

Δ 16527
EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA
АКАДЕМИЯ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР

TEADUSLIK SESSIOON

23.—29. APRILLINI 1947

НАУЧНАЯ СЕССИЯ

23—29 АПРЕЛЯ 1947 г.

В

FÜSİKALIS-MATEMAATILISTE JA TEHNILISTE
TEADUSTE OSAKONNA ISTUNGID
ЗАСЕДАНИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК



РК „ТЕАДУСЛИК КИРЖАНДУС“

A-1652/

EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA
АКАДЕМИЯ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР

TEADUSLIK SESSIOON

23.—29. APRILLINI 1947

НАУЧНАЯ СЕССИЯ

23—29 АПРЕЛЯ 1947 г.

В

FÜSİKALIS-MATEMAATILISTE JA TEHNILISTE
TEADUSTE OSAKONNA ISTUNGID
ЗАСЕДАНИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК



RK „TEADUSLIK KIRJANDUS“
TARTU, 1948

I.

Põlevkivituha sideainelisi omadusi.

J. Anso.

Põlevkivi põletamisel järelejääva tuha sideainelisi omadusi on märgitud juba peaaegu põlevkivi kasutamisele võtmisest alates. Vanimaks uurimuseks sel alal on Tartu Ülikooli Keemia-instituudis tehtud W. Meder'i töö (1927. a.), milles on juba toodud isegi teatav kalkulatsioon põlevkivituhk-sideaine-tehase ehitamiseks. Tänapäeval, s. o. 20 aastat hiljem, ongi jõutud selleni, et põlevkivituhast valmistatava sideaine tehase ehitamisel. Sellega ei ole sugugi öeldud, et kõik küsimused oleksid juba rahuldavalt lahendatud. Põlevkivi mineraalosast optimaalsete omadustega sideaine saamiseks on vajalik teada, missugused on omadused neil tuhkel, mis saadakse jõujaamade koldeist, ja missuguste omadustega tuhka-sideainet võiksime teoreetilistel kaalutlustel ja praktiliselt üldse saada. Nende küsimustega on tegelnud ENSV TA Tööstusprobleemide Instituut (end. ETTUK) ja sellesuunaliste uurimiste algmed ulatuvad 1939. aastasse. Siinkohal on piirdutud saavutatud tulemuste esitamisega.

Uurimistöödel kasutati 1) tuhka V. Kingissepa nimel. tselluloosivabriku ja 2) „Kave“ šokolaadivabriku küttekolletest, 3) Tallinna Linna Elektriijaama küttekolletest saadud tuhka (viimastest ka tsüklontuhka), 4) Kohtla-Järve õlivabriku generaatorituhka, 5) Kiviõli õlivabriku poolkoksi ja 6) Tallinna Linna Gaasivabriku koksi.

Tulemusi ja kokkuvõtteid.

Kasutades mujal ja Tööstusprobleemide Instituudis tehtud analüüse selgub, et põlevkivi mineraalosa üldine koostis ei ole

püsiv ning on sõltuv tootmiskohast ja tootmisel teostatava sorteerimise ulatusest (peamiselt pae kõrvaldamisest). Aluseliste moodulite $\frac{\text{CaO} - \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$ suurus nende analüüside järgi kõigub 0,46 kuni 1,19 vahel. Küttekolletest saadavate tuhkade, poolkoksude ja koksi puhul on see suurus 0,48 kuni 2,01. On huvitav märkida, et 1945. ja 1946. a. tehtud analüüsid näitavad kõrgeimat aluselise mooduli suurust kui varasemad analüüsid.

Põlevkivi ei ole homogeenne orgaanilise aine ja mineraalosa segu, vaid sisaldab tükkidena tihedalt liitunud lubjastunud kivitsi, lubjapaoteri, savi, kvartsi ja orgaanilist ainet. Selle asjaolu mainimine siin tundub võib-olla liigsena, kuid arvestades, et põlevkivi põlemisel toimuvad sideaine tekkimise reaktsioonid kulgevad peaaesjalikult tahkes faasis, on märgitud asjaolul oluline tähtsus.

Nagu näitavad Kohtla-Järve õlivabrikust ja Kiviõli õlivabrikust võetud 5 päeva keskmised proovid, võib lühemate perioodide vältel toodud materjal olla võrdlemisi ühtlase koostisega.

Kui arvestada varem kasutusel olnud põlevkivi sortidesse jaotamist, kus

- I-a sort — põlevkivi, mis jäi sõelale 40×40 mm,
- I-b „ — mis läbis sõela 40×40 mm ja jäi sõelale 15×15 mm,
- II „ — eriliselt sortimata ja
- III „ — põlevkivi, mis läbis sõela 15×15 mm,

ning kasutada 7 aasta jooksul tehtud analüüside keskmisi, siis ilmneb, et mineraalosa hulga poolest on rikkaim III sort ja mineraalosa hulk alaneb järjekorras I-b—II—I-a sort ning karbonaatidesisalduse poolest on rikkaim II sort ja karbonaatide hulk alaneb järjekorras I-b—I-a—III sort. Sellest järeldub, et III sordi põlevkivi tuha aluseline moodul peab olema madalam kui teistel sortidel.

Suurem osa analüüsitud põlevkivituhkadest langeb romaantsementidele vastavasse koostiste piirkonda.

Füüsikalistest konstantidest märgitagu:

	Mahukaal		Erikaal
	puistatult	raputatult	
Kasutatud põlevkivituhkade puhul	0,824—1,210	0,990—1,570	2,43—2,86
Tsüklontuhal	0,844—0,875	1,054—1,110	2,51—2,62
Gaasivabriku-koksil	0,625	0,868	2,71

Sideaine uurimisel on olulised sellest valmistatud katsekehade surve- ja tõmbetugevused. Survetugevuste määramiseks kasutati $7,07 \times 7,07 \times 7,07$ cm mõõtmetega kuupe ja tõmbetugevuste määramiseks ∞ -kujulisi katsekehi. Erinevuseks tavaliselt tsementide jm. puhul kasutatavast viisist oli, et kõik proovid tehti plastilisest segust 1:3 (kui ka 1:0).

Katsetel proovikehadega ilmnes:

1) Segule vee juurdelisamisel tõusis taigna temperatuur 4—36° kõrgemale ümbruse temperatuurist (18—20°), kusjuures juurdelisatud vee temperatuur oli 5—9° piirides. Katseolukorras saavutati maksimaalne temperatuuri tõus 1 kuni 3 tunni jooksul vee juurdelisamisest arvates, millal temperatuur hakkas uuesti alanema. Mõnede tuhkade puhul aga püsis temperatuur veel 4 tunni möödudes maksimaalsena. See näitab, et suurte masside puhul võib nii suur temperatuuri tõus ehitises deformatsiooni esile kutsuda. Väikesemõõtmeliste proovikehade puhul, kus jahtumispind on suur, ei olnud proovikehade tugevustes, olenevalt segu valmistamise ja seista laskmise ajast, erilisi vahesid märgata (osaliselt ka seetõttu, et tegemist oli plastilise seguga). Arvatavasti on võimalik seda pahet kõrvaldada segu jahutamisega, mis peaks aga toimuma enne tardumise algust.

Katsetatud tuhkade jne. puhul olid tardumisajad:

põlevkivituhal	algus 1 t. kuni 6 t. 35 min.,	lõpp 3 t.—15 t.
		45 min.,
tsüklontuhal	„ 3 t. „ 4 t. 30 „ „	9—22 t.,
gaasivabriku-koksil	algus 10 „ „	35 min.

Eriliselt paistab siin silma gaasivabriku-koksi kiire tardumine.

2) Mainida tuleb veel ammu kindlakstehtud tõika, et suurema jahvatuspeenuse puhul on proovikehade tugevused suuremad. Samuti näitab katse, et põlevkivituhast väljasõelatud peenem fraktsioon (sõel 1-cm² aukudega) annab jahvatatult paremate omadustega sideaine kui jämedam fraktsioon. Põhjuseks on siin asjaolu, et jämedamas fraktsioonis esineb suurel määral läbi põlemata paetükke ja räbu, millel ei ole sideainelisi omadusi.

3) Plastilisest segust valmistatud proovikehade (1 : 3) kuubitugevused ulatuvad kuni 100 kg/cm², olles aga siiski keskmiselt 50—60 kg/cm² piirides (56 päeva vanuselt), tõmbetugevused vastavalt 12—15 kg/cm²-ni.

Põlevkivituhk-tsemendi omaduste parandamiseks on katsetatud mitmesuguste lisanditega, nagu poolpõletatud dolomiit, kustutatud lubi, diatomiit, jahvatatud liiv, mitmesugused metallide kloriidid, telliskivijahu, portlandtsement ja kips. Neist mõjuvad kuubitugevust tõstvalt diatomiit, soolhape, kaltsiumkloriid, telliskivijahu ja portlandtsement, kuna muudel juhtudel on toime negatiivne või paremal juhul puudub.

Katsete tulemused näitavad, et põlevkivituhk-tsement ei ole üldiselt mahupüsiv. Erandi moodustab siin teataval määral tsüklontuhk, millest valmistatud 15 päeva õhu käes seisnud koogid jäid vees terveks. Soodustavalt mõjuvad mahupüsivusele diatomiidi- ja portlandtsemendi-lisand. Eriliselt tuleb mainida, et alumiiniumkloriidi (AlCl₃) 2%-line ja raudkloriidi (FeCl₃ · 6H₂O) 4%-line lisand muudavad põlevkivituha täiesti mahukindlaks. Kuivõrd on alumiiniumkloriidi ja raud(III)kloriidi juurdelisamine tegelikult rakendatav, peab esialgu lahtiseks jääma. Mahukindlust tõstab ka liivalisand (lahjendamine liivaga).

