

# ATMOSFÄÄRI IOONIDE TIHEDUSE JA METEOROLOOGILISTE ELEMENTIDE VAHELISE SEOSE UURIMISEST

H. Marran

Füüsikakateeder

## Sissejuhatus

Küsimus õhuelektriliste elementide seosest meteoroloogiliste elementidega on käesoleva sajandi teisel veerandil olnud rohkearvuliste uurimuste teemaks.

P. N. Tverskoi arvates on tänapäeval jõutud seni kogutud laialdase materjali kriitilisel läbitöötamisel otsusele, et enamik püstitatud seoseid on kaudsed ning atmosfääri ionisatsiooni seos üksikute atmosfääri olukorda iseloomustavate elementidega sõltub sellest, kuidas viimased soodustavad ionide tekkimise intensiivsust ja muutusi õhu tuumasisalduses, kusjuures kõige suuremat mõju atmosfääri ionisatsiooni olukorrale avaldab õhu niiskuse aste [1].

Silmas pidades seni saadud tulemusi, alustati Tartus 1951. aastal laiaulatuslikke uurimisi\* atmosfääri raskete ja kergete ionide spektri piirkonnas, mõõtes mitmesuguste ionide gruppide ionide tihedust ja jälgides seoseid ionide tiheduse ja meteoroloogiliste elementide vahel, eriti makrokliimatiliselt vaatekohalt.

Ioonide tihedust mõõdeti TRÜ peahoone põhjapoolse tiiva teise korruse õuepoolse akna juurde ülesseatud atmosfääri ionide kombineeritud loendajaga [2], kuna meteoroloogiliste elementide kohta saadi vaatlusmaterjal ENSV Teaduste Akadeemia Geofüüsika

---

\* Atmosfääri ionisatsiooni uurimisel Tartus 1951. a. on autor püüdnud piirduda peamiselt raskete ( $0,1 > k \geq 0,00025 \text{ cm}^2/\text{sek} \cdot \text{volt}$ ) ning keskmiste ja poolraskete ( $0,1 > k \geq 0,001 \text{ cm}^2/\text{sek} \cdot \text{volt}$ ) ionide tihedusega seoses olevate küsimustega, kuna J. Reineti poolt uuriti esijoones kergete ( $k \geq 0,1 \text{ cm}^2/\text{sek} \cdot \text{volt}$ ) ionide ja molioonide ( $k \geq 1,0 \text{ cm}^2/\text{sek} \cdot \text{volt}$ ) tiheduse muutumisega seoses olevaid küsimusi. Kuid nähtuste seotusest tingituna ja probleemi tervikluse huvides on tulnud mõlematel autoritel hädavajaliku võrdlusmaterjalina vahel kasutada sügavama analüüsi teostamisel küsimusi laiemalt.

Käesolevas artiklis on tüüpilisi illustreerivaid näiteid toodud ka kergete ionide ja molioonide valdkonnast, kuna nende faktide avastamine sai võimalikuks vaid autori poolt selles töös kirjeldatud suundgraafikute meetodil.

Observatooriumilt, mis asub vaatluskohast umbes 500 meetri kaugusel.

Järgnevate ridade eesmärgiks ongi käsitleda üheaastase rohkearvulise (umbes 20 000 üksikvaatlust) vaatlusmaterjali läbitöötamise küsimust selles osas, mis puutub seoste leidmisse meteoroloogiliste elementide ja ionide tiheduse vahel.

## I. Korrelatsioonimeetodi abil saadud tulemustest

On teada, et üldist korrelatsiooniarvutust peetakse ainsaks arvesse tulevaks meetodiks juhul, kui on tegu suure hulga andmetega ja hinnata tuleb mitme argumendi mõju, mis ise on juhusliku iseloomuga.

Atmosfäärielektriliste nähtuste uurimisel on raske süstemaatilistelt mõjuvaid tegureid eraldada juhuslike tegurite hulgast. Kuid vaatamata sellele on seni sageli kasutatud atmosfääri ionisatsiooni ja meteoroloogiliste elementide vaheliste seoste hindamisel kahe muutuja korrelatsiooniväljadest saadud klassikeskmiste käiku kas tabeli või tulpdigrammi näol. Kuid argumentidevahelise vastastikuse seose puhul on saadud sel juhul vasturääkivaid tulemusi [3]. Et selliseid eksimusi vältida ja välja selgitada atmosfääri ionide tihedust ühekülgset mõjustavate tegurite (udu, äike, sadu, pakane, suits jne.) toimet, on vaja uurimisel aastase vaatlusmaterjali kollektiiv jaotada lühemaajalisteks perioodideks \* (kuude või aastaegade — kvartalite järgi), sest äsjamainitud atmosfäärilised nähtused ei esine ühesuguse selgusega kõigil vaatlusperioodidel.

Pealegi on teada juba varajasematest töödest [4], et seos ionide tiheduse ja mõne meteoroloogilise elemendi vahel on erinevatel aastaegadel erinev. Seepärast on väheütlev selline ionide tiheduse ja meteoroloogiliste elementide vaheline korrelatiivne seos, mis on saadud kogu aastase vaatlusmaterjali alusel. Need kaalutlused on sundinud autorit kriitiliselt suhtuma korrelatsiooniarvutuse rakendamisesse seoste otsimisel ja veendumata viimase ebatstarbekuses korrelatsioonikoefitsientide arvutamisel ionide tiheduste ja meteoroloogiliste elementide vahel (tabel 1) üksikute kvartalite (aastaegade) kaupa. Nagu esitatud tabelist selgub, on kvartalite kollektiivide ja samuti ka kogu aastase vaatlusmaterjali alusel arvutatud korrelatsiooni kordajad oma suuruselt ja stabiilsuselt (märgipüsivuselt) väheütlevad, et vastuvaidlematuid seoseid avastada. Tabelist 1. nähtub, et III kvartalis (suvel) on korrelatsioonikoefitsient temperatuuri ja kergete ionide või molioonide tiheduse vahel võrdne nulliga, kuna I kvartalis (talvel) on see seos silmapaistvam. Ometi aga näitasid vastavad uurimised, et just III kvar-

---

\* Sellist rühmitamist korrelatsiooniarvutusel on võimaldanud autoril kasutada olnud väga rikkalik vaatlusmaterjal.

Korreleeritav met. element	Iooniliigi nimetus ja liikuvus $\frac{\text{cm}^2}{\text{sek} \cdot \text{volt}}$	Rasked $k \leq 0,1 (k_p = 0,00025)$		Poolrasked $-k \leq 0,1 (k_p = 0,001)$		Kerged $k > 0,1 (k_p = 0,1)$		Molioonid $k > 1,0 (k_p = 1,0)$	
		$N_2^+$	$N_2^-$	$N_1^+$	$N_1^-$	$n_2^+$	$n_2^-$	$n_1^+$	$n_1^-$
Temperatuur $t$ °C	I	-0,43	-0,43	-0,43	-0,38	+0,47	+0,34	+0,58	+0,43
	II	-0,22	-0,31	-0,12	-0,32	+0,33	+0,22	+0,30	+0,19
	III	-0,21	-0,19	-0,25	-0,23	0	+0,10	0	0
	IV	-0,31	-0,31	-0,26	-0,31	+0,45	+0,24	+0,49	+0,27
Veeauurõhk $a$ mm	I	-0,32	-0,32	-0,32	-0,27	+0,37	+0,25	+0,49	+0,31
	II	-0,20	-0,29	-0,15	-0,25	+0,72	+0,70	+0,16	+0,07
	III	-0,20	-0,04	-0,21	-0,06	+0,37	+0,28	-0,36	-0,30
	IV	-0,21	-0,22	-0,18	-0,18	+0,38	+0,16	+0,43	+0,22
Nähtavus $s$ km	I	-0,13	-0,11	-0,10	-0,00	+0,17	+0,20	0	+0,12
	II	-0,11	-0,19	-0,09	-0,12	-0,14	-0,20	+0,29	+0,28
	III	-0,27	-0,41	-0,28	-0,16	-0,19	-0,15	+0,46	+0,43
	IV	-0,23	-0,24	-0,21	-0,24	+0,20	+0,29	+0,14	+0,23
Tuule tugevus $c$ m/sec	I	-0,30		-0,25		+0,17		+0,26	
	II	-0,15		-0,21		-0,13		-0,14	
	III	-0,23		-0,26		-0,16		+0,18	
	IV	-0,36		-0,37		+0,20		+0,19	
Relatiivne niiskus $r$ %	I	0	0	-0,06	-0,06	-0,07	-0,15	+0,22	+0,14
	II	+0,13	+0,22	+0,08	+0,20	+0,26	+0,32	-0,20	-0,19
	III	+0,17	+0,31	+0,23	+0,33	+0,32	+0,25	-0,38	-0,40
	IV	+0,07	+0,11	+0,04	+0,08	-0,27	-0,06	0	-0,01
Õhurõhk $p$ mb	I	+0,36		+0,34		-0,30		-0,31	
	II	-0,09		0		-0,09		+0,22	
	III	+0,19		+0,18		0		0	
	IV	+0,16		+0,19		0		0	

Tabel nr. 1. Lineaarse korrelatsiooni koefitsiendid aasta iga kvartali ja kogu aasta ionide tiheduse ning meteoroloogiliste elementide vahel.

talil on uuritav kollektiiv sagedusjaotuselt normaalsele lähedane, kuna I kvartalis seda ei ole.

