

V. MAASIK, N. LUMP, A. PURO

## LOODETEST PÕHJUSTATUD RASKUSJÕU VARIATSIOONIDEST EESTIS

Artiklis esitatakse Tallinnas kuus kuud kestnud raskusjõu ööpäevaste variatsioonide mõõtmiste tulemused, peatatakse mõõtmiste meetodil ja interpreteeritakse tulemusi. Vaatlusmaterjal töötati läbi Pertsevi meetodil elektronarvutil «Minsk-22». Harmoonilise analüüsiga eraldati 5 põhilainet —  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $K_1$  ja  $O_1$ .

Mõõtmiskoh. Raskusjõu variatsioone mõõdeti gravimeetriaajas, mis asub Tallinnas Toomkooli tn. 9, Tallinna Hüdro meteoroloogia Observatooriumi keldrikorrusel, keskaegses võlitud laega kasematis. Samas ruumis ja samal sambal olid 1930. aastal gravimeetrilisi mõõtmisi teostanud H. Schmehl ja E. Andersen [1, 2]. Sambale seoti ka Eesti territooriumil 1939/40. aastal läbiviidud gravimeetrilised mõõtmised. Sammast on kasutatud seega ligi 35 aastat ning käesolevate mõõtmiste ajaks oli ta hästi stabiliseerunud. Sambaruum asub eemal linna liiklusmagistraalidest ja tehastest. Lähima häirijana võiks arvesse tulla ca 0,5 km kaugusel asuv raudteejaam, kus rongide liiklusest tekitatud vibratsioon võiks kanduda sambale. Midagi taolist aga ei esinenud tänu sellele, et sammast asub paasaluspõhjal, raudtee aga moreenasetel, mille all puuduvad aluspõhja karbonaatsed kivimid.

Gravimeetrilise jaama põhiplaan, millel on märgitud ka sammaste asukohad, on esitatud joonisel 1.

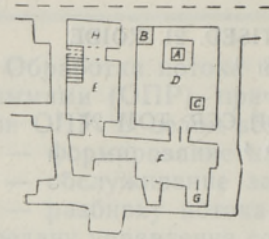
Sambaruumi soojendati nelja 0,6-kilovatise elektriradiaatoriga, mida reguleerisid elavhõbe-kontakttermomeetrid, hoides temperatuuri ( $T$ ) 22,0 °C piires. Kontakttermomeetrite täpsus oli  $\pm 0,005^\circ$ . Temperatuur kõikus kogu ruumis  $\pm 0,2^\circ$ . Niiskus püsis keskmiselt 60% piires [3].

Sambaruumi kütmise vajadus selgus gravimeetriaajama temperatuuri- ja niiskussrežiimi eelnenud süstemaatilises uurimises, mille tulemusena sedastati, et sambaruumi temperatuur sõltub välistemperatuurist ja muutub aasta jooksul 4–10° piires. Maksimaalne ööpäevane temperatuuri variatsioon oli kuni 0,5°. Peale õhu ventileerimise lõpetamist tõusis niiskus kiiresti 100%-ni ning niisketel sügispäevadel kattusid ruumide seinad veega. Ainult talvisel külmaperioodil langes niiskus 60%-ni.

Aparatuur. Raskusjõu variatsiooni mõõdeti «Askania» tehase gravimeetriga Gs-11 № 572088 (147) mille lugemistäpsus on  $\pm 0,01$  mgali. Tingituna gravimeetri mõõtesüsteemi elastsetest järelmõjudest on ööpäevane nullpunkti nihkumine 0,1 mgali (joon. 2) [4]. Gravimeetri näidud fikseeriti firma Bruno Lange spetsiaalsel registreerijal № 469, mis koosneb galvanomeetrist ja järelkirjutajast.

Kasutatades varem toimunud raskusjõu variatsioonide ühekuuliste mõõtmiste kogemusi, täiustati mõõtmismetoodikat. Kuuekuulise seeria kestel toideti gravimeetri fotoelemendi valgustuslambi kahekordselt stabiliseeritud võrguvooluga, kusjuures teistkordsel stabiliseerimisel alaldati pinge 6,3 voldile. Fotoelemendi pinge hoiti konstantne, täpsusega  $\pm 0,01$  V.





