, образование петли гистерезиса



գտնվող վերահսկվող կետերի բարձրությունների դիստանցիոն բարձր ճշտությամբ չափումների համար:

Նկարագրված են Ռովնոյի ԱԷԿ-ում երեք նման համակարգերի արդյունաբերական փորձարկումների և ներդրման արդյունքները, որի շնորհիվ տարեկան տնտեսական օգուտը կազմում է 180 հազար ուրլի: Իզրակացություն է արված երկրի տարրեր օբյեկտներում այդպիսի համակարգերի տեղադրման անհրաժեշտության վերաբերյալ:

R. R. SINANIAN, F. A. PALIKIAN

## COMMERCIAL TESTS AND INTRODUCTION OF AN IMPROVED SYSTEM OF HYDRODYNAMICAL LEVELLING IN THE ROVNO AES

### A b s t r a c t

The general information and technical characteristics of developed and produced in the Yerevan polytechnical institute the Improved system of hydrodynamical levelling for remoted and high-precise measurement of building foundations and installations controlled points height positions are brought in this paper.

The results of commercial tests and introduction of three of such systems in the Rovno AES are described.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Мовсисян Р. А., Таплашвили И. А., Варданян В. Н. Способ гидродинамического нивелирования—Ас 480906 (СССР). — Оpubл. в Б. И., 1975, № 30.
2. Мовсисян Р. А., Бархударян А. М. Теоретические основы гидродинамического нивелирования. — Изв. ВУЗ-ов, Геодезия и аэрофотосъемка. 1976, № 1, с. 9—14.
3. Мовсисян Р. А., Погосян А. Г., Бабаян Г. А., Джентереджян А. Г. Система гидродинамического нивелирования. А. с. 1106989 (СССР). Оpubл. в Б. И.,—1964, № 29.
4. Синанян Р. Р., Бабаян Г. А., Таплашвили И. А. Экспериментальные исследования системы гидродинамического нивелирования с полным циклом измерений. В кн.: Проблемы инженерной геодезии. Ереван: 1983, с. 34—41.
5. Трозян К. Р. Определение превышения точек с помощью гидродинамического нивелирования. — Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1980, XXXIII, № 6, с. 96—102.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XLII, № 5, 69—74

УДК: 624. 131

### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

С. Р. МЕСЧЯН, Т. Л. ПЕТРОСЯН

## ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОГАРИФМИЧЕСКОГО ДЕКРЕМЕНТА КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ КОМПРЕССИИ

Под внутренним трением [7] в не вполне упругих материалах понимают необратимые в энергетическом отношении процессы, сопровождающие циклическое деформирование тел. Необратимость этих процессов характеризуется тем, что часть энергии деформации за каждый цикл преобразуется в тепло и, в конечном счете, рассеивается.

Потребление определенной энергии на поддержание установившихся колебаний тела (как известно, для этого при идеально упругом теле не требуется потребления энергии), повышение его температуры и отдача тепла в окружающую среду, образование петли гистерезиса



резиса, представляющей собой нелинейную неоднозначную зависимость между напряжением и деформацией за цикл, ограничение роста амплитуды резонансных колебаний тела при действии возмущающей силы постоянной амплитуды, затухание свободных колебаний тела (уменьшение амплитуды колебаний со временем), затухание плоской волны напряжения (уменьшение ее амплитуды с удалением от места возбуждения), сдвиг фаз действующей на тело внешней циклической силы и его циклической деформации представляют различные формы внешнего проявления внутреннего трения в материале при циклических деформациях.

Для разных видов внешнего проявления внутреннего трения за количественную его меру приняты разные величины. Однако удобно иметь основную количественную меру и через нее выражать принятые эквивалентные величины. Следовательно, возникает необходимость исследования конкретных связей между этими эквивалентными величинами.

В многочисленных теоретических и экспериментальных работах [5, 1, 2], посвященных исследованию различных явлений (внутреннее рассеяние механической энергии, затухание собственных механических колебаний, последствие и т. д.), которые связаны с упругими несовершенствами реальных тел, в качестве основного соотношения принята формула (1), которая определяется из энергетических соображений и выражает связь между следующими двумя основными характеристиками отклонений механических свойств материалов от идеальной упругости в области обратимых деформаций: логарифмическим декрементом затухания амплитуды колебаний  $\delta$  и относительным рассеянием энергии за один цикл деформирования  $\Delta w/w$  [1]

$$\psi = 2\delta = \frac{\Delta w}{w}, \quad (1)$$

где  $\Delta w$  — площадь петли гистерезиса, характеризующая рассеяние материалов энергии за один цикл деформирования,  $w$  — полная энергия деформации.

Работы Н. Н. Давиденкова (1938) положили начало новому направлению в реологии при периодическом нагружении не вполне упругих твердых тел. Согласно Н. Н. Давиденкова, связь между напряжениями и деформациями, описывающая петлю гистерезиса, можно представить в виде

$$\bar{\sigma} = E \left\{ \epsilon \pm \frac{\nu}{n} [(\epsilon_0 \pm \epsilon)^n - 2^{n-1} \epsilon_0^n] \right\}, \quad (2)$$

где  $E$  — модуль упругости материала,  $\nu$  и  $n$  — геометрические параметры петли гистерезиса, которые определяются для каждого материала экспериментально. По формуле (2) контур петли гистерезиса ограничен дугами параболы, геометрические параметры которых одинаковы, и восходящей и нисходящей ветвями. Используя зависимость (2), получена формула, выражающая связь между логарифмическим декрементом  $\delta$  и геометрическими характеристиками  $\nu$  и  $n$  петли гистерезиса [4].