Vee suhtes on puht põlevkivituhast tehtud katsekehad mitte-püsivad — lagunevad vees. Liiva segul 1 : 3 valmistatud proovikehad on püsivamad. Nagu juba eespool tähendatud, moodustab ka siin tsüklontuhk erandi — sellest valmistatud proovikehade tugevus vees kasvab. Diatomiidi-, jahvatatud liiva ja kustutatud lubja lisandiga proovikehad lagunevad vees. Baariumkloriidi-, alumiiniumkloriidi- ja raudkloriidi-lisand alandavad vähesel

määral kuubitugevust, kuid see-eest on need proovikehad vees täiesti püsivad ja näiteks AlCl_3 -lisandi puhul ei alanenud kuubitugevus üldse, teiste puhul aga alanes väga vähesel määral (43-päevasel vees seismisel). Seejuures oli proovikeha raskuse juurdekasv (vee arvel) 6 kuni 10% piirides.

Kõik lisandid muudavad tuhktsemendi tardumise aegu kas lühendavalt või pikendavalt.

Näit. CaCl_2 juurdelisamisel pikeneb tardumisaeg, kuna CaO , BaCl_2 ja portlandtsement seda lühendavad. Kindlat reeglit ei ole siin tähele pandud.

Tuleb tähendada, et kõikide põlevkivituhkade puhul kasvavad kuubitugevused (ja seda peaaegu reeglipäraselt) kuni 56 päeva vanuseni enam-vähem lineaarselt. Sealt edasi vanemate proovikehade puhul on juurdekasv võrdlemisi väike või mõnedel juhtudel see isegi teataval määral alaneb. Nii on täheldatud paljude 20 kuu vanuste toas hoitud proovikehade kuubitugevuste alanemist. Selle nähtuse kohta esineb märkusi ka kirjanduses, kuid neid on põhjendatud juhusliku iseloomuga, mispärast see küsimus nõuaks veel täiendavaid tähelepanekuid, pealegi et neid märkusi esineb mitmel autoril.

Veel ei ole täiel määral lahendamist leidnud ka tuha vanuse mõju survetugevusele. Arvestades tegelikku olukorda, kus tuhk küttekoldeist viiakse välja nn. tuhamägedesse, tuleb arvata, et tuhk, alludes atmosfäärilistele mõjustustele, kaotab palju oma sideainelistest, eriti hüdraulilistest omadustest, sest õhus leiduv niiskus ja sademed viivad CaO üle Ca(OH)_2 -ks ja samuti lagunevad hüdrauliliste omadustega kaltsiumi teised ühendid. Teisest küljest mõjub CO_2 tekkinud kaltsiumhüdrosüüdile, mille järel lõpptulemusena resulteerub CaCO_3 , mis ei oma mingisuguseid sideainelisi omadusi. Järelikult tuleks oletada, et tuha pikemaegne õhus seismine mõjub tuha sideainelistele omadustele halvavalt. Tegelike katsete järgi (kirjanduse andmeil) ENSV põlevkivituhkadega ongi jõutud samade järeldusteni. Teisest küljest on aga literatuuris andmeid, et just tuhamäes seismine aitab kaasa põlevkivituha kui sideaine omaduste parandamisele ja tema

valmimisele (muuseas tuhk muutub mahupüsivaks). Et need seisukohad on diameetriliselt vastupidised, siis nõuab küsimus kindlasti edaspidist uurimist ja nende tegurite kindlakstegemist, mis mõjuvad tuha säilitamisel tuha omadustele parandavalt.

Vaatlesime põlevkivituhkade üldisi omadusi, nii nagu need ilmnevad olemasolevaist küttekoldeist saadavate tuhkade puhul. Tuleb loota, et need omadused ei ole optimaalsed ja neid saab parandada.

Kui vaadelda portlandtsemendi ja lubja põletamisel tekkida võivaid ühendeid, siis võib põlevkivituha puhul siin teatavaid paralleele tõmmata. Kvalitatiivselt, elementaarselt on nii portlandtsemendi toorainete kui ka põlevkivi mineraalosa koostis peaaegu sarnane. Erinevaks teguriks on aga temperatuur, mis ulatub tsemendipõletamisel ca 1450⁰-ni C, kuna tavalistes küttekolletes („Krull-Lomšakovi” ja „Ilmarise” tüüpi restidel) on resti lõpposal tuhale mõjuv arvatav temperatuur umbes 800⁰ piirides, eesosas aga, kus toimub peamiselt utmisega sarnanev protsess, 500⁰ piirides. Arvestades põlevkivi või tuha liikumise kiirust restidel, püsib tuhk seal 50—80 min. Kihhi arvatava temperatuuri ja koldes viibimise aja järgi otsustades on selge, et tegelikul kütmisel saab tekkida vähe portlandtsemendis esinevatega sarnaseid hüdrauliliste omadustega sideaineid. Neil tingimustel ei dissotsieeru isegi kaltsiumkarbonaat täielikult, küll aga võib kihhi kohalike ülekuumenemiste tagajärjel osa tuhka räbus-tuda, mis ka tegelikult ilmneb. Võiks isegi oletada, et osa hüdratiseeruvaist ühendeist on tekkinud räbustumist põhjustava kõrgendatud temperatuuri arvel.

Seetõttu on püütud leida võimalusi tuhkade järelkuumutamiseks, et soodustada hüdrauliliste ühendite tekkimist. Kuivõrd tegelikku tähtsust saab olla tuha järelkuumutamisel, on kahtlane ja selle küsimuse jätame praegu lahtiseks, kuid oluline on see, et need katsed on võimaldanud selgust tuua temperatuuri kõrgendamise tähtsusse. Paljude katsete andmeil on mitmete autorite poolt leitud optimaalseks põletamistemperatuuriks võrdlemisi lai intervall 700—1084⁰ piirides. Samaladsetel eesti põlevkivi-

tuha järelpõletamise katsetel leiti kirjanduse andmeil näilikult sobivaimaks järelpõletamistemperatuuriks 800°C , mis aga sama autori poolt hiljem paraandati $850\text{—}950^{\circ}\text{C}$ -le.

Tööstusprobleemide Instituudis tehtud katsetega leiti, et tavalise põlevkivituha puhul peab optimaalne järelpõletamistemperatuur olema üle 950°C , kuna tsüklontuha korral on see umbes 800°C . Tsüklontuha puhul on see ka täiesti arusaadav, sest seal toimub suurema SiO_2 -sisalduse tõttu kõrgemal temperatuuril rübustumine. Järelkuumutatud põlevkivituhast sideaine tardumise alg- kui ka lõppajad lühenevad.

Neil kaalutlustel tuleb oletada, et põlevkivituhast paremate omadustega sideaine saamiseks tuleb restil tuha temperatuuri tõsta. Ülemise temperatuuri määrab siin aga tuha sulamistäpp, sest rübustunud tuhk ei oma sideainelisi omadusi tsemendina.

Kahjuks on meie põlevkivituhkade sulamistäppide määramine praegu Tööstusprobleemide Instituudis pooleli ja puuduvad seega konkreetsed andmed. Kuid kasutades teisi vastavaid määramisi võib arvata, et koostisest olenevalt algab deformatsioon $1000\text{—}1100^{\circ}\text{C}$ -sel temperatuuril ja et põlevkivituhk muutub täiesti sulaks $1150\text{—}1200^{\circ}\text{C}$ -sel temperatuuril. Seejuures oleneb sulamistäpi kõrgus CaO hulgast — mida kõrgem on CaO -sisaldus, seda kõrgem on sulamistäpp.

Sellele tuginedes tuleb arvata, et põlevkivituha hüdraulilised omadused (kui ka üldse sideainelised omadused) võivad olla tingitud ainult neist ühendeist, mis tekivad enne põlevkivituha rübustumist, s. o. madalamal kui umbes 1100°C -sel temperatuuril. Arvestades seda ja üldse ühendite tekkimise võimalusi võivad põlevkivituhas esineda:

1. $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (tõenäoliselt ka $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$).
2. $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$.
3. $\beta - 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (ja $\gamma - 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$).
4. CaO (olenevalt tingimustest ka CaCO_3).
5. CaSO_4 .

Põlevkivituha petrograafilised analüüsid näitavad, et need ühendid ka tõeliselt esinevad. Peale selle leidub tuhas veel vaba kvartsi, püriiti ja savilise päritoluga keerukamaid agregate.

Kõik tekkivad ühendid sisaldavad kaltsiumoksüüdi. Seega oleks kaltsiumühendite üksikasjalisema määramise teel võimalik kindlaks teha, kui võrd põlevkivi põletamisel on tekkinud ühendeid, mis tulevad kõne alla hüdraulilise või üldse sideainena. Iga ühendi eraldi määramine tekitab suuri raskusi, mispärast püüti nende osalise määramise ja arvutuste teel küsimuse ligikaudse lahendamiseni jõuda.

Arvutuse aluseks võeti kolmekomponendiline süsteem SiO_2 , $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ja $\text{CaO} + \text{MgO}$.