Joon. 1. Gravimeetria jaama põhiplaan.

A — gravimeetri Gs-11 samm; B — järelkirjutaja samm; C — varusamm; D — gravimeetri ruum; E — akumulaatorite ruum; F ja H — eesruumid; G — ventilaatorite ruum.

Raskusjõu kiirenduste vahed Eesti gravimeetrilise baasi sammaste vahel on järgmised (mgali):

$$\begin{aligned}\Delta g_{s_1-s_3} &= 24,70 (\pm 0,12) \\ \Delta g_{s_1-s_2} &= 13,47 (\pm 0,12) \\ \Delta g_{s_2-s_3} &= 11,23 (\pm 0,09).\end{aligned}$$

Need sammaste raskusjõu kiirenduste vahed mõõdeti NSVL TA Maafüüsika Instituudi gravimeetritega ГАЭ-2. Endist Eesti gravimeetrilist baasi mõõdeti 10 korda ka gravimeetriga Gs-11, saades järgmised tulemused (mgali):

$$\begin{aligned}\Delta g_{s_1-s_3} &= 24,95 (\pm 0,02) \\ \Delta g_{s_1-s_2} &= 13,61 (\pm 0,02) \\ \Delta g_{s_2-s_3} &= 11,34 (\pm 0,02)\end{aligned}$$

Gravimeetrit Gs-11 kontrolliti süstemaatiliselt gravimeetrilisel baasil. Toimunud etaloonimistel ei esinenud muutusi, mis oleksid ületanud baasisammaste raskuskiirenduse vahet enam kui  $\pm 0,2$  mgali. Seega vastas kasutatav gravimeeter nõuetele, mis olid vajalikud raskusjõu ööpäevaste variatsioonide mõõtmiseks.

Etaloonimisandmete alusel määrati gravimeetri konstant veega  $\pm 0,04$  kuni  $\pm 0,08$  mgali/jaot [3, 4].

Laboratooriumis etaloonimisel kasutati tehases gravimeetrisse ehitatud etaloonimis-seadet.

Tallinna gravimeetrilise jaama sambal oli etaloonimise suurus

$$E = E_0 \left( 1 + \frac{g - g_0}{g_0} \right) = 39,813 \text{ mgali}$$

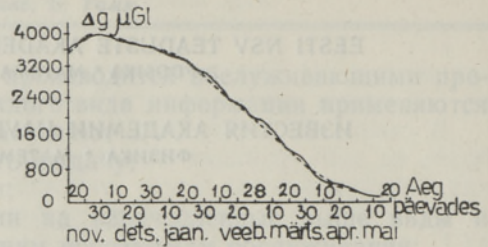
Skaalalugemi keskmine väärtus oli

$$S_m = \frac{E}{\Delta S} = (7,313 \pm 0,0004) \text{ mgali/jaot}$$

Galvanomeetri lineaarsuse kontrollimiseks kasutasime J. S. Dobrohhotovi poolt soovitatud meetodit [6-10]. Kasutatud galvanomeetri skaala oli praktiliselt lineaarne. Skaalaühiku 1 mm pikkuse muutus ei ületanud kogu skaala ulatuses  $\pm 0,1$  mm.

Gravimeetri registrogrammi mastaapi kontrolliti B. P. Pertsevi meetodil [11, 12]. Isekirjutaja kõvera konstant arvutati valemi

$$K \text{ mm/jaot} = \frac{Y_t + Y_{t+49} - Y_{t+24} - Y_{t+25}}{a+b} = \frac{z}{a+b} \text{ järgi}$$



Joon. 2. Gravimeetri Gs-11 N 147 nullpunkti triiv 10. novembrist 1965 kuni 17. maini 1966.

Gravimeetri etaloonimiseks kasutati kahte moodust: etaloonimist mõõtebaasis ja laboratooriumis. Viimases kasutati gravimeetrisse ehitatud etaloonimis-seadet.

Mõõtebaasina kasutati Eesti restaureeritud gravimeetrilist baasi [2, 5].