Грунты, как и другие реальные материалы, не обладают в совершенстве свойствами упругости, и при циклических деформациях зависимость напряжений  $\sigma$  от деформаций  $\epsilon$  для них не является однозначной. Более того, как показали многочисленные проведенные нами опыты на глинистых грунтах, контур петли гистерезиса не ограничен симметричными дугами параболы и, следовательно, связь  $\sigma - \epsilon$  не выражается зависимостью (2).

С целью получения действительных зависимостей  $\sigma - \epsilon$  для глинистых грунтов при одномерном деформировании на участках восходящей и нисходящей ветвей петли гистерезиса и на их основании уста-



новления связи между логарифмическим декрементом затухания  $\delta$  и параметрами  $\nu$  и  $n$ , характеризующими относительное рассеяние энергии  $\Delta w/w$ , выполнена настоящая работа.

Опыты для получения петли гистерезиса проводились на компрессионном приборе М2 [3] с цилиндрическим образцом диаметром  $d = 70$  мм и высотой  $h = 20$  мм. Для изготовления образцов паста, имеющая влажность  $w = 0,35$ , консолидировалась под давлениями  $\sigma_0 = 0,5, 0,7, 1,0$  МПа. После консолидации пасты образцы имели следующие физические параметры: плотности ( $\rho$ ) 2,05, 2,06, 2,07 г/см<sup>3</sup>, влажность ( $w$ ) 0,222, 0,209, 0,218 и коэффициент пористости ( $e$ ) 0,62, 0,58, 0,55. После полной разгрузки и затуханий деформаций декомпресий, образцы подвергались циклической нагрузке и разгрузке со скоростями  $0,05$  МПа  $\times$  1 мин и  $0,05$  МПа  $\times$  15 с до  $\sigma = 0,75 \sigma_0$ . Опытами установлено, что после нескольких циклов нагрузки и разгрузки образцов заканчивается переходный процесс образования замкнутой петли и устанавливаются определенные зависимости напряжения от деформаций на участках восходящей и нисходящей ветвей петли гисте-

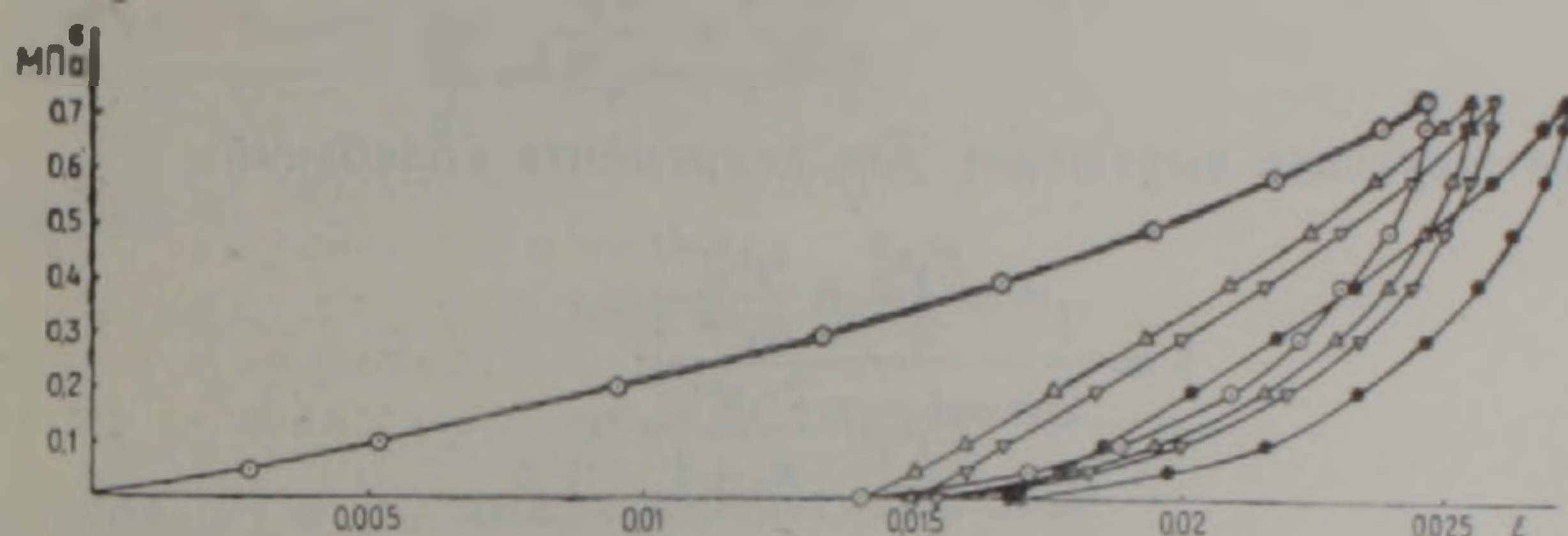


Рис. 1. Процесс образования замкнутой петли гистерезиса грунта при компрессии предварительно уплотненного под давлением  $\sigma_0 = 1,0$  МПа

резиса (рис. 1). (Отметим, что в качестве примера на рисунках приведены диаграммы, полученные для одного состояния грунта ( $\sigma_0 = 1,0$  МПа при одном значении скорости нагружения  $0,05$  МПа  $\times$  1 мин). Для определения этих зависимостей использованы следующие реологические зависимости, полученные непосредственно из гистерезисной петли путем аппроксимации дуг ее контура:

$$\sigma = E_1 \epsilon + \nu_1 \epsilon^{n_1}, \quad (3)$$

$$\sigma = E_2 \epsilon + \nu_2 \epsilon^{n_2}, \quad (4)$$

где  $E_1 = d\sigma/d\epsilon$  при  $\sigma_{\min}$ , а  $E_2 = d\sigma/d\epsilon$  при  $\sigma_{\max}$ .  $\nu_1, \nu_2, n_1, n_2$  — геометрические параметры петли гистерезиса данного грунта. По полученным значениям указанных выше параметров построена петля гистерезиса (рис. 2).