Analüüsi teel määrati:

- 1) Kogu CaO hulk.
- 2) Soolhappes lahustumatus jäägis leiduv CaO hulk, mis ei tule sideainena kõne alla.
- 3) Süsihappegaas (CO_2), mis võib olla seondatud ainult CaO-ga, sest MgCO_3 dissotsieerub märksa kergemini kui CaCO_3 ; kaltsiumkarbonaadil ei ole sideainelisi omadusi.
- 4) Tuhas leiduv väävel on arvutatud kõige tõenäosuse järgi CaO-ga seondatuks. Seejuures ei ole siin oluline, kas see on ühendites S-na, SO_2 -na või SO_3 -na, sest kõik need seonduvad sama hulga kaltsiumoksüüdi.
- 5) Vaba CaO määrati Emley-Rathke-Schindler'i järgi ja sahharadina. Sahharadina saadud resultaadid on umbes 2,5% võrra kõrgemad kui Emley-Rathke-Schindler'i järgi saadud resultaadid. Sahharadina määramise viis ei ole kuigi täpne ja on ainult orienteeriv. Vaba CaO määramist soolhappega, nagu seda mõnel pool kasutatakse, tuleb aga lugeda täiesti ebatäpseks.
- 6) Soolhappega tiitrimise teel määrati aga küll vaba kaltsiumhüdrosüüdi ja hüdratiseeruvais ühendes olnud kaltsiumoksüüdi summa, kuna CaSO_4 ja CaCO_3 valitud tingimustel ei reageeri.

7) Kui CaCO_3 , CaO ja hüdratiseeruvaid ühendeid keeta ammoniumkloriidiga, siis vabaneb viimasest kaltsiumoksüüdile ekvivalentne hulk ammoniaaki, mis on määratav.

Kõige eeltoodu järgi on väljendatav:

- a) kogu CaO hulk;
- b) lahustumatus jäägis oleva CaO hulk;
- c) karbonaadina seondatud CaO hulk;
- d) sulfaadina seondatud CaO hulk;
- e) vaba CaO ;
- f) hüdraulilistes ühendites leiduv CaO .

Kui kogu CaO hulgast eraldada kõik teised suurused, siis jääb järele teatav hulk kaltsiumoksüüdi, mis võib seondatud olla ainult põlevkivituhas kõrgemal temperatuuridel tekkinud klaasi-sarnastes massides (räbu), millised on küll soolhappes keetmisel lahustuvad, kuid ei hüdratiseeru ega oma hüdraulilisi omadusi. Saadud arvulised suurused on ka tõelisusele vastavad. Näit. on gaasivabriku-koksi puhul räbu hulk väga väike, kuid on ilmne, et siin ei saanud ka kuigi suurel määral rübustumist olla, sest koksistamine toimus kinnises retordis võrdlemisi ühtlasel, umbes 1000° -sel temperatuuril. Seevastu on aga tõeliselt räburikaste tuhmade näitajad ka suured.

Hüdrauliliste ühendite üksikuid liike ei võimalda need määramised ja arvutused kindlaks teha, kuid märkimisväärne on see, et hüdraulilistes ühendites seondatud CaO hulga suhe kogu CaO hulgaga annab meile samase põlevkivituhkade järjestuse kui tuhad vastavalt nende kuubitugevustele järjestatult, muidugi kõik samades tingimustes võetuna. Seega on võimalus keemilise analüüsi järgi teatavat selgust saada ühe või teise põlevkivituha sideainelise tugevuse kohta.

Esialgu ei ole siin muidugi võimalik otsejoones interpoleerida vastavaid survetugevusi, sest peale eeltoodute võib esineda veel mitmesuguseid reaktsioone, mis ei ole määramisteks lihtsal viisil kättesaadavad. Näiteks võib tekkida CaSO_4 ja CaO vahel tahke lahus, andes estrih-kipsi. Selle hulk võib olla küll väga väike, sest tavaliselt tekib see üle 1000° -sel temperatuuril. Ka

võib jahvatamisel tekkida kunstlikku estrih-kipsi CaO ja CaSO_4 kokkupuutel.

Samal viisil tehti analüütilisi määramisi järelkuumutatud tuhjade puhul. Selgus, et CaCO_3 dissotsieerub järelkuumutamisel täielikult, kuid seejuures ei teki ekvivalentsel määral vaba kaltsiumoksüüdi, sest viimane seondub teiste komponentidega, nagu SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , ja seda enam, mida kõrgem on temperatuur. Järelikult tuleb oletada, et kõrgemal temperatuuridel paranevad põlevkivituha sideainelised omadused tingimusel, et põlevkivituha ei viida rübustumiseni.

Lõpuks ei saa jätta mainimata orgaanilise aine küsimust. Orgaanilist ainet esineb kas suuremal või vähemal määral igas põlevkivituhas. Kuigi ta ei mõju soodustavalt sideainelistele omadustele, ei ole tema juuresolek siiski ka mitte eriti kahjulik. Näiteks sisaldab gaasivabriku-koks umbes 12% orgaanilist ainet, kuid näitab suuremat survetugevust kui teised tuhad. Gaasivabriku-koksi suur survetugevus on põhjustatud temale mõjunud temperatuurist (1000°). Tavaliste koldetuhkade puhul aga näitab orgaanilise aine juuresolek, et põlemine ei ole olnud kuigi täielik, ja seetõttu on ka mõjunud temperatuur olnud madal.

Tehtud uurimised näitavad, et põlevkivituha sideaineliste omaduste parandamiseks on vajalik, et temperatuur restil olöks kõrgem kui praegu, kuid alla paakumistemperatuuri. Saadud produkti omadusi saab teataval määral parandada lisanditega, kuid laimatult korraliku sideaine saamiseks tuleb arvatavasti ligineda neile menetlustele, mis on kasutamisel portlandtsemendi valmistamisel. Kõike seda peavad selgitama Tööstusprobleemide Instituudis praegu pooleliolevad katsed.

Вязущие свойства золы горячего сланца.

Я. Анзо.

Резюме.

Институтом Промышленных Проблем Академии Наук ЭССР проведены исследования по выяснению возможностей использования золы горячих сланцев в качестве вязущего вещества.

По данным анализов, величина основного модуля горячего сланца $\left(\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} \right)$ находится в интервале 0.46—1.19; в случае же зол, полукокса и кокса, полученных из топок, — 0.48—2.01. Позднейшие анализы дают более высокий основной модуль. Пробы, взятые на сланцеперегонных заводах в течение коротких промежутков времени (до 5 дней), показывают сравнительно одинаковый состав. Большая часть проанализированных зол горячего сланца по своему составу соответствует роман-цементам.

Временное сопротивление сжатию образцов, изготовленных из пластической смеси (1:3), достигает в отдельных случаях до 100 кг/см², оставаясь в среднем всё же на уровне 50—60 кг/см² (в возрасте 56 дней); прочность на растяжение — 12—15 кг/см². При приготовлении раствора температура его поднимается от 4° до 36° выше температуры окружающей среды, причём этот рост температуры длится 4 часа и дольше. Тонкость помола влияет благоприятно на прочность; более мелкая фракция золы даёт вязущее вещество большей прочности. Испытанные золы, в общем, не обладают постоянством объёма, но приобретают таковую при добавлении 2% AlCl₃ или 4% FeCl₃·6H₂O. Добавки портланд-цемента и диатомита также влияют положительно на постоянство объёма. Образцы, изготовленные из топочных зол, в воде неустойчивы. Образцы с добавкой хлористого бария, хлористого алюминия или хлористого железа в воде устойчивы, хотя прочность их на сжатие при этом не-

сколько меньше, чем в случае чистой золы. Прочность на сжатие с возрастом до 56 дней растёт почти линейно, в то время как следующий за этим прирост мал, а в некоторых случаях наблюдается даже понижение временного сопротивления сжатию.

На основании экспериментальных данных можно заключить, что оптимальной температурой для получения золы с лучшими вяжущими свойствами является температура выше 950°C , но в то же время она должна быть ниже температуры спекания.

Из общего количества CaO , включающей в себе: CaO , входящую в нерастворимый остаток, затем CaO , связанную в виде карбоната и сульфата, и наконец свободную CaO , — можно определить количество CaO , находящейся в гидравлических соединениях, а также количество CaO в оплакованной золе горючего сланца. Отношение количества гидравлически связанной CaO ко всему количеству её даёт сравнимые результаты, пропорциональные прочностям на сжатие.

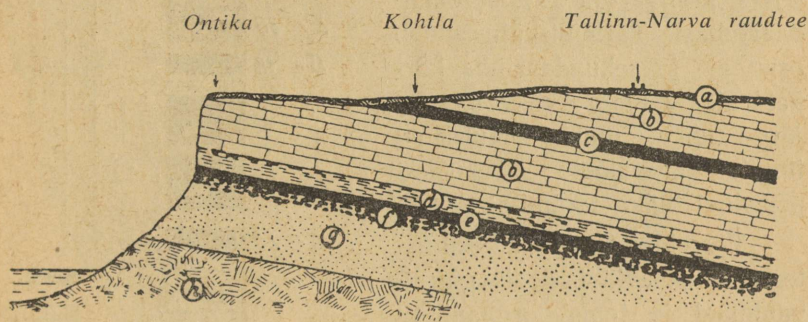
Для получения золы горючего сланца с лучшими вяжущими свойствами необходимо поднять температуру сжигания горючего сланца в топке.

Põlevkivi kui tööstusenergeetiline kütus ja selle rakendamine.

H. Truu,

tehniliste teaduste kandidaat.

Põlevkivi — kukersiit —, allpool nimetatud põlevkiviks, on pruuni värvusega kivim, mis lasub tema leiurajoonis Eesti NSV-s 0,12—0,60 meetri paksuste kihtidena vaheldumisi vähese orgaanilise aine sisaldusega paekivi kihtidega (joon. 1 ja 2).