Tabel 1

## Gravimeetri kalibreerimise tulemused

Aeg	$K$ mm/jaot	Mastaap $k = \mu\text{G}/\text{mm}$	Temperatuur, $^{\circ}\text{C}$
5. XI 1965	19,58 ( $\pm 0,03$ )	3,736	22°
2. XII 1965	19,78 ( $\pm 0,09$ )	3,698	Konstantne kogu vaatluse ajal
15. XII 1965	21,48 ( $\pm 0,15$ )	3,405	
23. XII 1965	19,67 ( $\pm 0,02$ )	3,718	
8. I 1966	19,48 ( $\pm 0,05$ )	3,754	
27. I 1966	20,02 ( $\pm 0,07$ )	3,653	
22. II 1966	19,27 ( $\pm 0,08$ )	3,795	
15. IV 1966	20,13 ( $\pm 0,01$ )	3,633	
Keskmine väärtus	19,92 ( $\pm 0,04$ )	$\bar{k} = 3,674$ ( $\pm 0,042$ )	

kus  $a$  ja  $b$  on jaotuste arv ja  $z = 1, 2, 3, \dots, 23$ , s. o. keskmendatud koordinaatide väärtused (tab. 1).

Vaatlusandmete töötlemine. Järekirjutaja lindilt mõõdeti ordinaate iga tunnijoone kohalt. Nulljooneks võeti alumine püsiv horisontaaljoon. Ülemise ja alumise nulljoone vahe oli konstantne 0,1%-lise täpsusega.

Galvanomeetri skaala mittelineaarsuse mõju elimineerimiseks kasutati sellekohaseid töötabeleid. Need tabelid olid koostatud interpolatsioonimeetodil mõõdetud  $K$  väärtustest kogu mõõtmisperioodi kohta.

Mitmesugustel põhjustel (tulekahju, registreerija rikked, elektrivoolu katkemine jne.) tekkisid kõverates järekirjutaja lindil lüngad (tab. 2).

Tabel 2

## Lüngad registreerimiskõveral

Kuupäevad		Kellaaeg		Vahelejäänud lugemite arv
Algus	Lõpp	Algus	Lõpp	
1965. a.				
3. nov.	4. nov.	16.00	13.20	21
8. nov.	9. nov.	9.20	16.00	30
13. nov.	13. nov.	11.00	13.00	2
1966. a.				
22. mai	23. mai	23.05	8.55	9

Kõik puuduvad ordinaadid, välja arvatud juhud, kus nende arv ületas 10, leiti Pertsevi nn. 49-tunnisel meetodil [13]. Kui lünk diagrammis ületas 11 ordinaati, täideti ta teoreetiliselt arvatud ordinaatidega.

Skaala lugemit nihutati seoses registrogrammi mastaabi kalibreerimisega, määrates kahe edasi-tagasi nihke järgi vajaliku konstandi. Peale selle tuli lugemit nihutada juhul, kui raskusjõu muutuste käigukõver nihkus lindi servale. Sel puhul muudeti kõik järgnevad ordinaadid konstantse suuruse võrra. Nihke suurust mõõdeti vahetult registrogrammilt, ekstrapoleerides kõvera tagasi nihkemomendile, ja nihke määramisega vahetult gravimeetri lugemilt, kasutades mastaabi konstandi  $k$  väärtust. Nihke arvutamine lülitati raali programmi.

Registrogrammi konstant arvutati valemi järgi

$$k = \frac{10\alpha}{K} \mu\text{gali}/\text{mm}$$



kus  $\alpha$  on mikromeetrikruvi skaala jaotuse väärtus mikrogalides.  $K$  on registrogrammi mikromeetrikruvi ühe skaalajaotuse väärtus millimeetrites.

Tulemuste harmooniline analüüs. Vaatlusandmed töödeldi Pertsevi meetodil [9, 11], kasutades Tallinna Polütehnilise Instituudi arvutuskese raali «Minsk-22».

Harmoonilise analüüsi teel eraldati 5 põhilainet:  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $K_1$  ja  $O_1$ .

Analüüsimisel kasutasime piirkondlikke registrogrammi konstante  $k$ , mis suurendas arvutuste täpsust. Samuti arvestasime nullpunkti triivi iseloomu (joon. 2). Uuritava 6-kuulise seeria nullpunkti triivi kõver ei ole küll lineaarne, mis oleks olnud ideaalne, kuid ta on küllalt ladus ning võimaldab hõlpsasti elimineerida triivi komponendi.