Интегрируя (3) и (4) по ветвям петли, найдем рассеиваемую энергию  $\Delta w$  за цикл деформирования в функции амплитуды деформации  $\epsilon_0$ , измеряемой площадью петли гистерезиса:

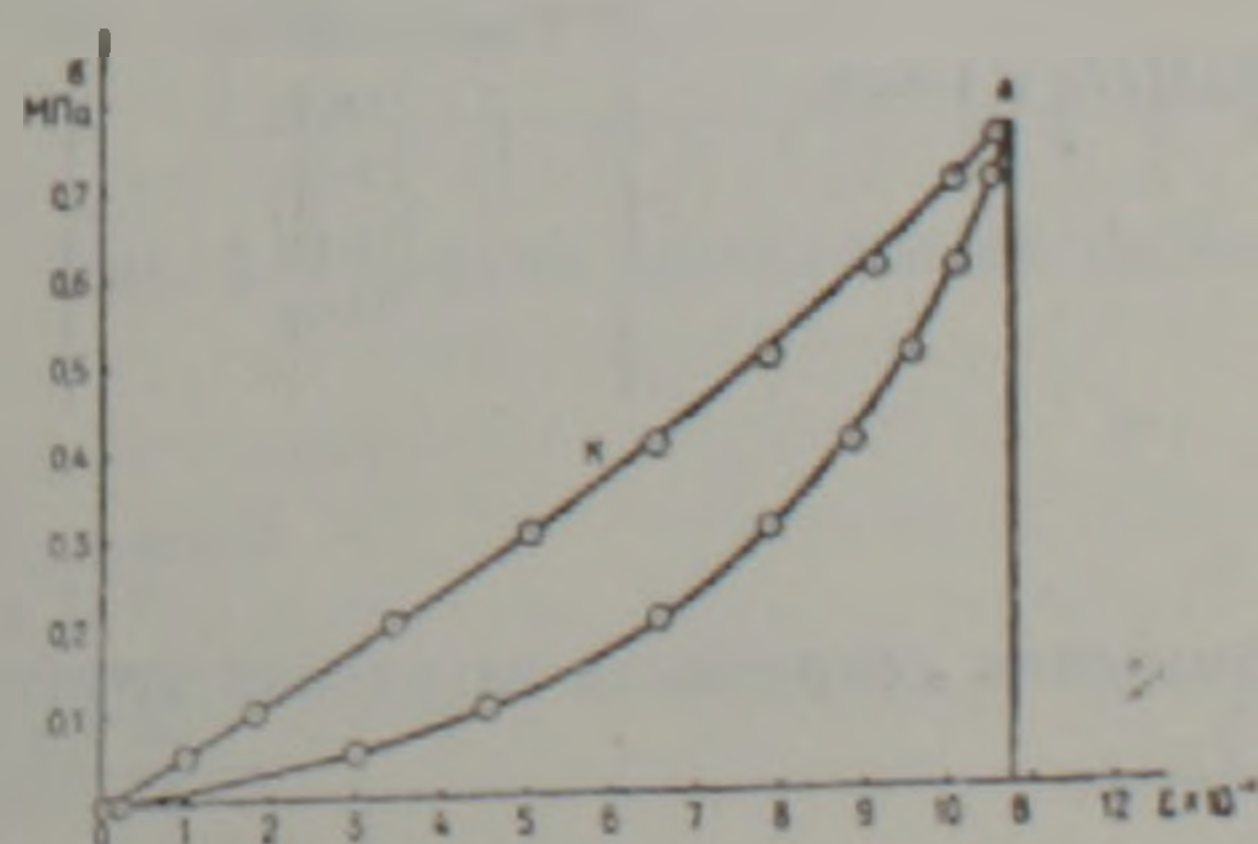


Рис. 2. Замкнутая петля десятого цикла нагрузки-разгрузки грунта при компрессии, предварительно уплотненного под давлением  $\sigma_0 = 1,0$  МПа.



$$\Delta w = \int_0^{\varepsilon_0} \sigma d\varepsilon - \int_0^{\varepsilon_0} \sigma d\varepsilon = \left( \frac{E_1 \varepsilon_0^2}{2} + \frac{\nu_1 \varepsilon_0^{n_1+1}}{n_1+1} \right) - \left( \frac{E_2 \varepsilon_0^2}{2} + \frac{\nu_2 \varepsilon_0^{n_2+1}}{n_2+1} \right).$$

Полагая, что полная энергия  $w$  за цикл деформации измеряется площадью фигуры ОКАВ (рис. 2) [5].

$$w = \int_0^{\varepsilon_0} \sigma d\varepsilon = \frac{E_1 \varepsilon_0^2}{2} + \frac{\nu_1 \varepsilon_0^{n_1+1}}{n_1+1},$$

получаем значение относительного рассеяния энергии за один цикл деформирования

$$\psi = \frac{\Delta w}{w} = 1 - \frac{\frac{E_2 \varepsilon_0^2}{2} + \frac{\nu_2 \varepsilon_0^{n_2+1}}{n_2+1}}{\frac{E_1 \varepsilon_0^2}{2} + \frac{\nu_1 \varepsilon_0^{n_1+1}}{n_1+1}} \tag{5}$$