Joon. 1. Kambriumi-siluri kihtide skemaatiline läbilõige Eesti NSV-s Kohtla rajoonis. a — mergel, b — lubjakivi, c — põlevkivi-kukersiit, d — glaukoniit, e — diktüoneema-kiltkivi, f — fosforiit, g — liivakivi, h — savi.

Põlevkivikihid ühes vahel asetsevate aherainekihtidega on tõenäoliselt tekkinud nn. Kukruse ehk Ordoviitsiumi meres, mis pidi olema rikas taimekasvu ja loomariigi esindajaist. Põlevkivilade arvatakse olevat tekkinud ligikaudu 200 meetri sügavuses.

Põlevkivi orgaaniline osa koosneb peamiselt sinivetikate-sarnaste taimsete jäänuste terakestest, millede suurus paleobotaanik M. Zalesski uurimiste järgi on mõni sajandik millimeet-

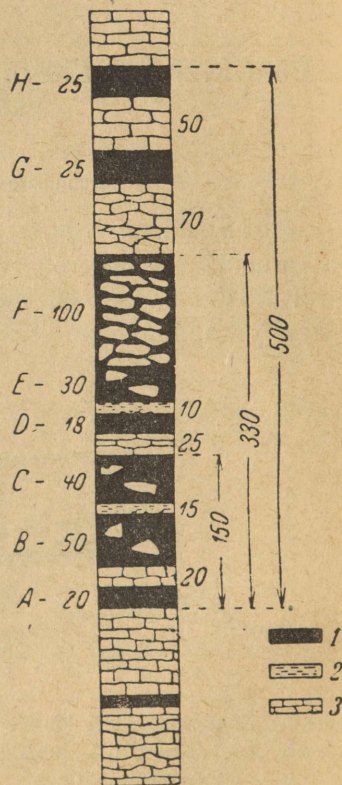
rit. Et Kukruse meres sadestusid taime- ja loomariigi jäänustega üheaegselt kaltsiumkarbonaate tekitavad ained ning mannerained savi ja liiva näol, osutub põlevkivi meres tekkinud sapropeeliiks, mille orgaanilise osa moodustavad sadestunud taime- ja loomariigi-jäänused, mineraalosa aga kaltsiumkarbonaadid, savi, liiv jne. (joon. 3 ja 4).

Tingituna tekkimisviisist moodustab orgaaniline osa puhta aegumata põlevkivi kuivaines ligikaudu 50% ja mineraalosa 50%, kusjuures mineraalosa põlemisjääk — tuhk — koosneb 4%-st primaar- ja 96%-st sekundaartuhast. Tarbimiskütus annab primaar- ja sekundaartuha kõrvalteataval määral ka kolmanda järgu tuhka, mille esiletulek on tingitud aherainete sattumisest põlevkivi hulka tootmisel.

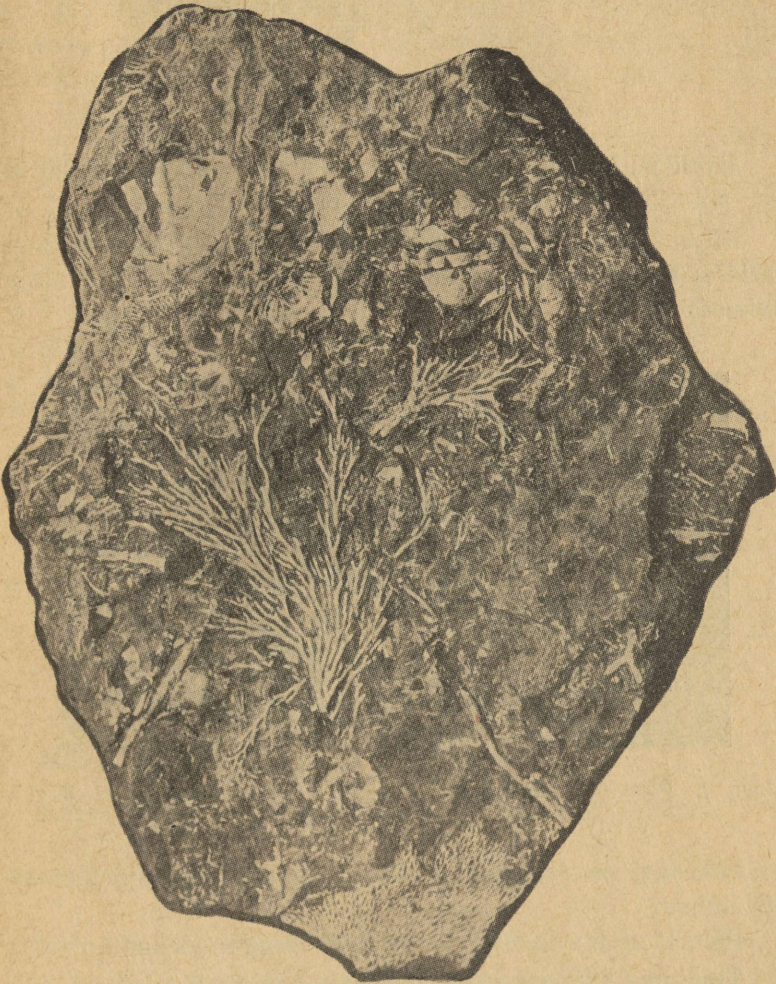
Võrreldes teiste tahkekütustega on põlevkivi geoloogiliselt vanimaid ja tema orgaanilisel osal on teiste tahkekütuste omast kõrgem põlemisväärtus (joon. 5).

Põlevkivi olulisemaid spetsiifilisi iseärasusi, mida tuleb arvestada tema energeetilisel kasutamisel, võime kokku võtta järgmiselt.

Põlevkivi orgaaniline mass on kuumendamisel vähepüsiv: temperatuuril 500° C lahkeb juba 75% orgaanilisi aineid. Lendainetesisaldus on põlevkivi põlevosal väga kõrge: 82%. Süsiniku



Joon. 2. Põlevkivikihtide skemaatiline läbilõige. 1 — põlevkivi-kukersiit, 2 — bituminoosne paas, 3 — paas.



Joon. 3. Põlevkivi-kukersiit. (TA Geoloogainstituudi kogust.)

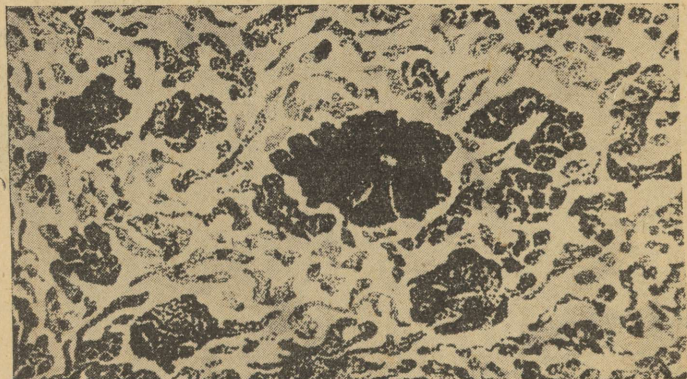
ja vaba vesiniku vahekord on soodne, võrreldes teiste tahkekütustega, samuti hapniku ja lämmastiku vahekord vesinikuga:

$$\frac{C_0}{H_0 - \frac{O}{8}} = \frac{76,6}{9,2 - \frac{11,2}{8}} = 9,8 \text{ ja}$$

$$\frac{O_0 + N_0}{H_0} = \frac{11,2 + 0,35}{9,2} = 1,26.$$

Järelikult kuulub põlevkivi põlevosa kergesti süttivate kütuste liiki; põlevkivi süttimistemperatuur on 382° C.

Niiskus sisaldub põlevkivis peamiselt orgaanilise aine kapillaarides; hügrooskoopse niiskuse määr ei ületa 3%. Tarbimisaine niiskusesisaldus on normide alusel 11—20%.



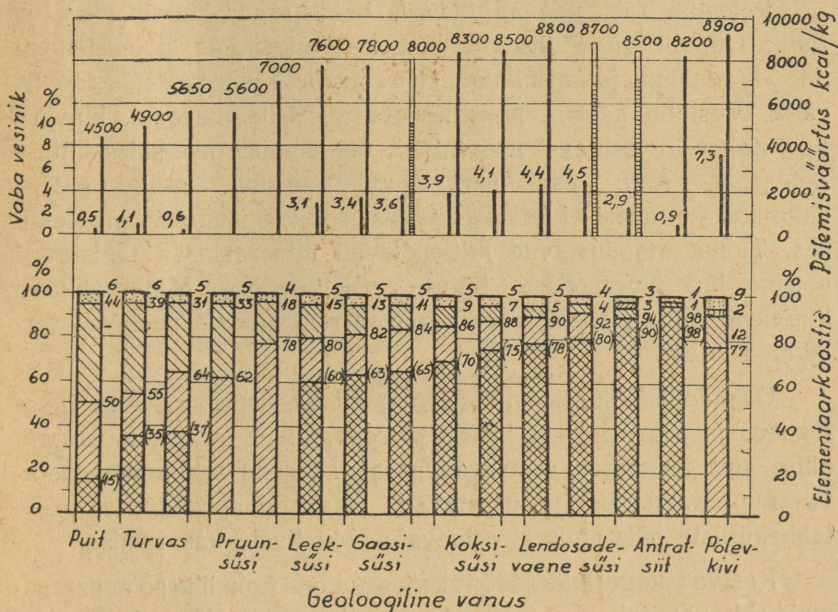
Joon. 4. Põlevkivi-kukersiit läbilõikes. (E. D. Kovalskaja eskiisi järgi.)