Nullpunkti triiv elimineeriti Pertsevi meetodil [14], mis mastaabi vea arvutamisel võimaldab arvestada triivist tingitud vigu. Triivi keskmine suurus on 22  $\mu\text{Gl}/\ddot{\text{o}}\text{öp}$ . 20. jaanuarist 1965 kuni 1. aprillini 1966 on triiv aproksimeeritud lineaarse suurusega 38  $\mu\text{Gl}/\ddot{\text{o}}\text{öp}$ .

Tabelis 3 on antud 6-kuulise seeria keskmised  $\delta$  lainetele  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $K_1$  ja  $O_1$ .

Tabel 3

Laine	$\delta$
$M_2$	1,127 ( $\pm 0,001$ )
$S_2$	1,184 ( $\pm 0,003$ )
$N_2$	1,195 ( $\pm 0,005$ )
$K_1$	1,071 ( $\pm 0,001$ )
$O_1$	1,096 ( $\pm 0,002$ )

Tabel 4

Laine	$\alpha$
$M_2$	$-1^\circ,7$ ( $\pm 0^\circ,2$ )
$S_2$	$-4^\circ,2$ ( $\pm 0^\circ,3$ )
$N_2$	$-4^\circ,0$ ( $\pm 1^\circ,4$ )
$K_1$	$-3^\circ,0$ ( $\pm 0^\circ,2$ )
$O_1$	$-0^\circ,7$ ( $\pm 0^\circ,2$ )

Tabelis 4 on ära toodud lainete keskmised faasinihked  $\alpha$  kraadides.

Lainete  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $K_1$  ja  $O_1$  vastavad teoreetilised raskusjõu kiirenduse muutuste amplituudid  $H_t$  on ( $\mu\text{gali}$ ):

$$H_{t M_2} = 19,513$$

$$H_{t S_2} = 9,102$$

$$H_{t N_2} = 3,726$$

$$H_{t K_1} = 27,245$$

$$H_{t O_1} = 38,348$$

Lainete  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $K_1$  ja  $O_1$  vastavad mõõdetud ja arvatud raskusjõu kiirenduse amplituudid  $H_m$  on ( $\mu\text{gali}$ ):

$$H_{m M_2} = 22,206$$

$$H_{m S_2} = 10,886$$

$$H_{m N_2} = 4,490$$

$$H_{m K_1} = 30,160$$

$$H_{m O_1} = 41,799$$

Mõõdetud ja teoreetiliste faasinihete erinevused, s. o. nende komponentide erinevused, mis on tingitud planeet Maast kui füüsikalise keha, on raskesti eristatavad mõõteinstrumentide süstemaatilistest vigadest, mis tugevasti moonutavad mõõdetud faasinihet  $\alpha$ . N. H. Pariiski näitas teoreetiliste arvutustega, et gravimeetrilise tõusu ja mõõna puhul peab laine  $M_2$  faasi hiline mine  $\alpha$  olema  $\approx +1^\circ$ , kalde mõõtmistel aga on  $\alpha \approx -3^\circ$  [15]. Need on võimalikud maksimaalsed faasinihked, mis võiksid esineda mõõtmistel, kui oleksid elimineeritud mõõtmismetoodikast põhjustatud süstemaatilised vead (I ja II järgu poolsüstemaatilised ja süstemaatilised vead). Peale selle tuleb arvestada ka kaudseid efekte, mis omakorda



moonutavad mõõtmistulemusi. Need süstemaatilised vead ja kaudsed efektid mõjutavad ka Love'i arvu väärtust; see viga aga ei ületa arvatavasti  $+0,1\%$  [15].

Tabelis 5 on võrdluseks esitatud mõnede jaamade  $\delta$  ja  $\kappa$  väärtused. Lähemad punktid, kus on uuritud raskusjõu variatsioone, on Stokholm ja Pulkovo. Üldiselt on Tallinnas saadud mõõtmistulemused lähedased Stokholmi omadele — viimastest vaid vähe suuremad, kuid väiksemad kui Pulkovos. Tabelist nähtub, et vähimad  $\delta$ -d esinevad Stokholmis ja Tallinnas [16].