Leidub ka raskusi, mis sunnivad kahtlema korrelatsioonikoefitsiendi enda mõttes ja tähenduses. Näiteks meteoroloogiliste elementide omavaheliste korrelatiivsete seoste arvutamisel ilmnes, et kvartali andmetel veeaururõhk  $a$  ja nähtavus  $s$  on negatiivses korrelatiivses seoses, kuid andmete liitmisel aasta kollektiiviks kujuneb positiivne korrelatsioon. Negatiivselt korreleeruvate ridade segunemisel saadud positiivne korrelatsioon selgub keskmiste  $a$  ja  $s$  üldisest samasuunalisest kulgemisest:

	$a$ (mm)	$s$ (km)
I kvartal	2,7	8,4
II „	6,1	16,1
III „	10,2	14,6
IV „	4,7	9,1

P. N. Tverskoi andmetel [5] on absoluutse niiskuse suurenemisel täheldatud nähtavuse kahanemist. Ka kuu korrelatsiooniväljandest saadud andmed kinnitavad seda, kuid aastase vaatlusmaterjali alusel saadud kordaja väljendab ebareaalset seost. Seda laadi vasturääkivused on tuntud kirjanduses [6] korrelatsioonikoefitsiendi tähenduse selgitamisel. Seevastu nähtavuse  $s$  ja relatiivse niiskuse  $r$  vahel on tugev negatiivne korrelatiivne seos, nii nagu seda on väidetud Tšernjavski [7] ja tema õpilaste Kulagini [8] ning Panitškina [9] töödes, niihästi kvartalite kui ka kogu aastase vaatlusmaterjali alusel. Sellist ebakindlust ja kõikumisi esineb veel teisigi. Aega nõudnud ulatuslik korrelatiivsete seoste arvutamine ionide tiheduste ja meteoroloogiliste elementide vahel kui ka meteoroloogiliste elementide omavaheliste seoste kontrollimine (tabel 2) kinnitas, et mitme muutuja korrelatsiooni-arvutuse rakendamine seoste avastamisel ei ole otstarbekohane ega aita tungida üksiknähtuste füüsikaliste põhjuste juurde, mispärast autor loobus sellest uurimismeetodist. Tuli leida uus uurimismeetod, mis lubaks tungida sügavamale ja avastada korrelatsiooni-arvutusel avastamata jäänud üksiknähtuste tõelisi põhjusi, sest korrelatsiooni-arvutus on liiga jäme selleks, et leida isegi ionide tiheduste omavahelist kiiresti muutuvat seost (tabel 3)

On selge, et sellise suure vaatlusmaterjali juures, mis autoriil oli kasutada, ei ole tehniliselt võimalik laskuda iga üksiku vaatluse analüüsini. Teiselt poolt aga ei anna see igakord küllalt rahuldavaid tulemusi, sest vaatlused on tehtud linnaoludes ja peale atmosfääriliste üldiste tegurite tuleb eeldada lokaalsete tegurite suuremat või vähemat moonutavat mõju üksikute vaatlusperioodide ja -tsükli vaatlusandmetele. Seepärast kõigi üksikvaatluste analüüs on väheviljakas võrreldes selleks kulutatud ajaga. Seepärast on ka selline silmapaistev uurija nagu Israel [10] pidanud üksikvaatluste uurimist küll huvitavaks, kuid vaatluste suurt hajumist arvestades on ta nimetanud paratamatuks keskmistega töötamist.

	Kvartalid	<i>t</i>	<i>a</i>	<i>s</i>	<i>c</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
<i>t</i>	I II III IV	—	$\left. \begin{array}{l} +0,93 \\ +0,65 \end{array} \right\} \\ \left. \begin{array}{l} +0,93 + 0,85 \\ +0,93 \end{array} \right\} \\ +0,89$	$\left. \begin{array}{l} 0 \\ +0,29 \end{array} \right\} \\ \left. \begin{array}{l} +0,15 \\ -0,14 \end{array} \right\} \\ +0,36 \\ +0,54 \\ +0,42$	$\left. \begin{array}{l} +0,25 \\ 0 \end{array} \right\} \\ \left. \begin{array}{l} 0 \\ 0 \end{array} \right\} \\ -0,22 \\ +0,11 \\ -0,07$	$\left. \begin{array}{l} +0,14 \\ -0,59 \end{array} \right\} \\ \left. \begin{array}{l} -0,67 \\ 0 \end{array} \right\} \\ -0,54 \\ -0,56 \\ -0,43$	$\left. \begin{array}{l} -0,53 \\ +0,23 \end{array} \right\} \\ \left. \begin{array}{l} +0,33 \\ +0,17 \end{array} \right\} \\ +0,15 \\ -0,13 \\ 0$
<i>a</i>	I II III IV	—	—	$\left. \begin{array}{l} -0,25 \\ -0,17 \end{array} \right\} \\ \left. \begin{array}{l} -0,29 \\ -0,32 \end{array} \right\} \\ +0,22 \\ +0,29 \\ +0,21$	$\left. \begin{array}{l} +0,11 \\ -0,22 \end{array} \right\} \\ \left. \begin{array}{l} -0,12 \\ -0,18 \end{array} \right\} \\ 0 \\ -0,31$	$\left. \begin{array}{l} +0,52 \\ +0,24 \end{array} \right\} \\ 0 \\ +0,28$	$\left. \begin{array}{l} -0,52 \\ 0 \end{array} \right\} \\ -0,15 \\ 0 \\ +0,15$
<i>s</i>	I II III IV	—	—	—	$\left. \begin{array}{l} 0 \\ 0 \end{array} \right\} \\ +0,15 \\ +0,17$	$\left. \begin{array}{l} -0,63 \\ -0,63 \end{array} \right\} \\ \left. \begin{array}{l} -0,49 \\ -0,70 \end{array} \right\} \\ -0,63 \\ -0,71 \\ -0,68$	$\left. \begin{array}{l} 0 \\ +0,29 \end{array} \right\} \\ 0 \\ 0 \\ 0$
<i>c</i>	I II III IV	—	—	—	—	$\left. \begin{array}{l} +0,02 \\ -0,20 \end{array} \right\} \\ -0,23 \\ -0,08$	$\left. \begin{array}{l} -0,40 \\ -0,13 \end{array} \right\} \\ -0,45 \\ -0,57 \\ -0,30$

Tabel nr. 2. Meteoroloogiliste elementide omavahelist korrelatiivset seost iseloomustavad lineaarse korrelatsiooni koeffitsiendid.

	Kvartalid	$N_2^-$	$N_1^+$	$N_1^-$	$n_2^+$	$n_2^-$	$n_1^+$	$n_1^-$
$N_2^+$	I II III IV	$\left. \begin{matrix} +0,93 \\ +0,79 \\ +0,96 \\ +0,91 \end{matrix} \right\} +0,91$	$\left. \begin{matrix} +0,93 \\ +0,76 \\ +0,87 \\ +0,92 \end{matrix} \right\} +0,92$				$\left. \begin{matrix} -0,53 \\ -0,29 \\ -0,30 \\ -0,61 \end{matrix} \right\} -0,51$	
$N_1^+$	I II III IV		—	$\left. \begin{matrix} +0,88 \\ +0,66 \\ +0,79 \\ +0,89 \end{matrix} \right\} +0,85$	$\left. \begin{matrix} -0,24 \\ -0,10 \\ -0,17 \\ -0,48 \end{matrix} \right\} -0,33$		$\left. \begin{matrix} -0,53 \\ -0,20 \\ -0,31 \\ -0,59 \end{matrix} \right\}$	
$n_2^+$	I II III IV				—	$\left. \begin{matrix} +0,77 \\ +0,85 \\ +0,83 \\ +0,77 \end{matrix} \right\} +0,88$	$\left. \begin{matrix} +0,56 \\ +0,20 \\ -0,19 \\ +0,86 \end{matrix} \right\} +0,40$	
$n_1^+$	I II III IV						—	$\left. \begin{matrix} +0,76 \\ +0,83 \\ +0,77 \\ +0,87 \end{matrix} \right\} +0,86$

Tabel nr. 3. Ioonide tiheduse omavahelist korrelatiivset seost iseloomustavad lineaarse korrelatsiooni koefitsiendid.

Hilisemas töös on Israel [11] peatunud pikemalt andmete läbitöötamise viisil. Ta nimetab üksikvaatluste analüüsi küll sügavale viivaks, kuid ei kasuta seda, vaid uurib statistiliselt nähtuste üldomadusi.

Edaspidises uurimistöös satub Israel [12] raskustesse, mis sunnib teda asuma kriitilisele analüüsile [3], kus kahetsevalt mainitakse, et tavaline ja sissejuurdunud kahe muutuja hajumisväljadest saadud seoste leidmise viis ehk võte tekitab tulemuste suhtes ebakindlust, mida ka statistiline veahindamine ei kõrvalda. Esitatud mõttekäigud ja meie laiaulatuslik arvutustöö viivad järeldusele, et vaatlusmaterjal tuleks liigitada mitte ainult lühemate ajaliste perioodide (kuude, aastaaegade) järgi, vaid sel viisil, et oleks ka võimalikum avastada lokaalseid mõjusid. Et linnaoludes tuumade allikad — vabrikud, lennuväli, raudteejaam jne. — asuvad vaatluskoha suhtes kindlas suunas, siis on otstarbekohane kogu vaatlusmaterjal veel jaotada tuule suundade \* järgi, et hinnata lokaalsete tegurite osatähtsust.

Edasine jaotamine ei ole autori arvates enam otstarbekohane, sest kuukollektiivid lubavad rohkearvulise ja homogeensema vaatlusmaterjali korral avastada ionide tiheduste ja meteoroloogiliste elementide vahelist seost, kuna tuule suundade järgi jaotamine aitaks avastada lokaalsete tegurite osatähtsust ionide tihedusele. Liiga väikeste vaatluskollektiividega töötamine võib aga avaldada eksitavat mõju üksikvaatluste juhusliku lokaalse teguri toime tõttu.

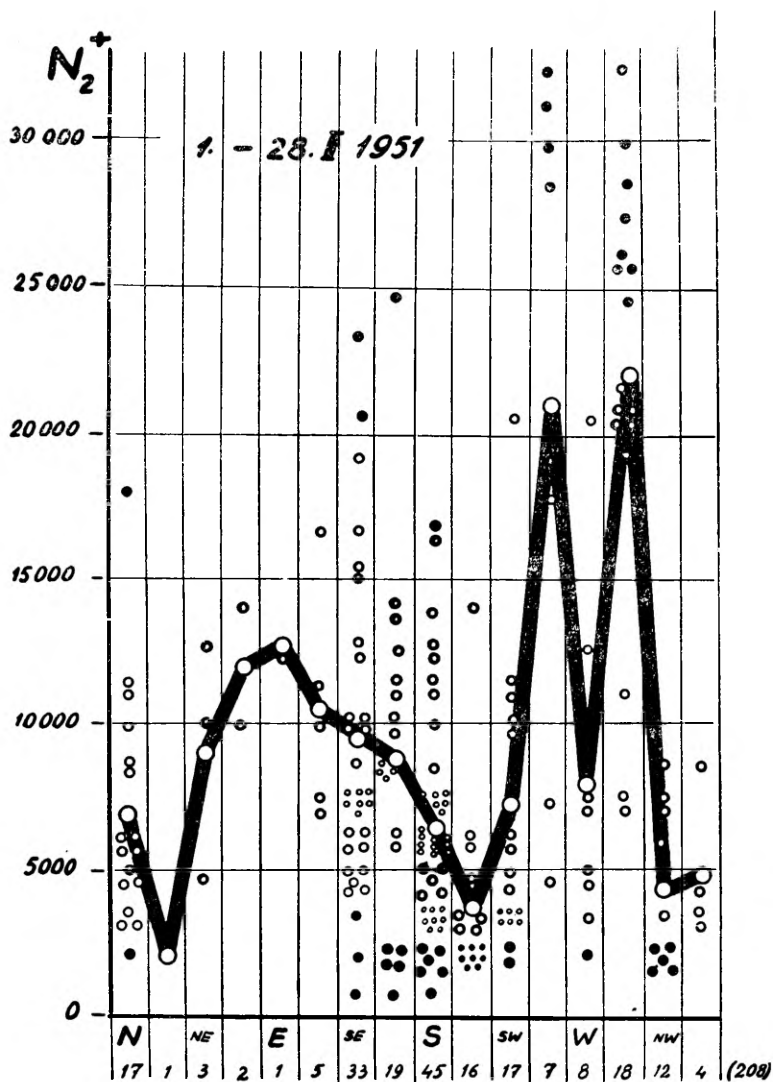
## II. Üksikvaatluste analüüsi teostamisest