и соответствующее выражение для декремента колебаний

$$\delta = \frac{1}{2} - \frac{\frac{E_2 \varepsilon_0^2}{2} + \frac{\nu_2 \varepsilon_0^{n_2+1}}{n_2+1}}{E_1 \varepsilon_0 + \frac{2\nu_1 \varepsilon_0^{n_1+1}}{n_1+1}}. \tag{6}$$

В таблице 1 приведены параметры  $E_1, E_2, \nu_1, \nu_2, n_1, n_2$  испытанного грунта при максимальном напряжении  $\sigma = 0,75 \sigma_0$  и при двух режимах нагружения.

Таблица 1

| Параметры, входящие в выражение (6) |                                |                      |                       |                       |
|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Режим нагружения                    | Параметры                      | $\sigma, \text{МПа}$ |                       |                       |
|                                     |                                | 1,0                  | 0,7                   | 0,5                   |
| 0,05 МПа × 15с                      | $E_{1, \text{ср}} \text{ МПа}$ | 60,715               | 44,835                | 41,246                |
|                                     | $E_{2, \text{ср}} \text{ МПа}$ | 33,932               | 18,717                | 20,417                |
|                                     | $\nu_{1, \text{ср}}$           | $4,59 \times 10^3$   | $2,12 \times 10^4$    | $9,72 \times 10^4$    |
|                                     | $\nu_{2, \text{ср}}$           | $7,72 \times 10^9$   | $1,05 \times 10^{11}$ | $3,19 \times 10^{10}$ |
|                                     | $n_{1, \text{ср}}$             | 1,514                | 1,877                 | 2,180                 |
|                                     | $n_{2, \text{ср}}$             | 4,199                | 4,833                 | 4,701                 |
| 0,05 МПа × 1 мин                    | $E_{1, \text{ср}} \text{ МПа}$ | 55,728               | 38,462                | 31,746                |
|                                     | $E_{2, \text{ср}} \text{ МПа}$ | 18,187               | 15,418                | 15,622                |
|                                     | $\nu_{1, \text{ср}}$           | $1,15 \times 10^6$   | $2,61 \times 10^4$    | $6,17 \times 10^4$    |
|                                     | $\nu_{2, \text{ср}}$           | $1,74 \times 10^9$   | $8,04 \times 10^{11}$ | $4,48 \times 10^{10}$ |
|                                     | $n_{1, \text{ср}}$             | 2,677                | 2,050                 | 2,213                 |
|                                     | $n_{2, \text{ср}}$             | 4,244                | 5,490                 | 1,484                 |

Таблица 2

Значения декремента затухания грунта при максимальном напряжении  $\sigma = 0,75 \sigma_0$ .

| Режим нагружения | $\sigma, \text{МПа}$ |       |       |
|------------------|----------------------|-------|-------|
|                  | 1,0                  | 0,7   | 0,5   |
| 0,05 МПа × 15с   | 0,190                | 0,202 | 0,184 |
| 0,05 МПа × 7 мин | 0,189                | 0,212 | 0,181 |



Вычисленные по соотношению (6) декременты затухания при двух режимах нагружения приведены в таблице 2 (приведенные в таблицах 1 и 2 величины определены из десятого цикла нагрузки-разгрузки. Они практически не отличаются от данных, полученных из других замкнутых циклов до десятого).

Из табл. 2 следует, что в рассмотренных нами пределах скорость нагружения практически не влияет на величину декремента затухания. Вопрос влияния уровня нагружения  $\sigma/\sigma_0$  является предметом специального исследования.

Учитывая выражения (3) и (4) в уравнении  $\sigma = f(\epsilon)$  изменение  $d\sigma/d\epsilon$  [1] по ветвям петли гистерезиса принимает вид

$$\frac{d\sigma}{d\epsilon} = E_1 + \nu_1 n_1 \epsilon^{n_1-1}, \quad (7)$$

$$\frac{d\sigma}{d\epsilon} = E_2 + \nu_2 n_2 \epsilon^{n_2-1}. \quad (8)$$

Обозначая

$$\nu_1 n_1 = \beta_1, \quad n_1 - 1 = m_1, \quad (9)$$

$$\nu_2 n_2 = \beta_2, \quad n_2 - 1 = m_2,$$

уравнения (7) и (8) можно переписать в виде

$$\frac{d\sigma}{d\epsilon} = E_1 + \beta_1 \epsilon^{m_1}, \quad (10)$$

$$\frac{d\sigma}{d\epsilon} = E_2 + \beta_2 \epsilon^{m_2}. \quad (11)$$

На рис. 3 представлены графики зависимостей (10) и (11). Отметим, что значение  $d\sigma/d\epsilon$  подсчитывалось как  $\Delta\sigma/\Delta\epsilon$  на ступени приращения напряжений  $\sigma$  так, чтобы на участках ветвей петли можно было определить 8—10 экспериментальных точек [1].