Mõningaid  $\delta$  ja  $\kappa$  väärtusi

Tabel 5

Jaamad	Koordinaadid		$M_2$		$S_2$		$N_2$		$K_1$		$O_1$	
	$\lambda$	$\varphi$	$\delta$	$\kappa$	$\delta$	$\kappa$	$\delta$	$\kappa$	$\delta$	$\kappa$	$\delta$	$\kappa$
Stokholm *	18°4'	59°21'	1,092	-0°,5	1,126	+4°,2	1,109	-1°,3	1,132	+2°,7	1,098	+1°,8
Tallinn **	24°48'	59°25'	1,127	-1°,7	1,184	-4°,2	1,195	-4°,0	1,071	-3°,0	1,096	-0°,7
Pulkovo	30°19'	59°46'	1,238	-2°,1	1,217	-1°,6	1,222	-6°,0	1,194	-2°,6	1,180	-1°,8
Potsdam *	13°4'	52°23'	1,209	-1°,0	1,171	+3°,3	—	—	1,184	+1°,4	1,171	-0°,6
Kiiev	30°30'	50°27'	1,195	-2°,8	1,239	-2°,9	1,173	-1°,1	1,149	-1°,5	1,164	+1°,0
Moskva **	37°38'	55°44'	1,171	-1°,5	1,190	-4°,3	1,165	-3°,4	1,258	+1°,1	1,229	+1°,8
Alma-Ata **	76°57'	43°11'	1,154	-4°,1	1,187	-3°,2	1,127	-5°,8	1,128	-0°,2	1,148	-2°,6
Brüssel *	4°21'	50°48'	1,166	+0°,8	1,202	-1°,3	1,130	0°,0	1,146	-0°,7	1,149	-0°,8

\*  $\Delta\kappa$  arvutamisel on arvestatud instrumentaalse faasi nihet.

\*\* Täpsustatud andmed.

Viimane asjaolu on arvatavasti tingitud planeet Maa elastsusest, mida konkreetsel kohal omakorda mõjutavad koorealuse substraadi olukord, geoloogilised rikked, ookeani lähedus jne.

Nii Tallinna kui ka Stokholmi jaamas mõõdetud  $\delta$  ja  $\kappa$  väärtused kinnitavad, et mõõdetud raskusjõu variatsioonide alusel on raske vahetult kindlaks teha pikaajalist Maa pöörlemise aeglustumist ja hinnata Maa viskoossust. Et vabaneda eelmainitud raskustest, tuleb hoolega uurida mõõteinstrumentide süstemaatilisi vigu, ookeanide mõju ja süstemaatilisi ning korrapäratuid meteoroloogilisi mõjutusi.

## KIRJANDUS

1. Relative Bestimmungen der Schwerkraft auf den Landeszentralen. Baltische Geodätische Kommission, Sonderveröffentlichung Nr. 6, Helsinki, 1937.
2. Маазик В. Я., Гравитационное поле и строение земной коры в Эстонии, Дисс. докт. физ.-матем. н., 1964.
3. Маазик В. Я., Лумп Н. П., Влияние наружной температуры на показания гравиметра Gs-11, Изв. АН ЭССР, Физ. Матем., XVI, № 2 (1967).
4. Askaniä-Werke A. G., Schwermesser Gs-11, Berlin-Friedenau, 1956.
5. Маазик В. Я., 1) О связи современных вертикальных движений земной поверхности территории Эстонской ССР с геофизическими полями и фигура геоида; 2) Перспективы исследования изменений силы тяжести Земли на территории ЭССР, В сб.: Современные и новейшие движения земной коры в Прибалтике, Вильнюс, 1964.
6. Доброхотов Ю. С., Об ошибках определения масштаба регистрации приливных вариаций силы тяжести, вызванных смещением нуля гравиметра, В сб.: Изучение земных приливов, № 3, М., 1963.
7. Баленко В. Г., Сравнение методов гармонического анализа месячной серии наблюдений земных приливов, Дисс. канд. физ.-матем. н., Полтава, 1961.
8. Волков В. А., Влияние нелинейности шкалы гальванометра регистрирующего на результаты наблюдений земных приливов, В сб.: Изучение земных приливов, № 3, М., 1963.