Põlevkivi on tuharikas kütus, mille kuivaine sisaldab 49—64% tuhka.

Põlevkivituhk kuulub kerge sulavusega tuhade liiki.

Tingituna kõrgest tuhasisaldusest osutub Eesti NSV põlevkivi oma kütteväärtuselt vaid kohalikuks kütuseks, kusjuures tarbimisele lastava aine kalorilisus Eesti NSV normi ESN 1-40 põhjal on 2300—3700 kcal/kg. Järelikult on põlevkivi kütteväärtuselt võrdne Eesti NSV teiste kohalike kütustega — turba ja puiduga.

Kütuse põlemine on keerukate füüsikaliste ja keemiliste protsesside kogum. Põlevosa, mis on põlevelementide — süsiniku, vesiniku ja väevli orgaanilisteks ühenditeks, aktiveerub protsessis, tehes vaheprotsessides läbi mitmed keemi-



Joon. 5. Tahkekütuste põlevosa põlemisväärtusi ja elementaarkoostisi.

lised struktuurimuutused, ja põleb süsihappegaasiks, reaktsiooni-veeks ja vääveldioksiidiks. Olulisemaks teguriks on siinjuures termiline toime, mis soodustab reaktsioonide kiirust.

Kütuste põlemisel on oluline kütusaine orgaanilise osa lagunemine lendosadeks ja koksiks. Võrreldes kivisöe ja põlevkivi termilist lagunemist ilmneb, et kivisöe gaasistumine toimub peamiselt kõrgetel temperatuuridel ja tekkiv gaas on kõrge vesiniku-

sisaldusega. Põlevkivi kuumutamisel aga eralduvad lendosad peamiselt madalatel temperatuuridel ja on kõrge raskete süsi-vesinike sisaldusega. See asjaolu tingib suure erinevuse lendosade põlemisel kivisöe ja põlevkivi põletamisel.

Põlemist raskendavad üldiselt ballastosad: hapnik, vesi ja tuhk. Hapnik on kütuses ühenduses väärtuslike põlevelementide — vesiniku ja süsinikuga, lülitades neid põlemisreaktsioonist välja. Vesi on kasulik põlemisprotsessis selle määran, kuivõrd ta võtab osa vesigaasi tekkimisest taandumisprotsessides kütuse põlemisel. Muu osa vett lahkub auruna, mille soojus enamikul juhtudest ei leia kasutamist soojuse ülekande protsessides. Tuhka moodustavad mittepõlevad mineraalosalad takistavad põlemisõhu juurdepääsu kütuse põlevosadele. Mineraalmassi kuumendamine ja sealjuures esinevad reaktsioonid neelavad tarbetult soojust.

Orgaanilise aine termilise lagunemise eriiseloos, kõrge tuhasisaldus ja põlevkivi kui kivimi petrograafiline struktuur (orgaanilise aine terakesed asetsevad pesakondadena tuhka moodustavas mineraalmassis) põhjustavad põlevkivi põletamisel teiste tahkekütuste põletamisest erinevate menetluste kasutamist.

Kestva pingerikka töö tulemusena on kohalike põlemisseadmeid ehitavate tehaste, teaduslike asutiste töötajate ja põlevkivi tarbijate poolt Eesti NSV-s põlevkivi põletamiseks välja töötatud ja rakendatud rida küttekoldeid käsitsi teenindatavate ja mehhaaniliste restidega. Levinumaiks põlemisseadmeteks on kujunenud jämpöpõlevkivile käpprest ja väike- ning peen kivile liikuvad trepprestid. Käpprestil toimub kütuse põlemine järkudeta, trepprestil järgulises ehk faasidega põlemisprotsessis.

Põlevkivi energeetilise kasutamise viimine senisest laiematele alustele vastavalt Eesti NSV rahvamajanduse arendamisele käesoleva viisaastaku raamides seab meie energeetiliste ringkondade ette rea olulisi probleeme. Viimaste õigeaegsest lahendamisest sõltub suurel määral põlevkivi ratsionaalne kasutamine ja põlevkivi tarvituselevõtt, kus see vajalik ja õige.

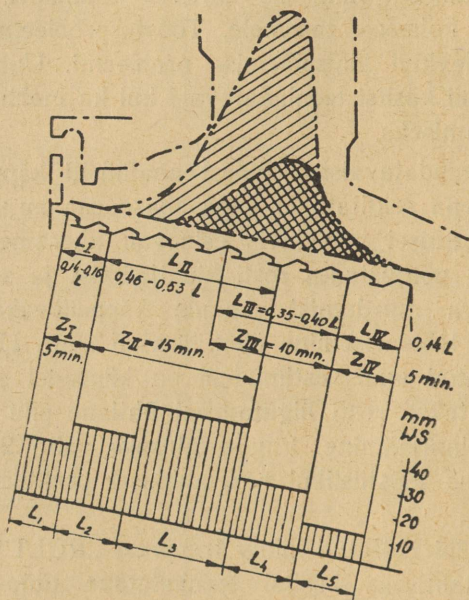
Eesti NSV Teaduste Akadeemia Tööstusprobleemide Instituudi Energeetikasektor on asunud uurimisteede lahendamisele, mis on olulised põlevkivi kui spetsiifiliste iseärasustega kütuse energeetilise rakendamise intensiivseks levitamiseks ja põlevkivi kasutamise viimiseks kõrgele tänapäeva teaduse ja tehnika nõuete kohasele tasemele. Tööstusprobleemide Instituut on uurinud põlevkivi kihispõlemise probleemi. Uurimistööd sel alal hõlmavad nii käsitsi teenindatavaid kui ka mehhaanilisi reste põlevkivi põletamiseks.


Käsitsi teenindatavaist restidest analüüsiti käppresti. Uurimistöö tulemusena selgitati, et käpa ebasoodsa kuju tõttu satuvad resti liigutamisel põlevkivis esinevad aherained tükid resti käppade vahele, põhjustades resti kinnijäämist ja selle tagajärjel liigutushoova murdumist. Laiade käppadevaheliste pilude tõttu on kütuse läbivõetamine ülemääraselt suur. H. Allpere poolt väljatöötatud uuel restimudelil on käppadel sektori kuju. Sellega saavutatakse resti liigutamisel ühtlane pilu laius ja on välditud resti kinnijäämine. Pilude laiuseks valiti 25 mm. Uus restimudel osutus tööstuslikul rakendamisel praktiliseks ja otsustavkohaseks.


Uuesti on läbi töötatud liikuv trepprest „RULT“, mida võib soovitada kasutamiseks käsitsi teenindatava tüüp-trepprestina põlevkivile tükisuurusega kuni 100 mm.


Uurimistöö tulemusena selgitas instituut III sordi kütuse põlevkivi (tarbimiskoostisega 29—37% orgaanilisi aineid, 12—20% niiskust ja 51% tuhka) kihispõlemise protsessi põhialuseid. Säärase kütuse põlemisprotsessis on olulisemaks lendosade eraldumine ja põlemine. Lendosade eraldumise järel jääb restile tahke jääk — tuharikas koks orgaanilise aine sisaldusega ligikaudu 20%. Tingituna madalast põlevainetesisaldusest ei ole koksi põlemise faas suuteline avaldama küllaldast aktiivsust põlemisprotsessi forsseerimiseks naaberfaasides, nagu see toimub kivisöe põlemisel. Arvestades põlevkivi põlevosa kõrget lendosadesisaldust, lendosade eraldumist peamiselt madalal temperatuuridel (kuni 600° C) gaaside ja õli aurudena, kalorilisusega

ligikaudu 7000 kcal/mm^3 , teeb autor järelduse, et põlemisprotsess peenpõlevkivi põlemisel koldes võib areneda jõudsalt lendosade põlemise tsooni kujundamisel kõrge temperatuuriga aktiivseks põlemistsooniks, mille arvel toimuksid kütuse ettevalmistus,



 L_0 (lend), arvut $1 \text{ nm}^3 = 4 \text{ cm}^2$

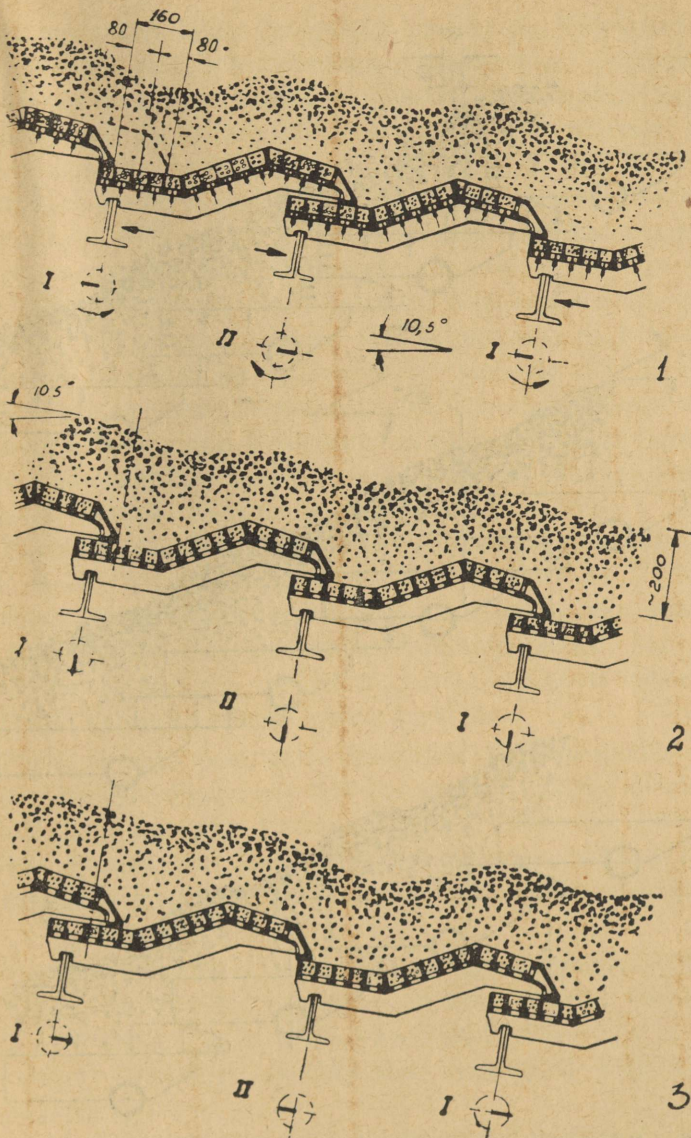
 L_0 (koks), arvut $1 \text{ nm}^3 = 4 \text{ cm}^2$