Учитывая (9), выражение для декремента затухания колебаний (6) можно переписать в виде

$$\delta = \frac{1}{2} - \frac{\frac{E_2 \epsilon_0^2}{2} + \frac{\beta_2}{m_2 + 1} \epsilon_0^{m_2 + 2}}{E_1 \epsilon_0^2 + \frac{2\beta_1}{m_1 + 1} \epsilon_0^{m_1 + 2}}. \quad (12)$$

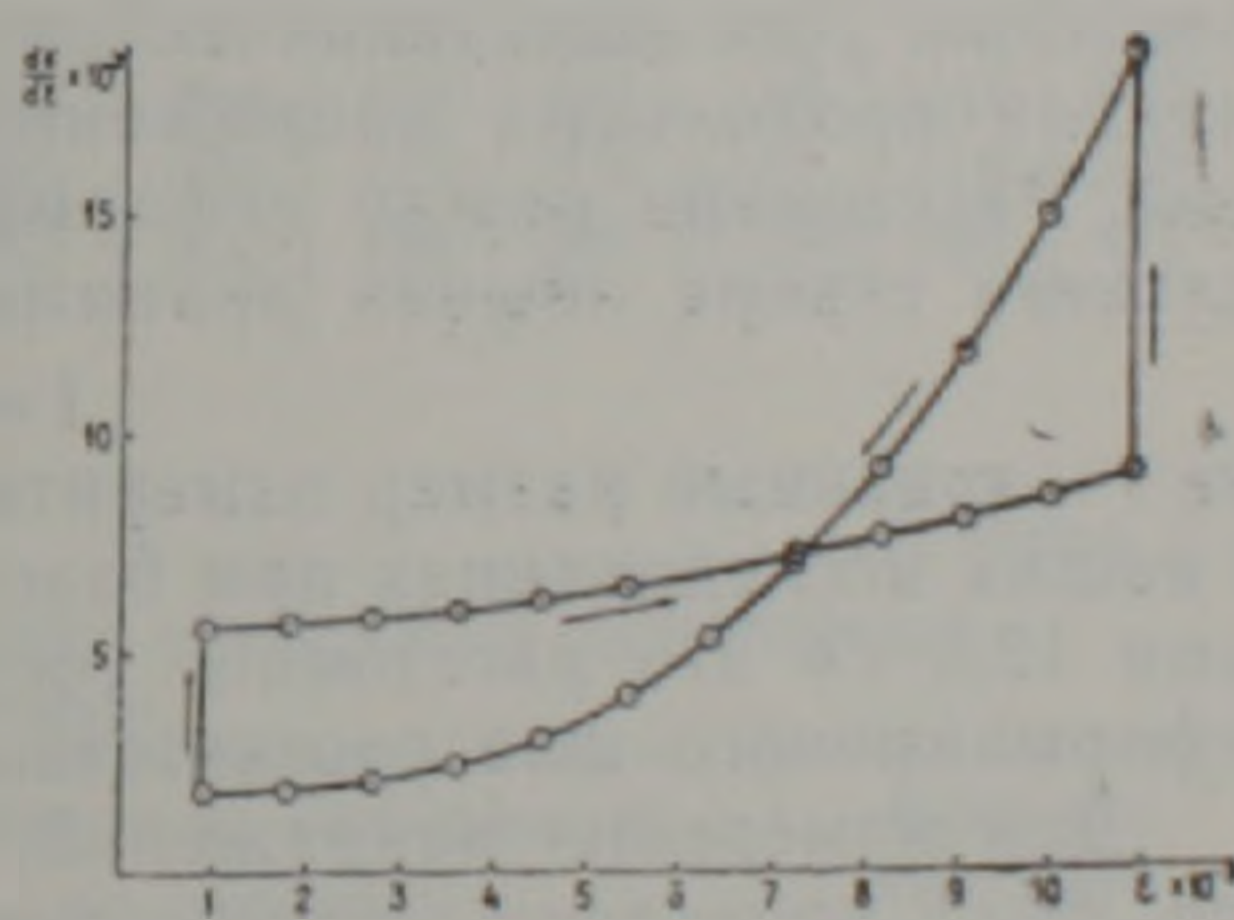


Рис. 3. Графики зависимостей  $d\sigma/d\epsilon$  от  $\epsilon$ .



1. Гурев А. В., Мирошников Э. В. О форме механического гистерезиса и влиянии предварительной пластической деформации на рассеяние энергии. — В кн.: Рассеяние энергии при колебаниях механических систем. М.: Научная думка, 1974, с. 203—203.
2. Карапетян Б. К., Арутюнян С. М. Экспериментальное определение декремента колебаний изгибаемых элементов из легкого железобетона при различном содержании продольной арматуры. — В кн.: Исследования элементов конструкций из бетонов на естественных пористых заполнителях с высокопрочной арматурой. Тр. АрмНИИСа, в. 15. Ереван: Айастан, 1980, с. 29—35.
3. Месчян С. Р. Механические свойства грунтов и лабораторные методы их определения. М.: Недра, 1974, 192 с.
4. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. Киев: Научная думка, 1971.
5. Самченко И. А. Экспериментальное исследование коэффициента поглощения грунтов. Динамика грунтов. Сб. 44, 1961 с. 107—111.
6. Сорокин Е. С. К теории внутреннего трения при колебаниях упругих систем. М.: Госстройиздат, 1960, 131 с.

Известия АН АрмССР. Науки о Земле, 1989, XLII. № 5, 74—77

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК: 624.19

Е. Г. ЗАВРИЯН

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В БЕТОННЫХ ОБДЕЛКАХ ТУННЕЛЕЙ

Разработана методика измерения напряжений в туннельных конструкциях динамометрами с механическим измерителем деформаций.

Наиболее сложной проблемой в процессе исследования напряженного состояния конструкций является переход от измеренных деформаций к напряжениям, вызывающим эти деформации.