### 1. Suundgraafik kui vahend seose olemasolu avastamisel

Kogu vaatlusmaterjal (ioonide tihedused ja meteoroloogilised elemendid — õhurõhk, tuule kiirus, relatiivne ja absoluutne niiskus jne.) on korraldatud iga kuu jaoks eraldi nii, et need oleksid lahutatud vastavalt tuule 16-le suunale. Nii saadud hajumisväljad moodustavad aluskollektiivid, mis sisaldavad kõiki andmeid (iga ionide grupi \*\* kohta kuus 208 üksikvaatlust ja samuti ionide tiheduse mõõtmisaegadele vastavad meteoroloogiliste elementide väärtused). Sealjuures tuleb arvutada vastava tuule suuna korral teostatud vaatlusandmete keskmised ja kujutada need suundgraafikuna (joonis 1). 16 sakiga murdjooned iseloomustavad ionide tiheduse ja meteoroloogiliste elementide keskmiste käigu muutust vastavalt tuule suuna muutusele. Heites pilku aasta esimese kuu, nimelt jaanuarikuu suundgraafikuile (joonis 1, 2, 3), ilmneb,

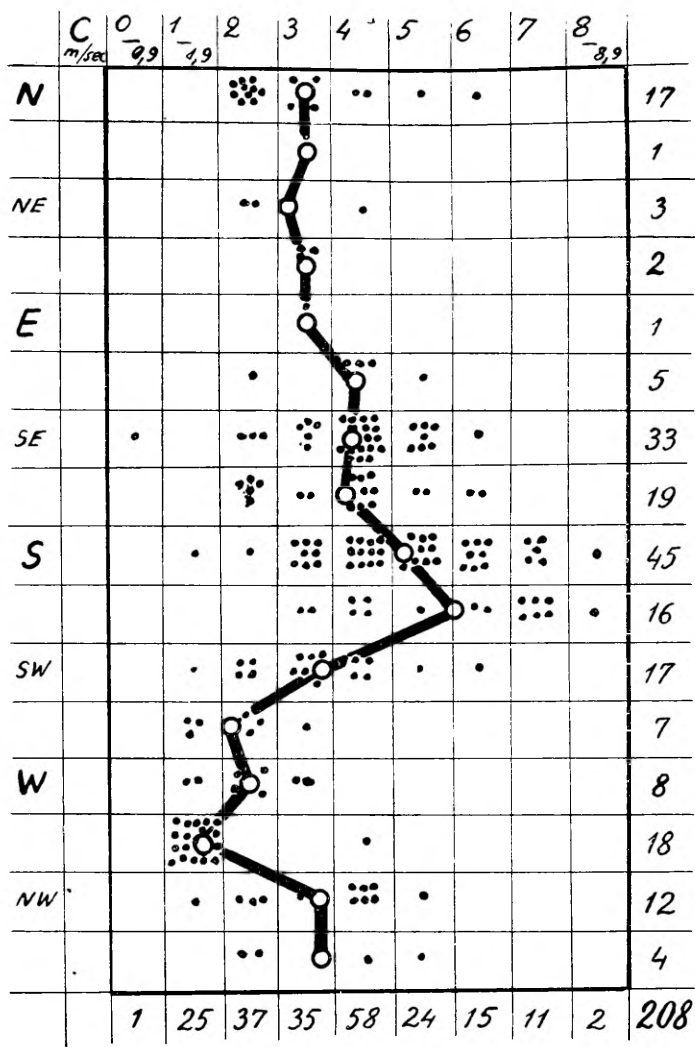
\* Autor jaotas vaatlusmaterjali 16 erineva sektori tuule suuna järgi.

\*\* Igas kuus teostati 208 vaatlusseeriat ionide tiheduse mõõtmise alal, kusjuures mõõdeti positiivsete ja negatiivsete molioonide ( $n_1^+$ ,  $n_1^-$ ), kergete ionide ( $n_{2+}$ ,  $n_{2-}$ ), keskmiste ning poolrasketete ionide ( $N_1^+$ ,  $N_1^-$ ) ja rasketete ionide ( $N_{2+}$ ,  $N_{2-}$ ) tihedusi.



Joonis 1. Raskete ionide tiheduse ( $N_2^+$ ) suundgraafik jaanuari kõikide vaatluste andmetel.

et WNW tuule korral on keskmine õhurõhk ( $p$  mb) olnud maksimaalne ja tuule kiirus ( $c$  m/sec) minimaalne. Raskete positiivsete ionide ( $N_2^+$ ) keskmine tihedus on sel korral olnud maksimaalne. Kuigi SSW tuule puhul maksimaalse tuule kiiruse korral on aga raskete ionide tihedus ( $N_2^+$ ) miinimumis. Esitatud suundgraafik viitab üldtuntud faktile, et talvel antitsükloonaalse ilmastiku korral, kui tuule kiirus on väike ja temperatuur minimaalne (mida samuti

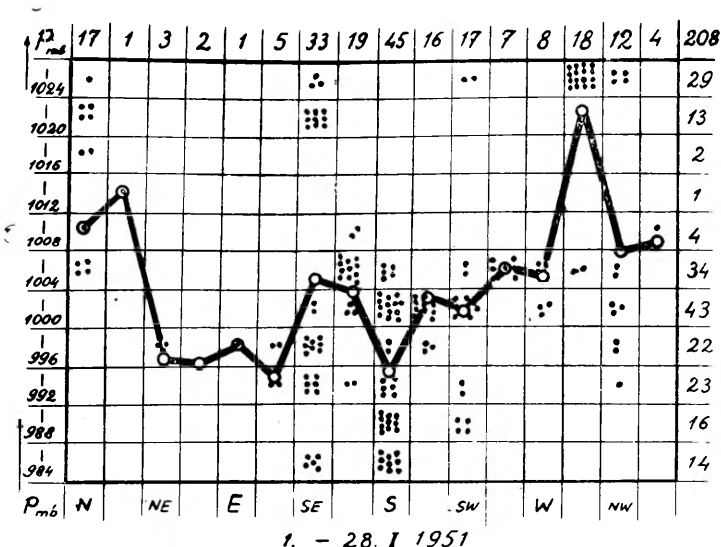


1. - 28 I 1951

Joonis 2. Tuule tugevuse (C) suundgraafik jaanuari kõikide vaatluste andmetel.

kinnitab vastav suundgraafik), on linnaoludes rikkalikult raskeid ioone ja seega ka tuumi [13], mida kahtlemata osaliselt põhjustavad lokaalsed tuumade allikad (suits jne.). Sel viisil, kasutades suundgraafikuid, ilmnes, et talve-poolaastal\* on molioonide tihedus ( $n_1$ ) silmapaistvas miinimumis E-S suuna tuulte korral ning

\* Nii on nimetatud siinkohal külma poolaasta kuusid I—III ja X—XII.



Joonis 3. Ohurõhu ( $p$ ) suundgraafik jaanuari kõikide vaatluste andmetel.

maksimumis SW-W tuulte korral. Raskete ionide tihedus ( $N_2$ ) on molioonide tihedusega ( $n_1$ ) antibaasis.

Võrreldes talvekuude (jaanuar, veebruar ja märts) suundgraafikus puhkepäevadel teostatud vaatlusmaterjali alusel saadud raskete ionide tiheduse ( $N_2$ ) keskmisi teistel päevadel saadud raskete ionide tiheduse keskmistega selgus, et vabrikute, käitiste jne. poolt põhjustatud tuumad, põlemisproduktid võivad ülimalt kuni 20–30% ulatuses suurendada raskete ionide tihedust.

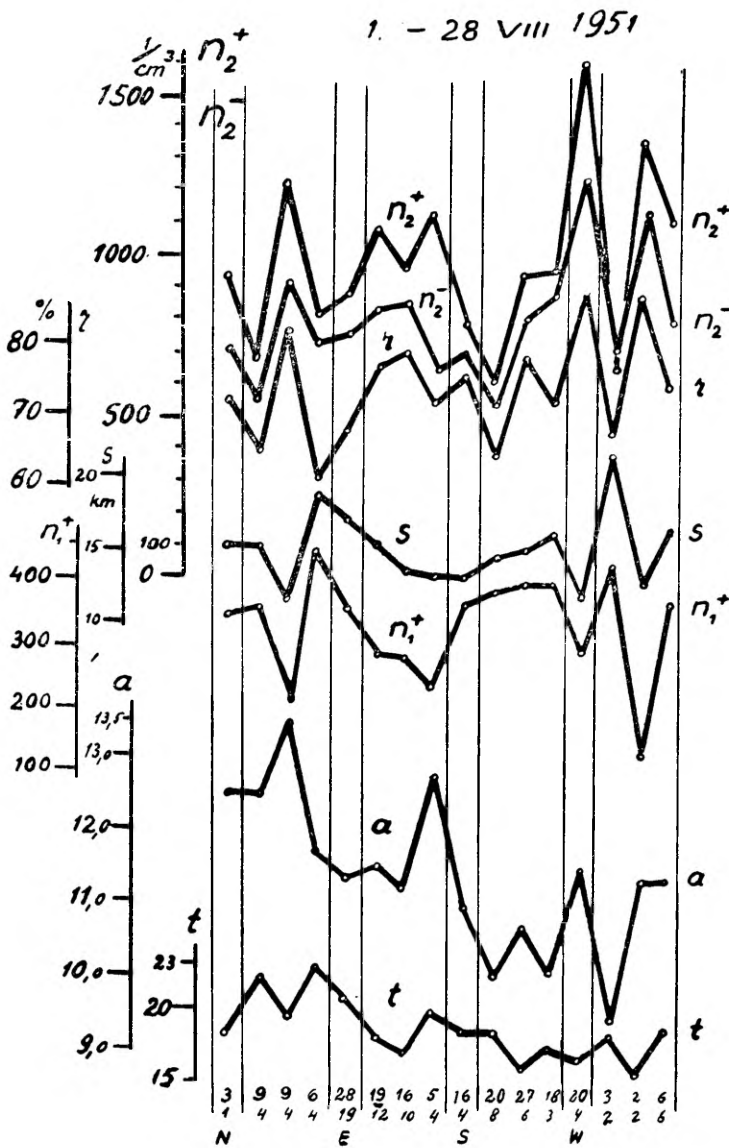
Kõiki sajupäevade vaatlusi läbi töötades selgus, et sademete puhul on raskeid ioone ( $N_2$ ) vähe. Eriti märkimisväärselt vähe on olnud külmal poolaastal raskeid ioone novembri- ja detsembrikuu tsüklonaalse olukorraga seotud suure tugevusega tuulte ja sademete puhul.

Sellised tähelepanekud virgutasid suundgraafikuid kasutama laiemalt ka seal, kus korrelatsiooniarvutus ei andnud loodetud tulemusi.