9. Гриднев Д. Г., Парийский Н. Н., Крамер М. В., Барсенков С. Н., Иванова М. В., В сб.: Изучение земных приливов, № 2, М., 1961.
10. Доброхотов Ю. С., Приливные изменения силы тяжести в Ланьчжод в 1959 г., В сб.: Изучение земных приливов, № 2, М., 1961.
11. Перцев Б. П., Гармонический анализ упругих приливов, Изв. АН СССР, Сер. геофиз., № 8 (1958).
12. Lecolazet R., Marées terrestres, Bull. d'inform., N° 10 (1958).
13. Перцев Б. П., Опыт определения масштабных коэффициентов записи при наблюдениях приливных вариаций силы тяжести, В сб.: Гравиметрические исследования, № 1, М., 1960.
14. Перцев Б. П., Об учете сползания нуля при наблюдениях упругих приливов, Изв. АН СССР, Сер. геофиз., № 4 (1959).
15. Парийский Н. Н., О влиянии земных приливов на вековое замедление вращения Земли, Астрон. ж., XXXVII, № 3 (1960).
16. Melchior P., The Earth Tides, Paris-Frankfurt, 1966.

Tallinna Polütehniline Instituut

Toimetusse saabunud  
30. IV 1971

В. МААЗИК, Н. ЛУМП, А. ПУРО

## ПРИЛИВНЫЕ ВАРИАЦИИ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ В ЭСТОНИИ

В статье описана методика и приведены результаты длившейся 6 месяцев (с ноября 1965 г. по май 1966 г.) серии измерений суточных вариаций силы тяжести в г. Таллине. Использован гравиметр Gs-11 с относительно малым дрейфом нуля — в среднем 22 мкгал/сутки (кривую дрейфа см. на рис. 2). Обработка данных измерений проведена методом Перцева (29 дней) на ЭВМ «Минск-22» по составленной авторами программе.

Средние значения кратковременных изменений силы тяжести, характеризуемые числами Лава  $\delta$ , по выделенным гармоническим анализом 5 основным волнам ( $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ ) приведены в табл. 3. Средние смещения фаз  $\kappa$  указанных волн даны в табл. 4.

Найденные значения вариаций силы тяжести на Балтийском щите отличаются от значений, полученных для средней части Европейского континента и Средней Азии (Алма-Ата). Это различие, очевидно, обнаруживает изменение упругости земной коры от точки к точке, что обусловлено состоянием подкоркового субстрата в данном месте, большими геологическими сдвигами и близостью океана.

V. MAASIK, N. LUMP, A. PURO

## VARIATIONEN DER SCHWERKRAFT IN ESTLAND

Das in der Arbeit benutzte Material ist das Ergebnis der mit Hilfe des Schwermessers Gs-11 in Tallinn durchgeführten Messungen der Variation der Schwerkraft. Es werden die Beobachtungsmethode, die Ergebnisse der Messungen und die Datenverarbeitung betrachtet. Das Beobachtungsmaterial wurde der Pertschew-Methode gemäß mit der Elektronenrechenmaschine «Minsk-22» bearbeitet. Das entsprechende Programm wurde von den Verfassern besorgt. Durch die harmonische Analyse wurden fünf Grundwellen abge sondert:  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $K_1$  und  $O_1$ .

Der mittlere Gang des 0-Punktes des Schwermessers Gs-11 war während der Messungen gering, 22  $\mu$ Gal/Tag und 38  $\mu$ Gal/Tag.

Im Laufe einer sechsmonatigen (November 1965 bis Mai 1966) Serie von Beobachtungen wurden die Mittelwerte  $\delta$  und  $\kappa$  erhalten (Tabellen 3 und 4).

Die Love  $\delta$ -Zahlen, in Tallinn gemessen, kennzeichnen die auf dem Baltischen Schild stattgefundenen kurzfristigen periodischen Veränderungen. Sie unterscheiden sich merklich von dem  $\delta$ , das im Mittelgebiet des europäischen Kontinents und in Mittel-Asien (Alma-Ata) erbracht wurde. Der letztere Umstand ist wahrscheinlich durch die Elastizität des Planeten Erde bedingt, die am konkreten Ort wiederum von den Verhältnissen der Unterkrustensubstanz, von den großen geologischen Deformationen und von der Nähe des Ozeans beeinflusst wird.