 Õhusurve tsoonides

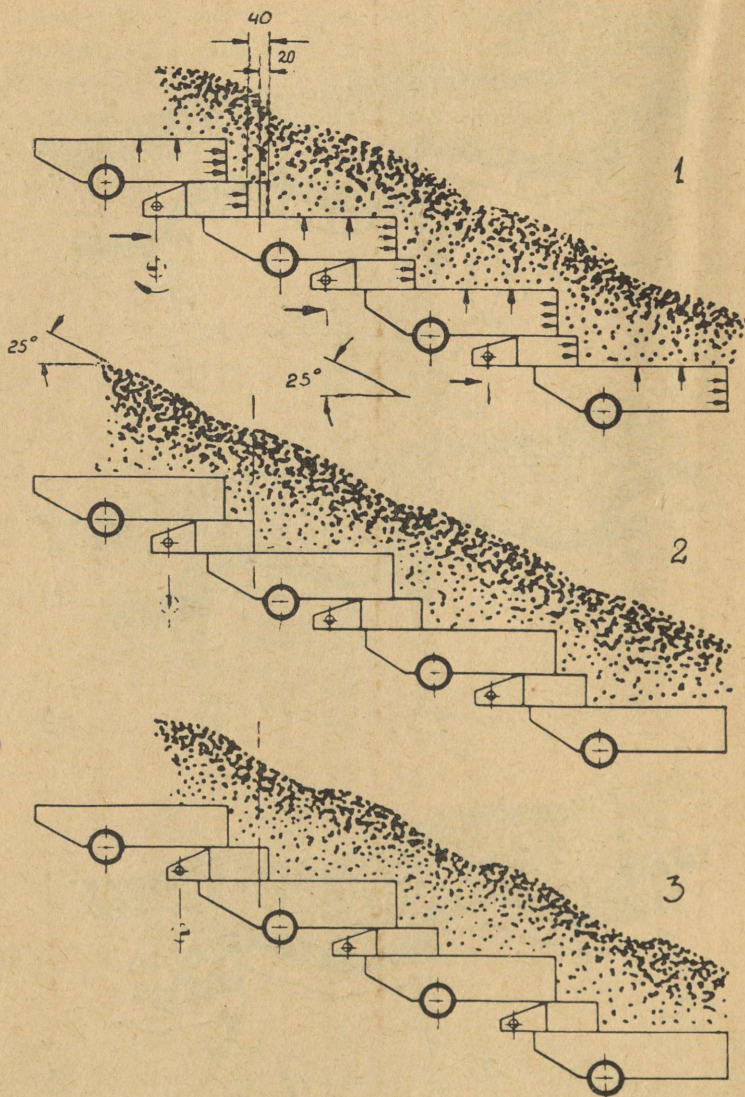
Joon. 6. Ohutarve peenpõlevkivi põletamisel „Krull-Lomšakovi” restil.

lendosade eraldumine ja poolkoksi järelpõlemine. Kolde esiosa töötab siinjuures poolgaasikoldena ja kolde keskosa moodustab põlemisruumi kõrge kalorilisusega lendosade põlemiseks (joon. 6).

Peenpõlevkivi kihispõlemise protsessi analüüsimise tulemusena võime olulisemad põhitingimused kokku võtta järgmiselt.



Joon 7. „Krull-Lomšakovi” resti tegevuse skeem. 1 — paaritud restired äärmises eesseisus, paarisread — vastupidiselt, 2 restired keskseisus, 3 — paarisread äärmises eesseisus, paaritud — vastupidiselt.



Joon. 8. „Ilmarise” resti tegevuse skeem. 1 — liikuvad restired äärmises tagaseisus, 2 — liikuvad restired keskseisus, 3 — liikuvad restired äärmises eesseisus.

Peenpõlevkivi kihispõletamiseks on vajalik läbivarisemiseta peegelpinnaga rest kihi üheaegse kobestamise, segamise ja edasitõukamisega põlemisprotsessi kestel. Temperatuuritingimused kihis tuleb kujundada nii, et oleks välditud põlevkivi kero-geeni paakumise oht temperatuuril $360\text{--}390^{\circ}\text{C}$, samuti ka tuha rääbustumine restil, arvestades põlevkivituha plastinemise algust temperatuuril $1050\text{--}1100^{\circ}\text{C}$. Kihi ühtlaseks põlemiseks ja peente mineraalosade lendumise vältimiseks on eriti tähtis õhu puhumine kihile võimalikult vabalt ja suure elavpinna kaudu, valides põlemisõhu kõrge eelsoojenduse. Kihi liigutamine peab toimuma elastselt ja õhu andmine reguleeritavalt, tsoonide viisi. Et põlevkivi sisaldab kaltsiumkarbonaate, tuleb arvestada nende dissotsiatsiooni kihiprotsessis. Kolderuumi profiili ja suuruse õigel valikul ja sekundaar-õhu rakendamisel on eriline tähtsus põlevkivi lendosade täieliku läbipõlemise kindlustamise suhtes.

Võrreldes kihiprotsessi kahel meil tuntumal mehhaanilisel restil — „Krull-Lomšakovi” ja „Ilmarise” restil — on ilmne, et esimesel nendest vastab resti tööprotsess suuremal määral peenpõlevkivi põletamise põhitingimustele kui teisel (joon. 7 ja 8). Seetõttu tunnistati „Krull-Lomšakovi”-süsteemilised restid normaalrestideks peenpõlevkivile.

Peale tavalise põletamise põlevaine ja õhuhapniku reaktsiooni toimega difusiooni teel osutus põlevkivi kasutamine võimalikuks ka pindpõlemismenetluses, mispuhul põlevkivi gaasistamist teostati poolgaasikoldes. Säärast menetlust rakendati instituudi töötajate poolt lubjapõletamisahju juures.

Põlevkivi analüüsi meetodika on toodud riiklikus üleliidulises standardis ГOCT 2962—45; proovide võtmist käsitletakse ГOCT 1137—41-s, ГOCT 1916—42-s, ГOCT 2532—44-s ja ГOCT 3249—46-s. Põlevkivi analüüsimise menetlused vajavad veel täpsustamist.

Vahed tuhasisalduses mitmete erinevate menetluste kasutamisel tuhaanalüüsi teostamisel ulatuvad 5%-ni, mis teataval määral on tingitud ka põlevkivi koostise komplitseeritud iseloo-

must. Kütuspõlevkivi hindamiseks ja arusaamatuste vältimiseks põlevkivi tootjate ja tarbijate vahel võib tuua lahenduse vaid ühtlusmenetluse väljatöötamine ja kehtestamine põlevkivi analüüsimise alal. Arvestades seda, et sageli esineb vajadus väävlü määramiseks põlevkivis ja tavaline analüütiline meetod on aegaviitev, tuleb selleks rakendada kiirmeetodit polarograafi kasutamise-ga.

Senini teostatud uuringuid põlevkivi energeetilise kasutamise alal ei saa lugeda küllaldasteks põlevkivi laiaulatusliku kasutamise arendamiseks. Siin on veel vaja lahendada mitmed olulised probleemid.

Põlevkivi kihispõlemise alal on tarvis iseloomustada temperatuurivälja kihis ja kolderuumis ning kihi liikumist, millise töö teostamiseks instituut on juba valmistanud vastavad mudelid, on vaja kolde kuju viimistleda, ekraneerimisaste kindlaks määrata jne.

Põlevkiviküttega kihispõlemisega kollete jõudlus piirdub näit. nende rakendamisel katelseadmetele viimaste jõudlusega kuni 30 tonni auru tunnis. Eesti NSV jõumajanduse väljaehitamisel käesoleva viisaastaku raamides tuleb rakendada soojusjõujaamades katelseadmeid eelnimetatud piirist suurema tootlusjõudlusega, mis on võimalik tolmküttekollete kasutamisele võtmisega. Selleks on tarvis uurida põlevkivi tolmuna põletamise viise ja nende rakendamist ning need viisid välja töötada.

Eesti NSV-s on kasutamisel gaasigeneraatorid kivisöe-, puit- ja turvaskütteil. Arvesse võttes energia tootmise laiemat levimist kui ka defitsiitsemate kütuseliikide asendamist, on tarvilik gaasigeneraatoreid rakendada ka põlevkivikütteil. Selleks tuleb uurida põlevkivi gaasistamise võimalusi väikese võimsusega gaasigeneraatoris ja välja töötada vastava generaatori tüüpkonstruktsioon.