## 2. Ioonide tiheduse seos õhu niiskusega

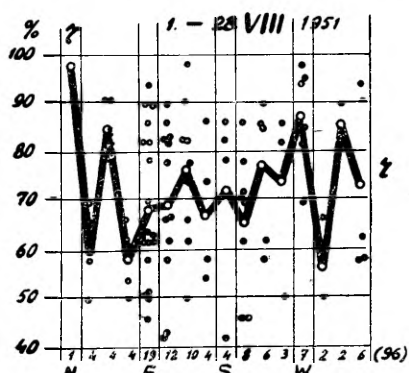
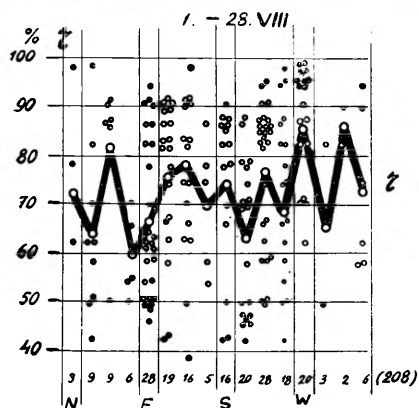
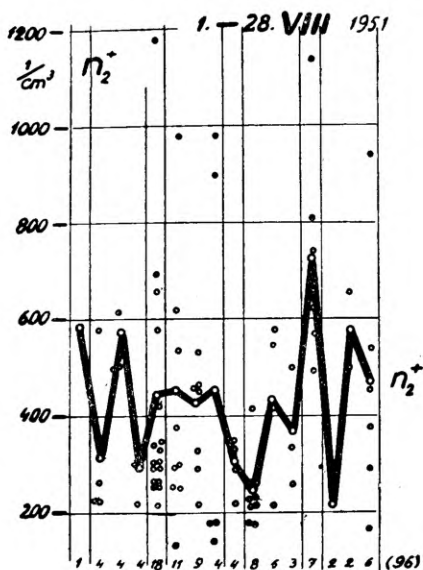
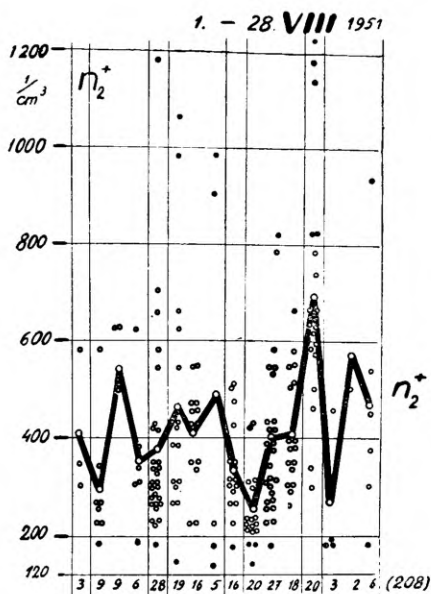
Raskete ionide tiheduse ( $N_2$ ) ja relatiivse niiskuse ( $r$ ) kuu korrelatsioonivälju jälgides ilmnes vaid, et üksikutel kuudel suure relatiivse niiskuse korral 90–100% oli märgata raskete ionide tiheduse ( $N_2^+$ ) vähenemist, kuid järeldusi korreleeruvuse kohta oli raske teha.

Kõrvutades aga ionide tiheduse ja relatiivse niiskuse suundgraafikuid kuude kaupa, ilmnes augustikuu suundgraafikuid ana-



Joonis 4. Augusti andmetel saadud suundgraafikud näitavad seost  $n_2$  ionide tiheduse ja relatiivse niiskuse ( $r$ ) vahel.

lüüsid esootamatult, et kerge ionide  $n_2^+$  ja  $n_2^-$  tiheduse keskmised ja relatiivse niiskuse  $r$  keskmised väärtused oma näival juhulikes võngetes tuule suuna järgi näitavad omavahel tihedat kokkukuuluvust (joonis 4). Joonisel on tähistatud vaid põhiilmakaared N, E, S ja W. Arvud ilmakaarte kohal näitavad vaatluste arve, mis on



Joonis 5.  $n_2$  ja  $r$  suundgraafikute vastavad hajumisväljad augusti kõikide vaatluste andmetel.

Joonis 6.  $n_2$  ja  $r$  suundgraafikute vastavad hajumisväljad augusti 4 tunni (kl. 01, 07, 13 ja 19) vaatluste andmetel.

teostatud vastava tuule suuna korral. Ioonide tiheduse, relatiivse niiskuse ja temperatuuri määramiseks on teostatud 208 mõõtmist (ülemine arvude rida), absoluutse niiskuse\* ja nähtavuse määramiseks on teostatud 96 mõõtmist (alumine arvude rida).

Kõrvutades hajumisvälju kergeete ionide tiheduse ( $n_2^+$ ) ja relatiivse niiskuse ( $r$ ) kohta lahutatult tuule suundade järgi näeme

\* Absoluutset niiskust kasutatakse käesolevas töös veeaururõhu asemel.

augustikuu vaatlusmaterjali alusel, et kõigi vaatluste (208) alusel saadud pilt (joonis 5) ei erine oluliselt sellest pildist, mis on saadud ainult kella 01, 07, 13 ja 19 (kkpa.) vaatluste (96) alusel (joonis 6).

Jooniste 5 ja 6 sarnasus näitab, et uuritavate elementide iseloomulik käik on küllalt hästi tabatud juba nelja vaatlusega ööpäeva kestel. Selline tõsiasi on ilmnenu ka teiste seoste analüüsil ja päevakeskmised, mis on saadud 24-tunniliste vaatlusseerijate alusel, ei erine märgatavalt kell 01, 07, 13 ja 19 teostatud vaatluste päevakeskmistest.

Esitatud näidete korral on tegu kahe muutuvaga, millede omavahelisele tihedale seosele viitab nende näivalt juhuslike võnkumiste päri- või vastaskäik.

Kui seos kahe nähtuse vahel, kasutades Bauri sõnu [14], avaldub nendes võnkumistes, mitte aga päri- või vastupidises sekulaarses käigus, siis on korrelatsioon „ehtsaks” nimetatav, kuna vastasel korral on tegemist „näiva” korrelatsiooniga.

Nii võiks joonise nr. 4 puhul rääkida ehtsast korrelatsioonist  $r$  ja  $n_2$  vahel, kuigi on tegu ainult ühe vaatluskuu 208 väärtuspaariga; veelgi enam — võib väita, et seose tihedus peab siin kinnituma ka üksikvaatlustes, mitte ainult suurema arvu juhuste keskmistes arvudes. Teiste sõnadega — seos peaks olema sisuline, füüsikaliselt põhjendatav. See seos relatiivse niiskuse ja kerge te ionide tiheduse vahel väljendub erilise selgusega küll augustikuul, kuid ta on, nagu üksikasjaline uurimine kinnitas, üldiselt kehtiv soojal poolaastal (aprillist kuni septembrini).

Avastatud seose üksikasjadesse lubab tungida alles üksikvaatluste põhjalik analüüs. Võttes vaatluste alla sama augustikuu kõigi vaatluspäevade keskpäevased vaatlused (kell 13 kkpa.), näeme kerge te ionide tiheduse ( $n_2^+$ ) erakordset kasvu, kui relatiivne niiskus ( $r$ ) on ületanud 70% piiri (joonis 7).

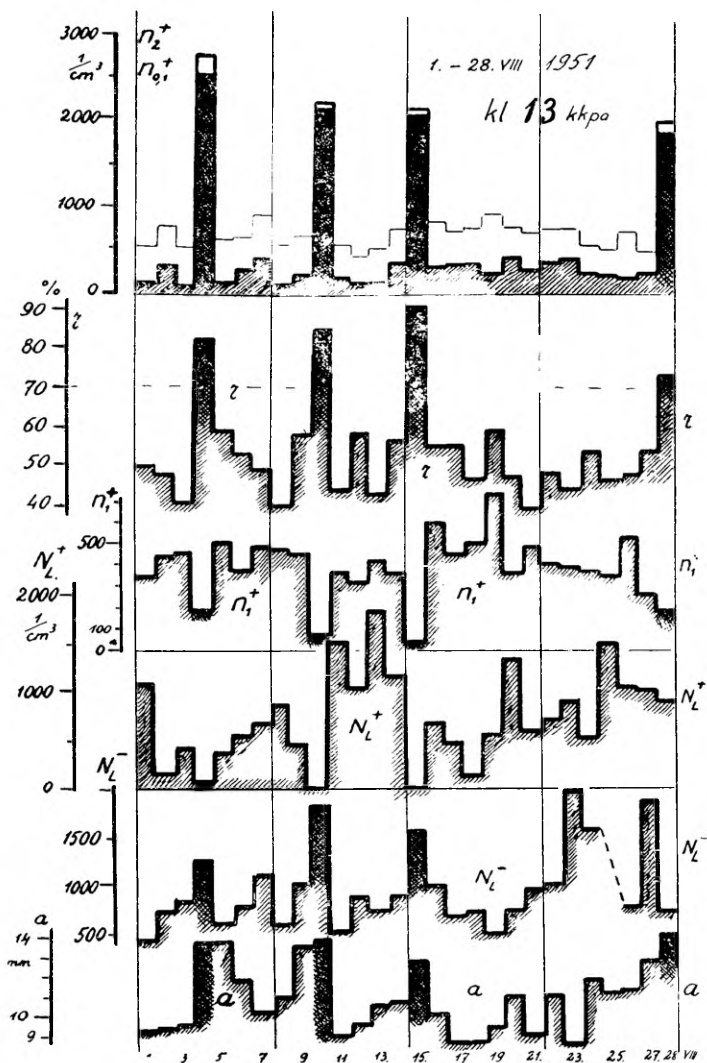
Joonise ülaosas on kõrvuti kerge te ionide  $n_2^+$  tihedusega viirutatud sambana kujutatud vahepealsete ionide tihedus ( $n_{0,1}^+$ ) kui kerge te ionide ( $n_2^+$ ) ja molioonide ( $n_1^+$ ) tihedusarvude lahutamise tulemus.

Analoogiline pilt ilmneb ka negatiivsete kerge te ( $n_2^-$ ) ja vahepealsete ionide ( $n_{0,1}^-$ ) tiheduse kasvus, kui relatiivne niiskus ületab 70%.

Samuti nagu augustikuul \* võime ka teistel suvekuudel (alates maikuust), kus kõrvaltegurid on olnud vähem segavad, kindlaks teha ilmekat relatiivse niiskuse mõju kerge te ionide tihedusele (joonis 8).