Работа обделки происходит в условиях плоского напряженного состояния. Для выделения активного слоя над прибором и исключения влияния продольных напряжений обычно оставляют деформационные швы. Расстояние между деформационными швами в сечении измерительного створа обычно принимается из условия Сен-Венана равным

$$l = 2 \div 3 r, \quad (1)$$

где  $r$  — линейный размер измерительного базиса.

В наших исследованиях при базе измерения деформации между траверсами 12,6 см это расстояние составляло  $3 \times 12,6 \approx 40$  см. Глубина же деформационного шва соответствовала толщине обделки.

Для измерения напряжений, вызывающих деформации динамометров, была проведена специальная тарировка на крупномасштабной бетонной модели (рис. 1).

Модель изготовлялась из тяжелого бетона размерами  $140 \times 140 \times 20$  см. В процессе бетонирования устанавливался прибор — траверсный динамометр.

По результатам испытаний контрольных бетонных кубов и призм получены следующие характеристики бетона модели:

Призменная прочность 21 МПа, кубиковая прочность 26 МПа, модуль деформации 26 000 МПа, бетон по прочности на сжатие класса Б—20.

Модель была испытана под прецизионным пресом ИПС—1000. При этом нагружение производилось с увеличением осевого усилия ступенями по 10 тс в диапазоне нагрузок от 0 до 90 тс с выдержкой осевого усилия на каждой ступени до стабилизации деформации модели во времени.



1. Гурев А. В., Мирошников Э. В. О форме механического гистерезиса и влиянии предварительной пластической деформации на рассеяние энергии. — В кн.: Рассеяние энергии при колебаниях механических систем. М.: Научная думка, 1974, с. 203—203.
2. Карапетян Б. К., Арутюнян С. М. Экспериментальное определение декремента колебаний изгибаемых элементов из легкого железобетона при различном содержании продольной арматуры. — В кн.: Исследования элементов конструкций из бетонов на естественных пористых заполнителях с высокопрочной арматурой. Тр. АрмНИИСа, в. 15. Ереван: Айастан, 1980, с. 29—35.
3. Месчян С. Р. Механические свойства грунтов и лабораторные методы их определения. М.: Недра, 1974, 192 с.
4. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. Киев: Научная думка, 1971.
5. Самченко И. А. Экспериментальное исследование коэффициента поглощения грунтов. Динамика грунтов. Сб. 44, 1961 с. 107—111.
6. Сорокин Е. С. К теории внутреннего трения при колебаниях упругих систем. М.: Госстройиздат, 1960, 131 с.

Известия АН АрмССР. Науки о Земле, 1989, XLII. № 5, 74—77

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК: 624.19

Е. Г. ЗАВРИЯН

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В БЕТОННЫХ ОБДЕЛКАХ ТУННЕЛЕЙ

Разработана методика измерения напряжений в туннельных конструкциях динамометрами с механическим измерителем деформаций.

Наиболее сложной проблемой в процессе исследования напряженного состояния конструкций является переход от измеренных деформаций к напряжениям, вызывающим эти деформации.

Работа обделки происходит в условиях плоского напряженного состояния. Для выделения активного слоя над прибором и исключения влияния продольных напряжений обычно оставляют деформационные швы. Расстояние между деформационными швами в сечении измерительного створа обычно принимается из условия Сен-Венана равным

$$l = 2 \div 3 r, \quad (1)$$

где  $r$  — линейный размер измерительного базиса.

В наших исследованиях при базе измерения деформации между траверсами 12,6 см это расстояние составляло  $3 \times 12,6 \approx 40$  см. Глубина же деформационного шва соответствовала толщине обделки.

Для измерения напряжений, вызывающих деформации динамометров, была проведена специальная тарировка на крупномасштабной бетонной модели (рис. 1).

Модель изготовлялась из тяжелого бетона размерами  $140 \times 140 \times 20$  см. В процессе бетонирования устанавливался прибор — траверсный динамометр.

По результатам испытаний контрольных бетонных кубов и призм получены следующие характеристики бетона модели:

Призменная прочность 21 МПа, кубиковая прочность 26 МПа, модуль деформации 26 000 МПа, бетон по прочности на сжатие класса Б—20.

Модель была испытана под прецизионным пресом ИПС—1000. При этом нагружение производилось с увеличением осевого усилия ступенями по 10 тс в диапазоне нагрузок от 0 до 90 тс с выдержкой осевого усилия на каждой ступени до стабилизации деформации модели во времени.