Uus, 1946. a. sügisel instituudi ettepanekul tööstuslikule kasutamisele võetud põlevkivigaasi põletamise viis pindpõlemisega vajab edasiuurimist. Pindpõlemismenetlusel põlevkivi põletamisel vabaneme ühelt poolt koormavast lendtuhast, teiselt poolt

on sel menetlusel veel rida omadusi, mis lasevad eeldada selle rakendamise võimalusi väga mitmesugustes tööstuslikes ja kommunaalmajanduslikes seadmetes.

Põlevkivi suure tuhasisalduse tõttu on suitsugaasidega kaasaviidud lendtuha hulk kõrge, mis mõjub koormavalt ja ebahügieeniliselt ümbruskonnale. Praegused põlevkivi-kütteseadmed Eesti NSV-s ei oma lendtuha püüdmise seadeldisi, välja arvatud Tallinna Elektriijaama omad, kus katelseadmed on seadistatud tsüklonpüüdjatega. Nagu ETTUK-i poolt 1946. a. teostatud katelseadmete kontrollmõõtmised näitavad, on nimetatud tsüklonite kasutegur üsna madal. Mujal NSV Liidus on kivisöeküttel töötavatele põlemisseadmetele välja töötatud rida lendtuha eraldamise seadmeid, mis ei ole aga otseselt rakendatavad põlevkivikuttega seadmetes. Tuleb lahendada suitsugaasidest lendtuha püüdmise probleem Eesti NSV põlevkiviga töötavatel kütteseadmetel.

Eesti NSV rajooni- ja kohaliku tööstuse jõujaamades tekitab tuha kõrvaldamise probleem tõsiseid raskusi. Praegu kasutamisel olevad tuhakoristamissüsteemid on puudulikud, ebahügieenilised ja tuha koristamine on seotud suure inimtööjõu-kuluga. Seetõttu ei saa enamikku meil olemasolevaist tuhakoristamisseadmeist ratsionaalseks pidada. Tuleb välja selgitada ratsionaalsed meetodid põlevkivituha eemaldamiseks tööstuslikel põlemisseadmetel ja välja töötada vastavad tüüpseadmed.

Vähe tähelepanu on osutatud käsitsi teenindatavate põlevkivikollete jälgimisele ja uurimisele: puuduvad kindlad tüüpseadmed ja -suurused, mis raskendab kollete ehitamist jne. Uurimistööga sellel alal tuleb kindlaks määrata väikekollete iseloomustavad näitartvud — karakteristikud — ja välja töötada tüüpkonstruktsioonid vastavais tüüp mõõtmes nende küttekollete vahetatavate osade massiliseks tootmiseks kohalikes tehastes.

Põlevkivi kui energeetilise kütuse õigele kasutamisele Eesti NSV rahvamajanduses on Eesti NSV Teaduste Akadeemia Tööstusprobleemide Instituut osutanud tõsist tähelepanu ja teostanud rea väärtuslikke uurimisi põlevkivi energeetilise rakenda-

mise alal. See ei ole kaugeltki veel kõik. Põlevkivi kui kütuse täielikuks tundmaõppimiseks, põlevkivi energeetilise kasutamise ratsionaliseerimiseks ja põlevkivi kasutamise senisest tunduvalt ulatuslikumaks muutmiseks peame vajalikuks käesoleva viis-aastaku kestel võtta lahendamisele järgmised uurimisteemad:

1. Põlevkivi analüüsimise ühtlusmenetluste väljatöötamine.
2. Polarograafiliste meetodite väljatöötamine ja rakendamine väävlil määramiseks põlevkivi koostises.
3. Põlevkivi-kukersiidi kihispõlemise protsessi uurimine kolletes.
4. Põlevkivi-kukersiidi heljuvpõlemise protsessi uurimine.
5. Põlevkivi-kukersiidi gaasistamise protsessi uurimine väikese võimsusega gaasigeneraatoris ja generaatori konstruktsiooni väljatöötamine.
6. Põlevkivi-kukersiidi põlemisprotsessi uurimine pindpõlemismenetlusel.
7. Põlevkivi põletamisel tekkinud lendtuha püüdmise uurimine ja ratsionaalse lendtuha püüdmise menetluse väljatöötamine.
8. Tuha eemaldamise ratsionaalsete menetluste väljatöötamine põlevkiviga köetavail energeetilistel ja tehnoloogilistel seadmetel.
9. Käsitsi teenindatavate kollete ja põlemisseadmete tüübi väljatöötamine põlevkivikuttel.

Peale selle vajab uurimist veel rida teisi energeetilisi probleeme põlevkivi alalt, mida aga siin esile ei tõsteta, sest et need probleemid on teatavasti plaanitud lahendamisele teiste uurimisasutiste poolt.

Горючий сланец как топливо и его применение в промышленной энергетике.

Х. Труу,

кандидат технических наук.

Резюме.

Основные свойства сланца-кукерсита, являющегося наиболее высококачественным видом горючего сланца в ЭССР, можно резюмировать следующим образом:

По происхождению кукерсит является морским сапропелитом с горючей массой из планктонных оседаний растительного и животного мира и минеральной частью из карбонатов кальция, силикатов, глинозёма и других веществ. Элементарный состав органической массы невыветрившегося кукерсита почти постоянный: 76,6% углерода, 9,2% водорода, 2,0% серы, 0,6% хлора, 0,4% азота и 11,2% кислорода (по разности). Выход летучих составляет примерно 82% на горючую массу. Органическая масса мало термоустойчива и её разложение начинается уже при низких температурах. Влага содержится, главным образом, в виде внешней влаги, зола в виде вторичной золы (96%). Теплотворная способность горючей массы порядка 8400 ккал/кг; calorific value рабочего топлива в пределах 2300—3700 ккал/кг.

Петрографическая структура сланца-кукерсита как горючего полезного ископаемого, характеристика его органического вещества и минерального балласта и чрезмерно большое содержание последнего ставят особые условия в развитии техники применения сланца.

Для сжигания сланца в слое разработаны слоевые топки с решётками и ручным обслуживанием и с механическими решётками, которые используются на электростанциях ЭССР с большим успехом. Институт Промышленных Проблем Академии наук ЭССР освоил в 1946 году на одном из промышленных предприятий полугазовую топку на сланце с сжиганием полугаза контактным способом. Институтом изу-

чался также процесс сжигания сланца в слое и доказан автоматизм слоевого процесса горения сланца. Широкое развитие энергетического применения сланца выдвигает ряд новых научных проблем и необходимость разработки как новых способов применения сланца, так и разработки рациональных методов золоулавливания.

Ввиду этого Институт Промышленных Проблем предлагает разработать в течение настоящего четвёртого сталинского пятилетия следующую тематику:

1. Разработка единых методов анализа сланца.
2. Освоение полиграфического метода при определении серы в составе сланца.
3. Исследование слоевого процесса горения сланца.
4. Исследование сжигания сланца во взвешенном состоянии.
5. Изучение процесса газификации сланца в маломощных генераторах и разработка рациональной конструкции таких генераторов.
6. Изучение проблемы сжигания сланцевого газа способом контактного горения.
7. Изучение проблемы улавливания летучей золы при сжигании сланца и разработка рационального метода золоулавливания.
8. Разработка рациональных методов уборки золы при энергетических и технологических установках с применением горючего сланца.
9. Разработка типовых топков и топочного оборудования с ручным обслуживанием для сжигания сланца.

Eesti NSV turbasoode ja turba uurimise tulemusi.

A. Avaste,
keemiateaduste kandidaat.

Turvas on Eesti NSV-s põlevkivi kõrval üks tähtsamaid kohalikke loodusvarasid. Turba tähtsus on tingitud tema esinemise rohkusest kui ka tema tarvitamise alade mitmekesisusest. Turba tarvitamise aladest on kaks meie rahvamajanduse arendamise tähtsaiks tegureiks. Esimese alana nimetame turba kasutamist kütusena ja teise, mitte vähem tähtsa alana turba kasutamist põlluviljakuse tõstjana.

Meie põlluviljakuse madala seisu peamisteks põhjusteks on esiteks meie põllupinnase vaesus taimetoitainetest ja teiseks meie põldude mustmullakihi mitteküllaldane paksus. Meie põldude mustmullakihi paksuseks on enamasti 10—15 cm. Kõrge ja püsiva viljasaagi kindlustamiseks peaks see olema vähemalt 20—30 cm. Sellise mustmullakihi soetamine nõuab väga palju orgaanilist väetist: sõnnikut, haljasväetist, komposte. Orgaaniliste väetiste andmisel peab peamine raskus langema turbale. Turbaga tuleb suurendada toodetava sõnniku hulka ja väärtust ning temast tuleb valmistada suurel hulgal komposte. Turba sobivus ja head omadused nii sõnniku väärtuse tõstjana kui ka kompostide valmistamise lähteainena on teaduse poolt vastuvaidlematult tõestatud.

Õlgsõnnik ja haljasväetis, olles ained põllumajanduslikust ringkäigust, ei jõua üksi vajaliku kiirusega täita väetamisülesannet. Turvas, tulles põllule väljastpoolt põllumajanduslike ainete ringkäiku, toob enesega peale huumusainete kaasa ka tunduval hulgal taimetoitaineid.

Kütusena on turvas kõikjal tunnustust ja hindamist leidnud, mida tõendab küteturba tootmise hoogne tõus. Erilist tähelepanu on osutatud küteturbale ja selle tootmise arendamisele Nõukogude Liidus, kes maailma suurimate turbatagavarade valdajana on ühtlasi kaasaja suurim turbatootja.