---

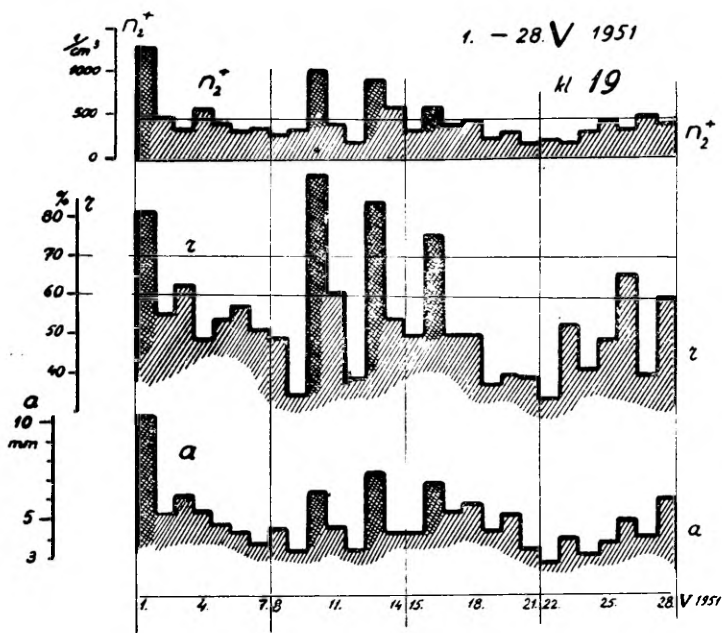
\* Augustikuu (1951. a.) oli erakordselt kuiv kuu. Keskmise augustikuu sademete hulk (kõigil vaatluspäevadel) oli 7,8 mm, kuna 1923.—1935. a. keskmine sademete hulk augustis oli 95,0 mm. Siinkohal tuleks märkida, et meteoroloogiliste elementide kuukeskmised 1951. a. ei erinenud märgatavalt pikemaajaliste vaatluste kuukeskmistest Tartus, välja arvatud sademetevaesus augustikuul.



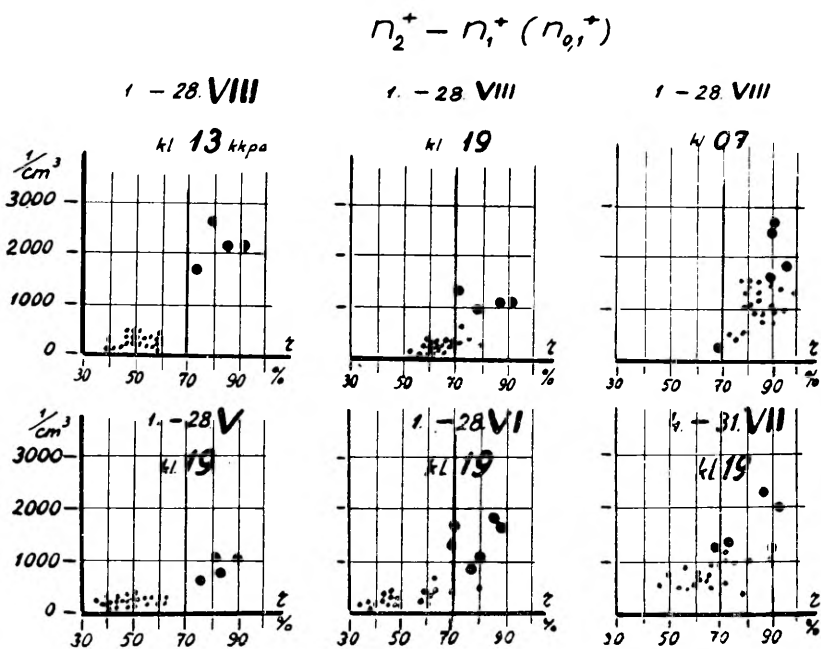
Joonis 7. Suundgraafikus (joonis 4) tähele pandud  $n_2$  ja  $r$  vahelise seose analüüs üksikvaatluste (kell 13) andmetel.

Relatiivse niiskuse erinev mõju vahepealsete ionide tihedusele 70% piiril suvekuudel paistab silma ka komponenthajumisväljadest (joonis 9).

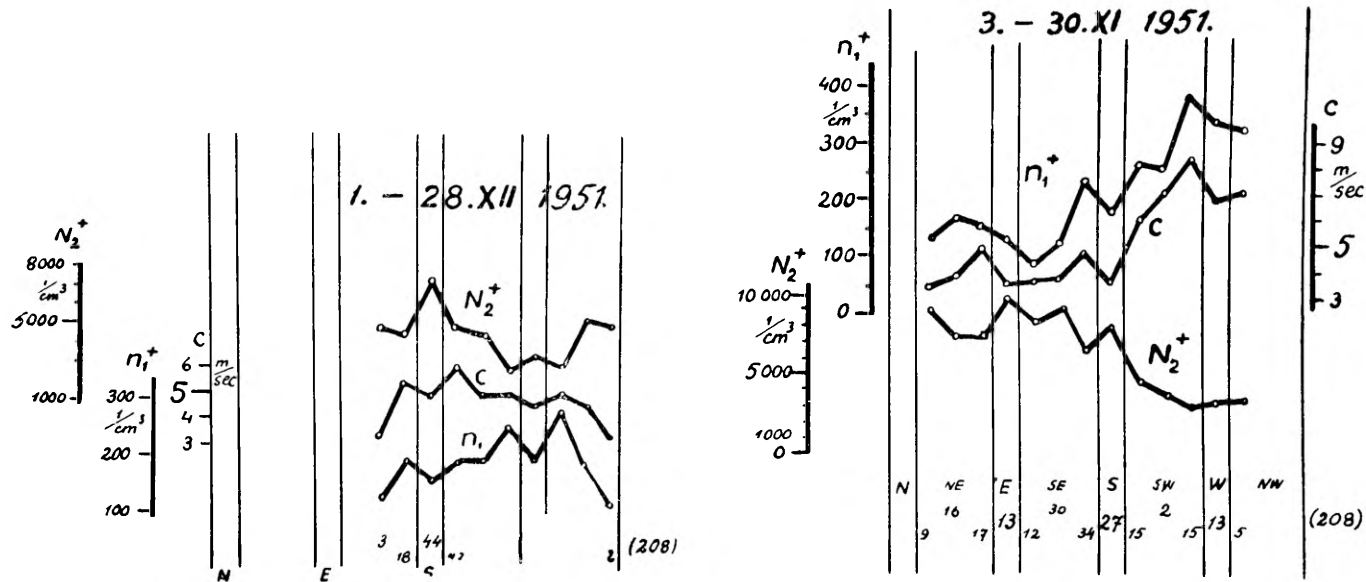
Nii analüüsides sooja poolaasta (aprillist kuni septembrini) vaatlusmaterjale võime väita, et kergete ja ka vahepealsete ionide tiheduse kasvuhüpe esineb sel juhul, kui relatiivne niiskus on jõudnud 70% piirini ja ületab selle.



Joonis 8.  $n_2$  ja  $r$  käik maikuu kl. 19 üksikvaatluste andmetel.

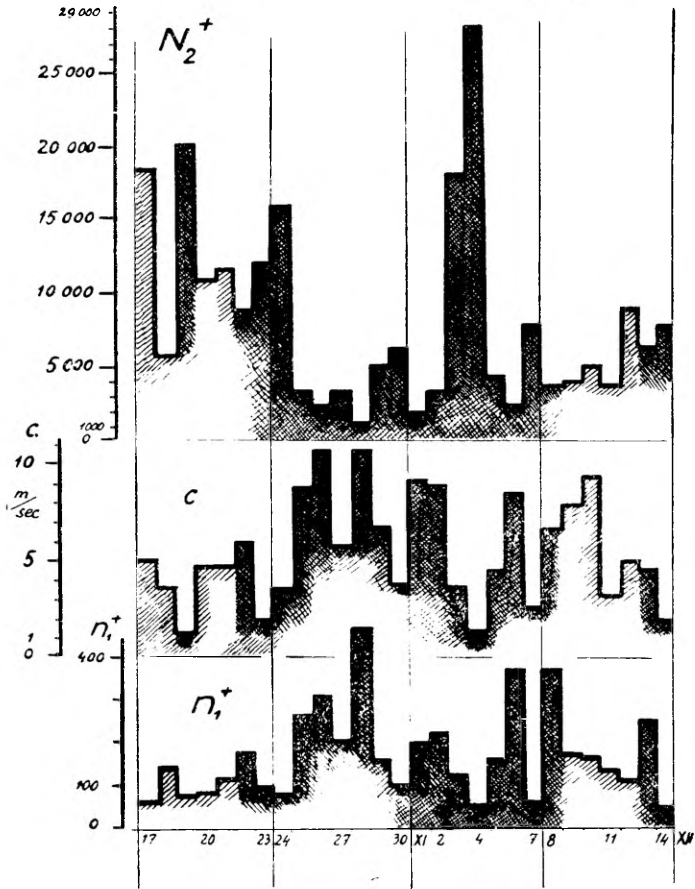


Joonis 9.  $n_2$  ja  $r$  seos mai-augusti üksikvaatluste andmetel.



Joonis 10. Ioonide tiheduse ja tuule tugevuse suundgraafikud novembri ja detsembri andmetel.

17. - 30. XI ; 1. - 14. XII 1951



Joonis 11.  $N_2^+$  ja  $C$  käik tsüklonaalse ilmastiku perioodil kl. 07 üksikvaatluste andmetel.

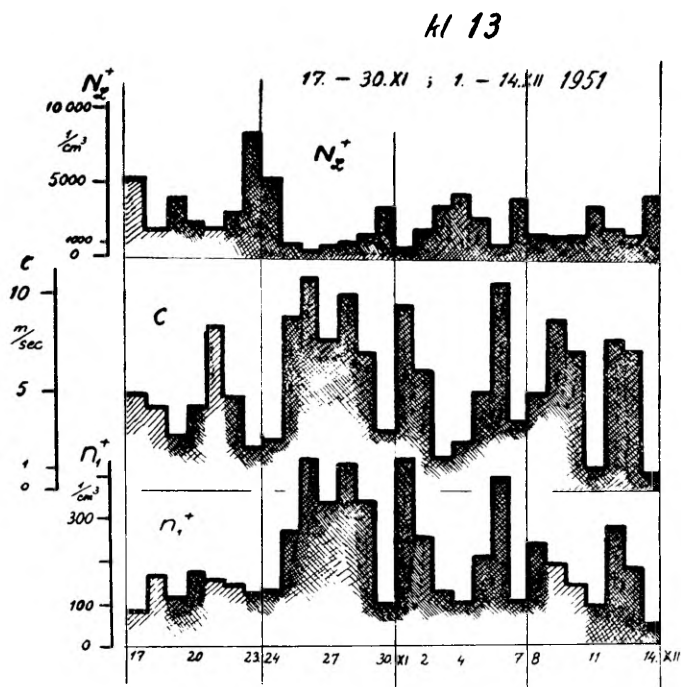
Seejuures ilmneb veel tõsiasi, et  $n_2$  ja  $n_{0,1}$  kasvu puhul ühe aegselt relatiivse niiskuse kasvuga on kasvanud ka absoluutne niiskus (küllastunud veeauru rõhk) (joonised 7 ja 8).

Ühenduses käsitletud küsimusega ilmneb veel järgmine fakt: Langevin'i ( $0,001 > k \geq 0,00025 \text{ cm}^2/\text{sek}$  volt) positiivsete ionide ehk  $N_L^+$  tihedus langeb, kuid  $N_L^-$  tihedus üldiselt tõuseb olukorras, kus kerged ionid  $n_2$  olid hüppelises tõus. Samal ajal on molioonide tihedus alati olnud languses (joonisel 7).