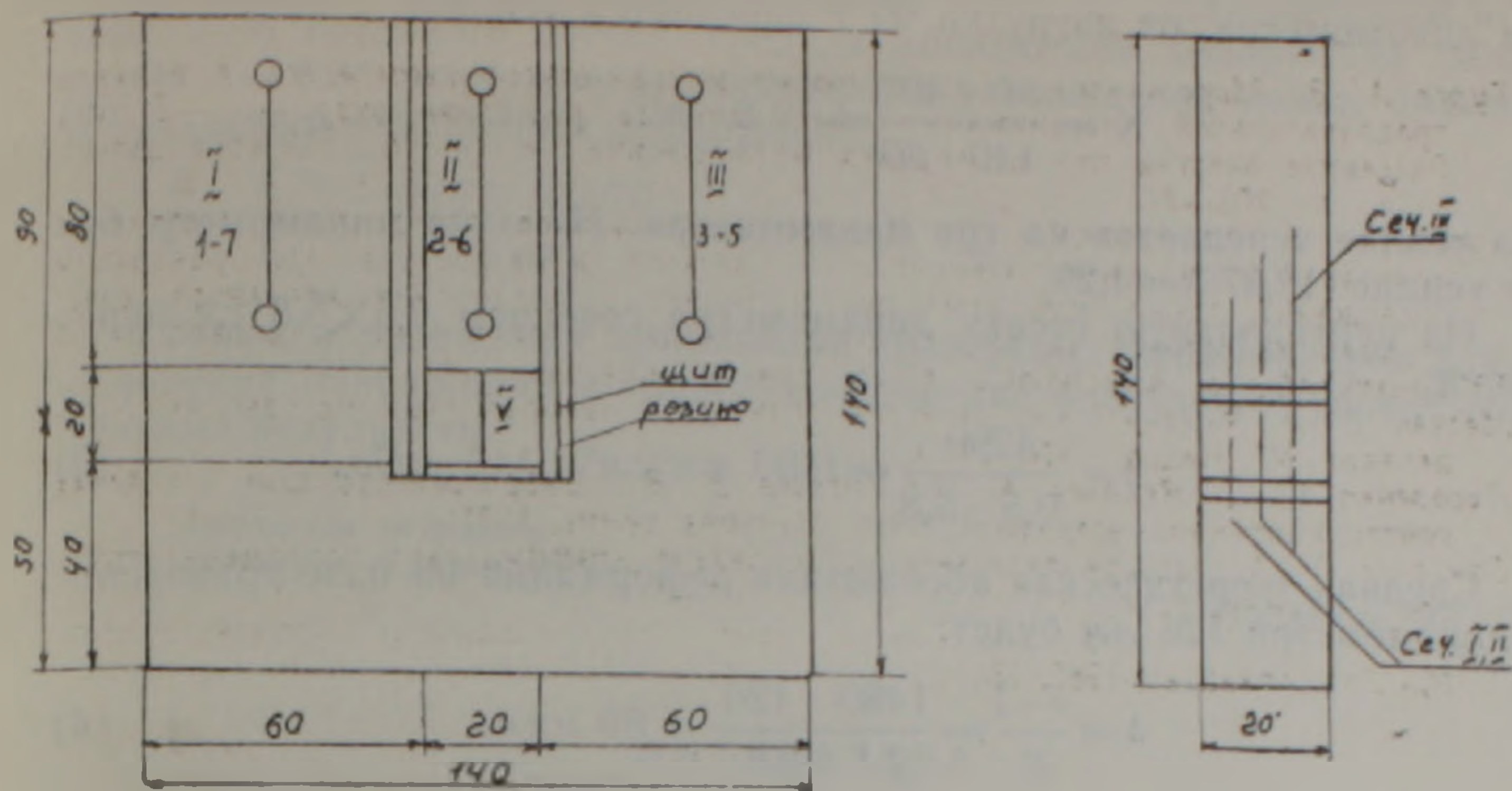


Рис. 1. Крупномасштабная бетонная модель. I, II, III—деформометры с базой 60 см  
V—траверсный динамометр. 1—7, 2—6, 3—5—створы измерений

Таблица 1

Данные измерений деформаций крупномасштабной модели по траверсным динамометрам

| Нагрузка<br>на прес-<br>се, тс | Напря-<br>жение в<br>модели<br>кг/см <sup>2</sup> | Траверсный динамометр |     |                |     |                |    |                |     |                |      |                |     |
|--------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------|-----|----------------|-----|----------------|----|----------------|-----|----------------|------|----------------|-----|
|                                |                                                   | Сечение I             |     |                |     | Сечение II     |    |                |     | Сечение III    |      |                |     |
|                                |                                                   | C <sub>1</sub>        |     | C <sub>2</sub> |     | C <sub>3</sub> |    | C <sub>4</sub> |     | C <sub>5</sub> |      | C <sub>6</sub> |     |
| 0                              | 0                                                 | 545                   | 0   | 490            | 0   | 455            | 0  | 316            | 0   | 431            | 0    | 377            | 0   |
| 10                             | 3,57                                              | 550                   | 5   | 530            | 10  | 469            | 14 | 362            | 46  | 435            | 4    | 455            | 78  |
| 20                             | 7,14                                              | 543                   | -2  | 529            | 39  | 472            | 17 | 370            | 54  | 430            | -1   | 470            | 93  |
| 30                             | 10,7                                              | 541                   | -4  | 574            | 84  | 478            | 23 | 387            | 71  | 424            | -7   | 505            | 128 |
| 40                             | 14,2                                              | 533                   | -12 | 606            | 116 | 481            | 26 | 407            | 91  | 418            | -13  | 538            | 161 |
| 50                             | 17,8                                              | 524                   | -16 | 632            | 142 | 489            | 34 | 426            | 110 | 410            | -21  | 575            | 198 |
| 60                             | 21,4                                              | 515                   | -30 | 670            | 180 | 494            | 39 | 445            | 129 | 402            | -29  | 615            | 238 |
| 70                             | 25                                                | 508                   | -37 | 702            | 212 | 494            | 39 | 468            | 152 | 388            | 43   | 664            | 287 |
| 80                             | 28,4                                              | 483                   | -62 | 753            | 263 | 500            | 45 | 494            | 178 | 370            | 61   | 719            | 335 |
| 90                             | 31,2                                              | 472                   | -73 | 785            | 295 | 498            | 43 | 515            | 199 | 336            | -105 | 788            | 401 |