Käesoleva töö eesmärgi kohaselt on tähtis, et suundgraafikute najal on jõutud seosele, mis näib füüsikaliselt põhjendatud olevat ja väärrib lähemat uurimist.\*

### 3. Tuulte toimest ionide tihedusele

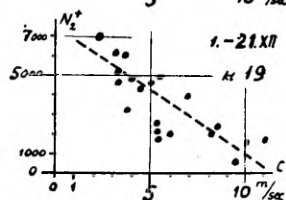
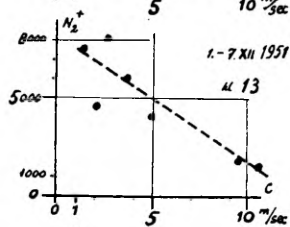
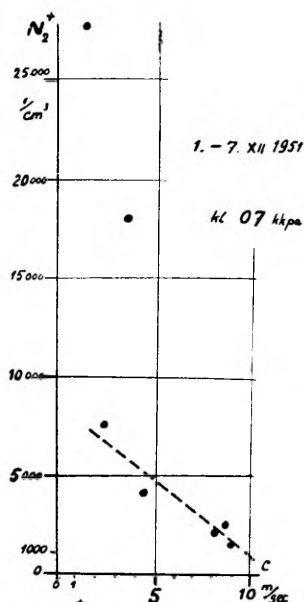
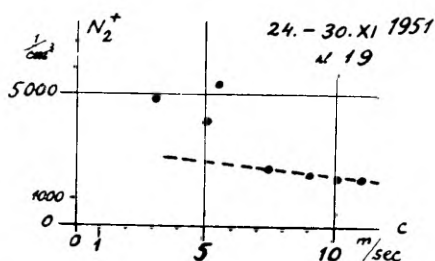
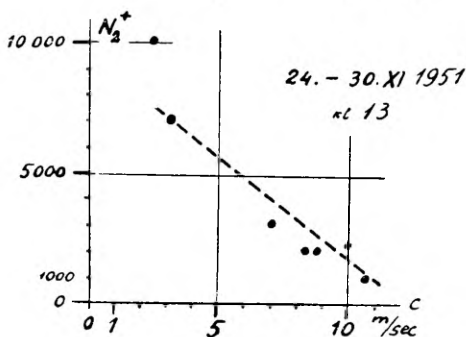
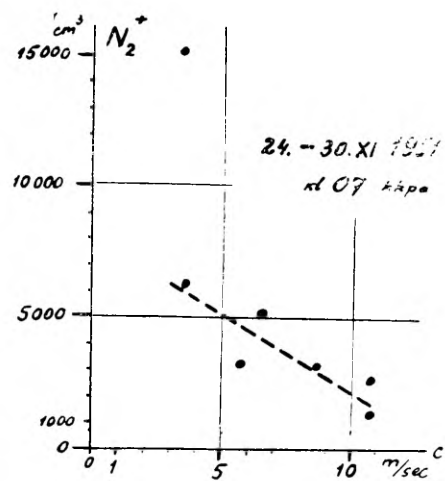
Suundgraafikute analüüsil ilmses, et raskete ionide kui ka molioonide tiheduse ja tuule tugevuse vaheline seos on kõige silmapaistvam talvekuudel.



Joonis 12. Langevin'i ionide tiheduse ( $N_2^+$ ) ja  $C$  käik tsüklonaaelse ilmastiku perioodil kl. 13 üksikvaatluste andmetel.

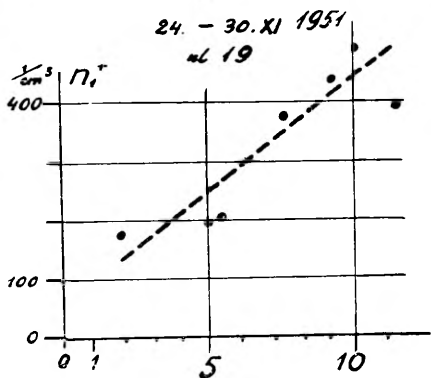
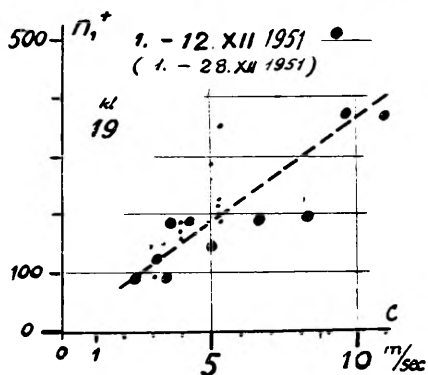
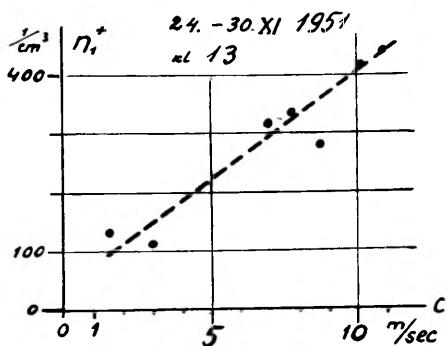
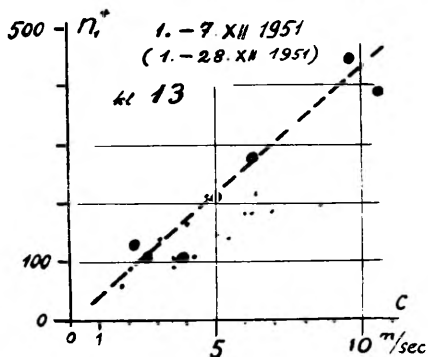
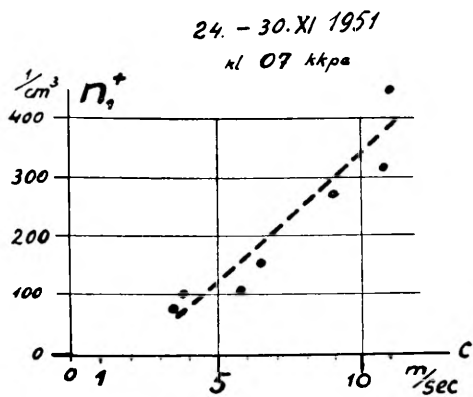
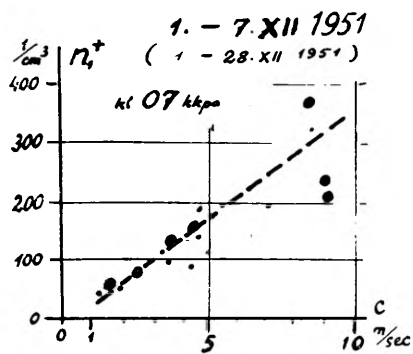
Eriti silmapaistvale seosele viitavad novembri- ja detsembrikuu suundgraafikud (joonis 10). Mainitud kuudel oli tuule tugevus aasta maksimaalne.

\* Kergete ja vahepealsete ionide esinemist atmosfääris Tartus on J. Reineti [2] poolt varem lühidalt kirjeldatud. Hiljem on J. Reinet seda küsimust edasi uurinud, analüüsides atmosfääri ionide spektri erinevust soojal ja külmal poolaastal, ja andnud selle nähtuse tõlgenduse, mis rahuldavalt selgitab Israeli [3], Wright'i [15] jt. poolt tähelepanud nähtuse põhjused, arvesse võttes uusimaid andmeid atmosfääriliste tuumade (aerosoolide) struktuuri muutumise kohta.



Joonised 13 ja 14.  $N_2^+$  ja  $C$  sõltuvus tsüklonaalsel perioodil.

Avastades suundgraafikute abil teistest kõrvalmõjudest vähem häiritud piirkonna, kus seos võiks esineda, tuleb tungida selle piirkonna üksikvaatlusteni. Joonised 11 ja 12 esitavad tsüklonaalse tegevuse perioodil tehtud üksikvaatluste tulemusi erinevatel kellaaegadel (kell 07 ja 13). Siit selgub, et tuule tugevuse kasvades raskete ionide ( $N_2^+$ ) tihedus üldiselt langeb ja molioonide tihedus ( $n_1^+$ ) kasvab (joonis 11). Analoogiliselt raskete ionidega käituvad

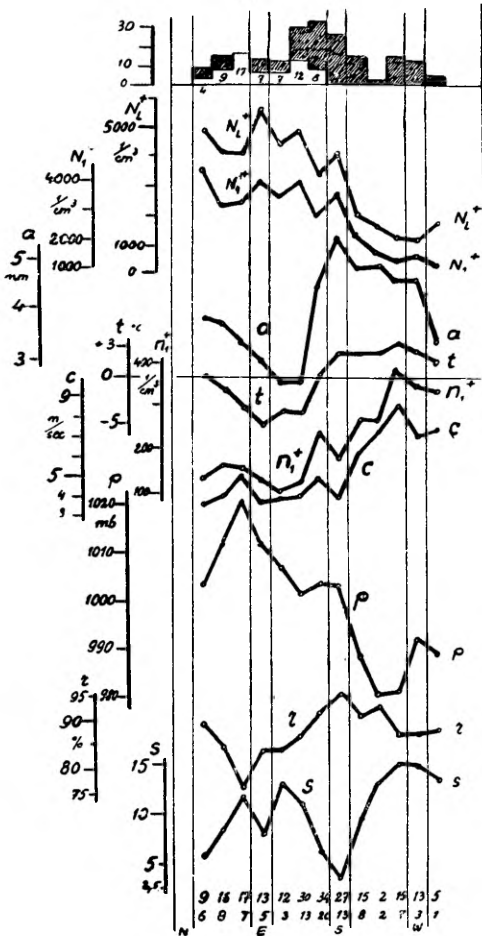


Joonised 15 ja 16.  $n_1^+$  ja  $C$  sõltuvus tsüklaalsel perioodil.

tuule tugevuse muutudes ka Langevin'i ioonid ( $N_L^+$ ) vastupidiselt molioonidele (joonis 12)

Minnes aga suundgraafikute poolt kättenäidatud teed edasi, saame tsüklaalse perioodi vaatlusmaterjalide läbitöötamisel teha oletuse seose kaju kohta ionide tiheduse ja tuulte tugevuse vahel (joonised 13—16) Vaatlusmaterjali läbi töötades selgus, et raskete

3. - 30. XI 1951



3. - 30. XI 1951

Joonis 17. Novembri sajupäevad ja suundgraafikud. Novembri suundgraafikute kohale on kujutatud viirutatud sambakestena sajupäevadel tehtud vaatluste arvud, millest nähtub, et S-W sektoris madal  $N$  ionide tihedus on mõjustatud tugeva tuule kõrval ka sademetest.

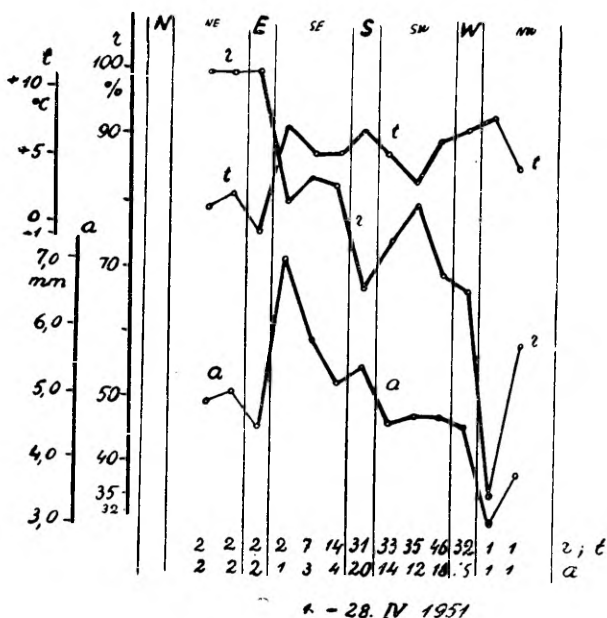
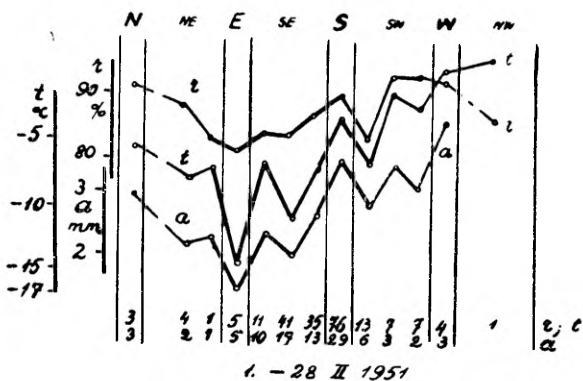
20). See suundgraafiku abil määratud tõsiasi annab võtme mõnede autorite poolt tähelepanud fakti seletamiseks, miks üks ja sama meteoroloogiline element (relatiivne niiskus) soojal ja külmal poolaastal erinevalt mõjustab ionide tihedust [4].

Ionide tihedus ja temperatuuri muutus talvepoolaastal näitas,

ioonide tihedus ( $N_2$ ) langeb ja molioonide tihedus ( $n_1$ ) kasvab esimeses lähenduses lineaarselt tuule tugevuse kasvuga. Võiks isegi järeldada, et ionide tihedus muutub seoses turbulentsi koefitsiendi muutusega. Suundgraafikute (joonis 17) abil teisi ionide tihedusele kaasamõjuvaid tegureid otsides ilmnes lähemal analüüsil, et raskete ionide tiheduse suur langus tsükloonaalsel perioodil S—W suunast puhuvate tuulte ajal on tingitud teataval määral sademetest (sademete ajal teostatud vaatluste arv on joonise ülemisel äärel viirutatud, valged tulbad on vaatluste arv ilusate ilmadega).

#### 4. Teisi näiteid suundgraafiku kohta

Jälgides päeva keskmise temperatuuri  $t$  muutust kuust kuusse suundgraafikute järgi (joonis 18) näeme, et talvepoolaasta kuudel, mil temperatuur on alla  $0^\circ\text{C}$ , temperatuuri keskmine  $t$  ja relatiivse niiskuse keskmine  $r$  on samaaegselt tõusnud või languses, kuid suvekuudel juba aprillist peale vastab  $t$  tõusule  $r$  langus (joonised 19 ja



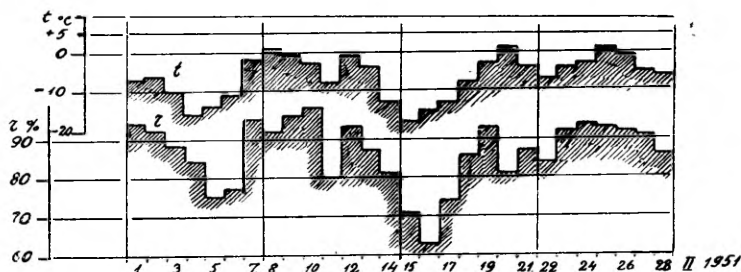
Joonis 18. Veebruari ja aprilli  $r$  ja  $t$  suundgraafikud.

et temperatuuri tõustes molioonide tihedus kasvab ja raskete ionide tihedus langeb. Selline tõsiasi peegeldub ka talvekuude suundgraafikutest (joonis 21).

Ionide tiheduse muutust siduda talvepolaastal otseselt temperatuuri muutustega ei näi füüsikaliselt põhjendatud olevat.

Tekib küsimus, kas see näiv seos ei ole peidetud ühe arvestamata teguri taha, mis ise on korreleeruv ionide tihedusega.

Schachli [13] uurimuste põhjal talvel temperatuuri tõustes väheneb tuumade arv järsult ja korrapäraselt. Autori poolt tähelepanud raskete ionide tiheduse muutust temperatuuri muutudes põhjustab seega atmosfääriliste tuumade arvu muutus, mis kahtlemata kajastub ka ionide tiheduse aastases käigus.



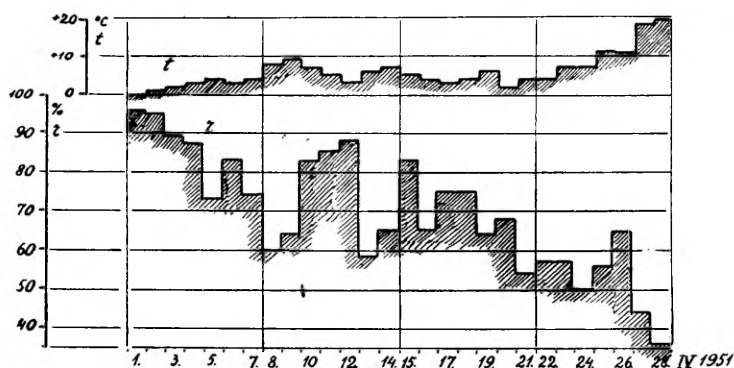
Joonis 19. Veebruari  $r$  ja  $t$  päevakeskmised —  $t$  langusele ( $t < 0^\circ$ ) vastab  $r$  langus.

Joonis 22 näitab, et talvelt suvele üle minnes (kuust kuusse) raskete ionide tihedus langeb ja kergete ning vahepealsete ionide tihedus kasvab.

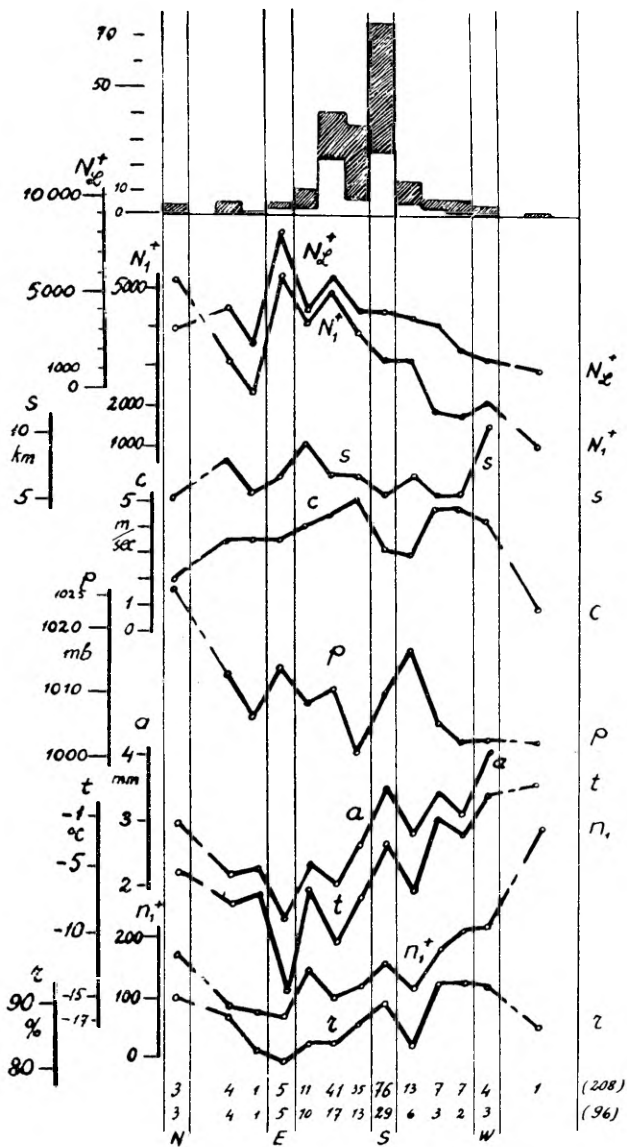
Ühtlasi kinnitab see tuntud tõsiasi, et erinevatel aastaegadel ja erinevate meteoroloogiliste tingimuste korral domineerivad erineva liikuvusega ionide grupid.

Sümbolid  $\triangle$ ,  $\odot$ ,  $\square$  on nende vaatluspäevade keskmised, kus on tehtud vaatlusi 3, 8 või 24 korda ööpäeva jooksul.

Korrapärasus, mis peegeldub vaatlusmaterjali aastases käigus, ilmneb veelgi suurema selgusega ka ionide tiheduse ööpäevase käigu puhul. Tartus teostatud atmosfääri raskete ionide tiheduse mõõtmistel 1951. a. ilmnis, et ööpäevases käigus öhtune maksimum



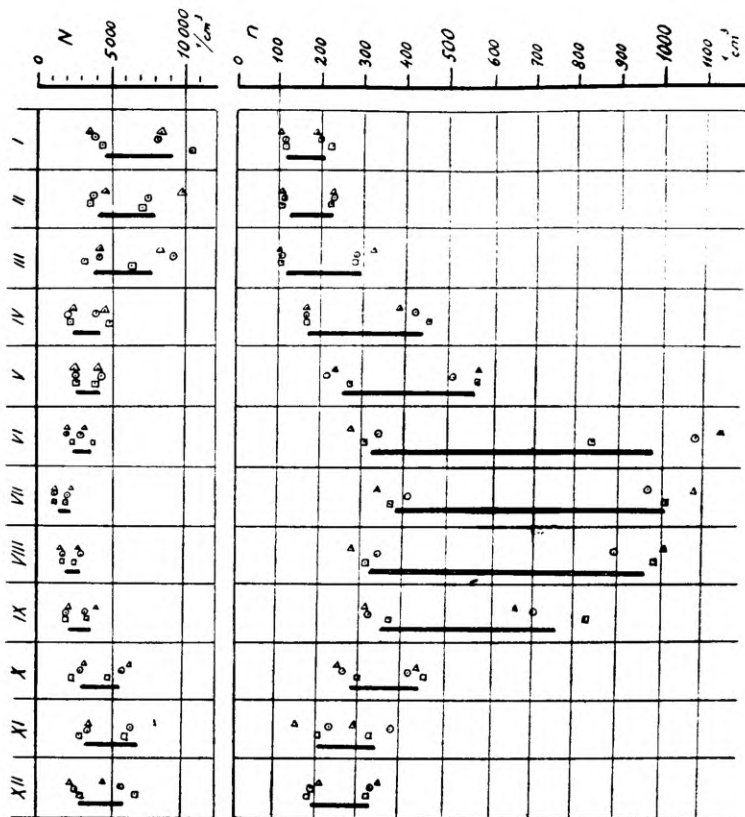
Joonis 20. Aprilli  $t$  ja  $r$  päevakeskmised —  $t$  tõusule ( $t > 0$ ) vastab üldiselt  $r$  langus.