Таблица 2

Абсолютные деформации в мкм по показаниям траверсного динамометра при испытании модели

| Нагрузка<br>тс | Показания мессур<br>по сечениям |     |     | Абсолютные деформации<br>по сечениям |    |     | Среднее<br>значение<br>абсолютной<br>деформации |
|----------------|---------------------------------|-----|-----|--------------------------------------|----|-----|-------------------------------------------------|
|                | I                               | II  | III | I                                    | II | III |                                                 |
| 10             | 22                              | 30  | 41  | 0                                    | 0  | 0   | 0                                               |
| 30             | 40                              | 47  | 60  | 18                                   | 17 | 19  | 18                                              |
| 40             | 52                              | 59  | 74  | 20                                   | 28 | 33  | 30                                              |
| 60             | 75                              | 84  | 104 | 53                                   | 54 | 63  | 56                                              |
| 80             | 100                             | 111 | 137 | 78                                   | 81 | 96  | 85                                              |
| 90             | 111                             | 121 | 148 | 89                                   | 91 | 107 | 95                                              |

Результаты испытаний модели приведены в таблице 1. Далее про-  
веден подсчет деформаций по сечениям и определены средние значе-  
ния абсолютных деформаций (табл. 2).

Для оценки надежности эксперимента и достоверности определен-  
ных значений измеренных деформаций по сечениям был проведен тео-  
ретический расчет деформации модели при нагружении в 90 тс.



На бетонный столб сечением  $20 \times 20$  см, в котором расположены три динамометра, от нагрузки 90 т передается усилие:

$$N = \frac{90 \cdot 400}{140 \cdot 20} = 12,87 \text{ т.} \quad (2)$$

Это усилие передается на три динамометра. На один динамометр будет усилие:  $12,87:3=4,29$ .

На вертикальную стенку динамометра сечением  $0,5 \times 5,8$  см передается:

$$\sigma = \frac{4290}{0,5 \cdot 5,8} = 1480 \text{ кгс/см}^2 \approx 145 \text{ МПа.} \quad (3)$$

Средняя теоретическая абсолютная деформация на базе траверсного динамометра 126 мм будет:

$$\Delta = \frac{\sigma \cdot l}{E} = \frac{1480 \cdot 126}{2,1 \cdot 10^6} = 89 \text{ мкм.} \quad (4)$$

Средняя же опытная величина деформации при нагрузке 90 т равна 95 мкм.

Расхождение между теоретическими и экспериментальными значениями 6,8%.

Таблица 3

Абсолютные деформации бетона по показателям деформометров

| Нагрузка<br>т с | Разность показаний мессуры<br>по створам сечения |     |     | Абсолютные деформации по<br>створам сечения $10^{-2}$ мм |     |     | Среднее<br>значение<br>абсолютной<br>деформации<br>$10^{-2}$ мм |
|-----------------|--------------------------------------------------|-----|-----|----------------------------------------------------------|-----|-----|-----------------------------------------------------------------|
|                 | I                                                | II  | III | I                                                        | II  | III |                                                                 |
|                 | 1—7                                              | 2—6 | 3—5 | 1—7                                                      | 2—6 | 3—5 |                                                                 |
| 1               | 2                                                | 3   | 4   | 5                                                        | 6   | 7   | 8                                                               |
| 10              | —4                                               | —2  | 0   | 0                                                        | 0   | 0   | 0                                                               |
| 20              | —6                                               | —1  | +2  | 2                                                        | 1   | 2   | 1,7                                                             |
| 40              | —6                                               | —1  | 3   | 2                                                        | 1   | 3   | 2                                                               |
| 60              | —7                                               | 0   | 5   | 3                                                        | 2   | 5   | 3                                                               |
| 80              | —14                                              | 3   | 7   | 10                                                       | 5   | 7   | 7,3                                                             |
| 90              | —14                                              | 3   | 7   | 10                                                       | 5   | 7   | 7,3                                                             |

Параллельно с измерением деформаций траверсным динамометром определялись деформации в бетонной модели деформометром на базе 600 мм с ценой деления мессуры 0,01 мм.

С этой целью после установки модели под пресс до начала испытаний в ней были установлены парные металлические репера на расстоянии 600 мм.

Результаты измерений деформаций с помощью деформометра приведены в таблице 3.

Усилие согласно формуле (2), передаваемое на бетонный отсек сечением  $20 \times 20$  см, равно 12,8 тс.

Среднее сжимающее напряжение в бетоне при этом усилии будет равно:

$$\sigma_6 = \frac{P_1}{F_{отс}} = \frac{12800}{20 \cdot 20} = 32 \text{ кгс/см}^2 \approx 3,2 \text{ МПа.} \quad (5)$$

Расчетное значение абсолютной деформации в бетонном отсеке модели на базе деформометра  $l=600$  мм, модуль деформации  $E=260000$  кгс/см<sup>2</sup> и 32 кгс/см<sup>2</sup> составит:

$$\Delta = \frac{\sigma_6 \cdot l}{E_6} = \frac{32 \cdot 600}{260000} = 0,073 \text{ мм.} \quad (6)$$



Учитывая, что по показаниям деформометра, установленного в створе 2—6 бетонного отсека, средняя абсолютная деформация бетона равна  $\Delta=0,07$  мм (табл. 3), определено расхождение между опытным и расчетным значениями деформаций:

$$\frac{0,073 - 0,070}{0,073} \cdot 100 \% \approx 4 \% . \quad (7)$$

Таким образом, при применении траверсных динамометров для определения напряжений в тоннельной обделке получаются удовлетворительные результаты.

Армянское отделение  
института «Гидропроект»

Поступила 8 VI.1988.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Завриян Е. Г. Исследование работы тоннельных обделок на участках со сложными геологическими условиями — Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1986, № 2.