1. - 28. II 1951

Joonis 21. Veebruari suundgraafikud.

nihkub edasi kooskõlas päikese loojangu ajaga kuust kuusse, nagu seda on potentsiaali gradiendi mõõtmistel Poolas 1950—1952 täheldatud [16]. Kuid raskete ionide tiheduse hommikune maksimum, püsides kohal, varieerub oma amplituudilt, kadudes suvekuudel (juuni ja juuli) ja ilmudes uuesti augustis (milline kuu ei kuulu



$\text{--- } N_2^+ - N_1^+$     ①...▲ PV  
 ②...○ VV  
 ③...□ EV

$\text{--- } n_2^+ - n_1^+$

Joonis 22. Ionide tiheduste aastane käik. Sirglõigud näitavad Langevin'i ja vahepealsete ionide tiheduste aastast käiku, mis on saadud vastavalt  $N_2$  ja  $N_1$  või  $n_2$  ja  $n_1$  ionide tiheduste keskmiste lahutamisest.

kütteperioodi kuude hulka), nagu seda on täheldanud ka Wait ja Torreson [4].

Olgu rõhutatud, et käesolevas töös mainitud suundgraafikute võttel on ulatuslikust vaatlusmaterjalist atmosfääri ionide tiheduse mõõtmise alal, kus esinevad süstemaatilised ja isegi lokaalsed mõjud, suudetud välja selgitada tõsiasju, mis korrelatsiooniarvutusel jäävad tähele panemata. Analoožilistel uurimistel, kus on mõõdetud paljusid kaasamõjuvaid faktoreid, on rikkaliku vaatlusmaterjali korral suundgraafiku meetod seoste otsimisel kahtlemata vajalik.

## Kokkuvõte

1. Korrelatsiooniarvutust atmosfäärielektriliste ja meteoroloogiliste elementide vahel ei ole otstarbekohane rakendada kogu aastase vaatlusmaterjali alusel, sest mõned meteoroloogilised elemendid (niiskuse) korreleeruvad ionide tihedusega erinevalt (isegi vastupidiselt) soojal ja külmal aastaajal.

2. Kahe muutuja korrelatsiooniväljadest ja lineaarse korrelatsiooni koefitsientidest tehtud järeldustega tuleb olla ettevaatlik, sest tegurite vastastikuse seose korral vaatlusmaterjali ümbergrupeerimisel võime saada vasturääkivaid tulemusi (tab. 2).

3. Atmosfääriliste elementide (nähtuste) mõju selgitamisel ionide tihedusele tuleb (eriti linna olukorras) hankida rohkearvuline vaatlusmaterjal kogu aasta ulatuses ja grupeerida see aasta-aegade (suvi, tali) või kuude viisi, sest mõned meteoroloogilised elemendid mõjustavad külmal ja soojal aastaajal ionide tihedust erinevalt.

4. Et välja selgitada lokaalsete tegurite mõju ionide tihedusele, tuleb linnades või asustatud tsentrite läheduses rikkalik vaatlusmaterjal jaotada tuule suundade järgi, sest kohalikud tuumade allikad — vabrikud, kütised jne. asuvad vaatluspunkti suhtes kindlas suunas.

5. Tuule suuna alusel korraldatud hajumisväljas üksikute tuulte puhul teostatud vaatluste keskmised moodustavad suundgraafiku. Seoste avastamiseks tuleb kõigepealt kõigi kaasamõõdetud elementide suundgraafikuid võrrelda. Suundgraafikute näivalt juhuslikkude võnkumiste järgi võib avastada seose olemasolu.

6. Seoste olemasolu avastamisel tuleb üksikutes tuulte sektorites asuda vaatlusmaterjali läbitöötamisele, mis peab ulatuma üksikvaatlusteni.

7. Käesolevas töös on suundgraafikute meetodil leitud, et:

1) Kergete ja vahepealsete ionide tiheduse muutumises relatiivse niiskuse kasvuga esineb kasvuhüpe siis, kui soojal aastaajal relatiivne niiskuse on jõudnud 70% piirini ja ületab selle.

2) Raskete ionide kui ka molioonide tiheduse ja tuule tugevuse vaheline seos on kõige silmapaistvam talvekuudel.

Tsüklonaalsel perioodil raskete ionide tihedus langeb ja molioonide tihedus kasvab esimeses lähenduses lineaarselt tuule tugevusega.

3) Raskete ionide tiheduse langus tsüklonaalsel perioodil linna olukorras on tingitud peamiselt sademetest.

## KIRJANDUS

1. Тверской, П. Н. Атмосферное электричество, Ленинград, 1949.
2. Рейнет, Я. Ю. Труды ГГО, 58(120), 23, 1956.
3. Israël, H. Gerl. Beitr. z. Geophys., 57, 261, 1941.
4. Wait, G. R. and Torreson, O. W. Terr. Magn. and Atm. Electricity, 39, 111, 1934.

5. Зверев, А. С. и др. Курс метеорологии (Физика атмосферы). Под ред. проф. П. Н. Тверского, Ленинград, 1951.
6. Rietz, H. L. Handbuch der mathematischen Statistik, Leipzig und Berlin, 1930. Deutsche Ausgabe.
7. Чернявский, Е. А. Труды Ташкентской геофиз. Обсерват., 2(3), 47, 1949.
8. Кулагин, Д. И. Труды Ташкентской геофиз. Обсерват., 2(3) 56, 1949.
9. Паничкина, З. В. Труды Ташкентской геофиз. Обсерват., 2(3), 62, 1949.
10. Israëli, H. Gerl. Beitr. z. Geophys., 23, 144, 1929.
11. Israëli, H. Gerl. Beitr. z. Geophys., 26, 283, 1930.
12. Israëli, H. Gerl. Beitr. z. Geophys., 57, 247, 1941.
13. Schachl, P. F. Gerl. Beitr. z. Geophys., 38, 202, 1933.
14. Baur, F. Met. Zs., 47/2, 42, 1930.
15. Linke, F. Met. Zs., 58/4; 127, 1941.
16. Калиновская - Видомская, Е. Acta geophys. polon., 1955, 3; № 2; 49—61.

## ОБ ИССЛЕДОВАНИИ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ПЛОТНОСТЬЮ АТМОСФЕРНЫХ ИОНОВ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Х. Марран

Резюме

1. Не целесообразно применять корреляционное исчисление одновременно ко всему годичному материалу наблюдений, ибо некоторые из метеорологических элементов (влажность) коррелируют с плотностью ионов по-разному (даже противоположно) в теплое и холодное время года.

2. Следует относиться с осторожностью к выводам, сделанным на основе корреляционных полей и коэффициентов линейной корреляции, так как в случае взаимной связи между аргументами, при перегруппировке материала, результаты могут оказаться противоречивыми (табл. 2.).

3. Для вычисления факта влияния атмосферных явлений на плотность ионов следует (особенно в городских условиях) собирать материал за целый год и группировать этот материал по временам года (лето, зима) или по месяцам, так как некоторые метеорологические элементы по-разному влияют на плотность ионов в теплое и холодное время года.

4. Для изучения влияния местных факторов на плотность ионов следует в городах или вблизи населенных пунктов материал наблюдений распределять по направлениям ветра, ибо местные источники ядер — фабрики, заводы и т. д. — расположены в известном направлении от пункта наблюдения.

5. Средние, вычисленные по данным наблюдений для отдельных направлений ветра и отмеченные на поле рассеяния данных по направлениям ветра, создают направляющий график (или символически *W*-график). С целью нахождения связей следует в первую очередь сравнить *W*-графики всех одновременно измеренных элементов. Если случайные на вид колебания на *W*-графиках показывают подобный или противоположный по виду ход, то возможно существование связи между изучаемыми элементами.

6. При наличии заметной связи между изучаемыми переменными следует приступить к обработке материалов наблюдений по отдельным направлениям ветра, непременно охватывая отдельные, индивидуальные наблюдения.

7 В данной работе по методу  $W$ -графиков установлено следующее:

(1) Рост плотности легких и промежуточных ионов в теплое время года происходит скачкообразно, при условии, что относительная влажность достигает 70% и больше.

(2) Связь как тяжелых ионов, так и молионов со скоростью ветра выражена лучше всего в зимние месяцы.

При циклональной погоде плотность тяжелых ионов уменьшается, а плотность молионов увеличивается в первом приближении линейно с увеличением скорости ветра.

(3) Уменьшение плотности ионов при циклональном периоде обусловлено в условиях города главным образом осадками.

# SOME INVESTIGATIONS CONCERNING THE CONNECTION BETWEEN THE DENSITY OF THE IONS IN THE ATMOSPHERE AND METEOROLOGICAL FACTORS

H. Marran

## Summary

1. It is not expedient to apply the correlation computations for the relations between meteorological factors and atmospheric-electrical elements to data covering the observations of a whole year, as certain meteorological factors (e. g. humidity) correlate to the density of ions differently (even conversely) during the warm and cold seasons.

2. One must be careful in handling conclusions drawn from two-variable correlation fields and linear correlation coefficients since, in cases where these factors are interrelated, rearrangement of the data may lead to conflicting results (tab. 2).

3. In order to ascertain the effect of atmospheric elements (phenomena) on the density of ions, it is necessary (especially in urban areas) to gather ample data covering the whole year and classify them according to seasons (summer, winter) or months, as the effect of certain meteorological factors on the density of ions varies in the cold and warm seasons.

4. In order to determine the effect of local factors on the density of ions in towns or in the vicinity of populated centres, it is necessary, after gathering abundant material, to classify it according to the directions of the wind, as the local sources of nuclei, factories, workshops, etc., are situated in a definite direction from the post of observation.

5. The averages of the data for separate winds, obtained from a diffusion field arranged according to the direction of the wind, are used to draw up a direction graph. In order to disclose the interrelations the direction graphs of all the elements measured at the same time must first be compared. When the seemingly accidental deviations in the various direction graphs follow similar patterns or, as sometimes happens, show contrary patterns, this points to the existence of some such interrelation.

6. Once the existence of an interrelation has been ascertained, it is necessary to work over the data for the separate wind sectors, taking into account every single observation.

7 The present investigation, which is based on the method of direction graphs, shows that:

(1) A growth of relative humidity is accompanied by a leap in the density of small and intermediate ions when the relative humidity has reached and surpassed the limit of 70% in the warm season.

(2) The interconnection between the density of both large ions and molions and the force of wind is most noticeable during the winter months.

During the cyclonic period the density of large ions decreases and that of molions increases in the first approximation in linear relation with the force of the wind.

(3) In urban districts the decrease in the density of large ions during the cyclonic period is mainly due to precipitation.