Eesti NSV-s tuleb käesoleva viisaastaku plaani kohaselt küteturba toodang 1950. aastaks vabariikliku alluvusega tööstuste osas tõsta 655 000 tonnini ja üleliidulise alluvusega asutiste osas 319 000 tonnini, seega kokku ligi 1 miljoni tonnini. Järelikult tuleb meie ennesõjääegne maksimaaltoodang tõsta kolmekordseks.

See plaan seab meie turbasoode turbatagavarade ja nende omaduste uurimisega tegelevate asutiste ette väga suureulatusliku ja kiireisloomulise ülesande, sest suurema osa meie looduslike turbatagavarade ja nende omaduste kohta puuduvad seni kahjuks uurimisandmed.

Eesti NSV turbatööstuse otstarbeka ja ratsionaalse arendamise eelduseks on loomulikult kõigi Eesti NSV turbasoode turbatagavarade ja nende omaduste kohta käivate uurimisandmete olemasolu vähemalt rekognoosuurimise ulatuses. On ju endastmõistetav, et teadmata, kus, kui palju ja millist turbatagavara me omame, ei ole võimalik meie turbatööstust otstarbekalt ja õigesti arendada. Seepärast on hädavajalik, et vähemalt rekognoosuurimine meie kõigi turbatagavarade kohta teostuks lähema 5—6 aasta jooksul. Sellise uurimise andmetel tuleks koostada turbasoode kataster, mida hooldaks turbafondi valitsus.

Meie turbasoode uurimine kandis kuni 1940. a. enam-vähem juhuslikku iseloomu. Turbasood ekspuuteerida kavatsev isik või asutis laskis turbaraba omal algatusel ja kulul uurida. Seetõttu jäid uurimisandmed ettevõtjate kätte laiali ja kahjuks on palju väärtuslikke uurimisandmeid kaduma läinud. See oli ilmselt tingitud uurimist korraldava keskuse puudumisest.

Suurem osa meil praegu töötavaist masinaturbatööstustest on rajatud ligikaudu 20—25 aastat tagasi. Sel ajajärgul toimus

turbasoode uurimine peamiselt eraettevõttena loodud kontori poolt. Et juurde rajati võrdlemisi vähe turbatööstusi, siis soikus ka turbasoode uurimine. Alles 1936.—1937. aastast alates, kui asuti Tootsi brikett-turbatööstuse rajamisele, võis turbasoode uurimise alal teatavat elavnemist märgata. Tegevust alustas 1938. a. Loodusvarade Instituudi Turbasektsioon, kus turbaalasse puutuvate küsimuste uurimisele rakendati 1—2 teaduslikku töötajat.

Turbasoode süstemaatilisele uurimisele pandi alus alles 1941. a., mil vastavalt Nõukogude Liidus kehtivale korrale kohustati turbasoode rekognoosuurimisi teostama Eesti NSV Põllutöö RK Maaparanduse Valitsust, kelle ülesandesse kuulusid ühtlasi ka turbasoode katastri koostamine ja turbafondi valitsemine.

Maaparanduse Valitsus asus energiliselt nende ülesannete täitmisele, kuid peatselt alanud sõda ja saksa fašistlik okupatsioon katkestasid eduka tegevuse. Alustatud tööga oli saavutatud siiski märkimisväärseid tulemusi.

Okupatsiooniaja lõpuks oli soodeuurijate kaader täiesti laostunud ja eriteadlased laiali valgunud. Turbasoode uurimise taastamiseks kutsus ENSV Tööstuse Teadusliku Uurimise Keskinstituut (ETTUK) 1944. a. sügisel kokku asjale lähedalseisvate ringkondade koosoleku, kus otsustati, et fondiuurimisi (s. o. rekognoos- ja marsruutuurimisi) hakkab teostama Põllutöö RK Maaparanduse Valitsus, detailuurimisi tööstuste projekteerimiseks — Turbatrust ning laboratoorseid uurimisi — ETTUK-i turbalaboratoorium.

Nähes, et turbasoode uurimise organiseerimine ei Põllutöö RK Maaparanduse Valitsuse ega ka Turbatrusti poolt ei hakka vajaliku tempoga arenema, kutsus ETTUK 1945. a. aprillis kokku uue nõupidamise, kust peale Maaparanduse Valitsuse, Turbatrusti ja ETTUK-i esindajate võtsid osa veel „Estonenergo” ja Kohaliku Tööstuse Rahvakomissariaadi esindajad. Sel koosolekul peeti soovitavaks, et ETTUK hakkaks teostama turbasoode uurimisi ja koguks endale selleks vastavate eriteadlaste kaadri.

Kuigi ETTUK samal, s. o. 1945. a. ei saanud tööjõu kogumise raskuste tõttu asuda turbasoode välisuurimistele, teostas ta siiski rea turbasoode turba omaduste määramisi, milleks tal oli turbaproove eelmistest aastatest.

Järgneval, s. o. 1946. a. õnnestus ETTUK-il tänu Eesti NSV valitsuse ja EK(b)P toetusele moodustada soodeuurimissektor. Selle sektori esimese, s. o. organiseerimisaasta töö tulemusena on meie turbasoode uurimise andmed detail- ja rekognoosuurimiste alal suurenenud 20 000 ha turbasoode kohta ja peale selle marsruutuurimise alal 10 000 ha kohta.

Laboratoorsed keemilised ja botaanilised uurimised teostati ETTUK-i turbalaboratooriumis ja tema järeltulija Eesti NSV TA Tööstusprobleemide Instituudi kütuste laboratooriumis, kus peale nimetatud soodeuurimissektori poolt võetud proovide uuriti veel teiste asutiste poolt (nagu turbatööstused, turbatrust, „Estonenergo“) saadetud turbaproove.

Alates 1940. aastast on meil kogutud üle 40 000 ha turbasoode kohta detail- ja rekognoosuurimise andmeid. Umbes niisama palju võib arvestada ka varem teostatud soodeuurimisi. Viimastest on teatav osa kaduma läinud ning suurem osa varem uuritud turbasoodest on praegu tööstuslikult eksploateerimisel. Seega uuritud, kuid seni kasutamata turbasoode tagavara on meil üsna piiratud. Sellest piisab vaid nende turbatööstuste rajamiseks, mis on vajalikud, et saavutada 1950. a. ühe miljoni tonnini ulatuvat kütteturba toodangut. Siit näeme, kui võrd kiireks on muutunud vajadus turbasoode uurimise jätkamiseks ja hoogustamiseks.

Enamiku meie turbasoode ja seal leiduvate turbatagavarade kohta puuduvad meil isegi marsruutuurimise andmed. On küll teada, kui palju on meil soostunud maa-alasid. Need andmed on saadud sõjaväe topograafiliste kaardistamiste kaudu. Nende järgi on arvutatud soodeks maa-alad, mis on kaetud sootaimestikuga. Turbakihi paksuse kohta aga ei anna need mingeid andmeid. Sood on nende järgi jaotatud läbipääsmatuiks ja läbipääsetavaiks. Selline jaotus on nähtavasti tehtud soo kandevõime

järgi, mis oleneb veoludest. Soode jagunemist maakondade järgi nende andmete alusel näitab tabel 1.

Tabel 1.

Soode jagunemine maakondade järgi.

	Läbipääsmatu soo km ²	Läbipääsetav soo km ²	Kokku
Virumaa	788,5	1662,5	2451
Harjumaa	496,0	534,0	1030
Järvamaa	218,0	313,0	531
Läänemaa	339,5	333,5	673
Saaremaa	61,5	100,5	162
Pärnumaa	732,5	75,5	808
Viljandimaa	331,5	73,5	405
Tartumaa	273,5	242,5	516
Võrumaa	74,5	21,5	96
Valgamaa	21,0	12,0	33
	3368,5	3336,5	6705

Turbasoodeks nimetatakse teatavasti soid, millede turbakihi paksus on kuivatamata olekus vähemalt 30 cm ja kuivatatud olekus 20 cm. Milline hulk tabelis näidatud soodest kuulub turbasoode hulka, ei ole teada. Kogemuste põhjal on üsna tõenäoline, et kaugelt suurem osa neist vastab selles suhtes nõutud alamääradele, kuigi nad alati ei küüni tööstuslikult kasutamiskõlblike turbasoode nõueteni.

Teisest küljest on meil teada, et suur hulk, ja eriti just väärtusliku kihiga turbasoid sattus nendel topograafilistel kaardistamistel kas metsade, raiesmike või heinamaade hulka, olenevalt sellest, milline oli seekord nende soode pinnakate.

Kui tahame arvutada meie turbasoode üldist turbahulka, siis oleme sunnitud paremate andmete puudumisel toetuma eeltoodud soode pindalale, s. o. 670 500 ha.

Oletades, et umbes niisama palju turbakihiiga maa-alasid on arvestatud metsadena ja heinamaadena kui turbakihi maa-ala-

sid soodena, võime siiski arvestada 600—700 tuhande hektaarilist turbasoode pindala.

A. Raudsepa raamatus „Eesti NSV turbasood”, mis ilmus 1946. a., on kogutud andmeid nende turbasoode kohta, millede turbakihi paksus on vähemalt üks meeter. Seal toodud andmed on jagatud oma täpsuse järgi viide järku. Rahuldava väärtusega uurimisandmeteks saame seal pidada ainult I ja II järgu andmeid, s. o. detail- ja rekognoosuurimise andmeid, mida on üldse ca 48 000 ha kohta. Kolmanda järgu andmetest, mida on seal ca 83 000 ha kohta, ei vasta kaugeltki kõik marsruutuurimise andmete nõuetele. Järgnevad uurimisandmed on veelgi vähema väärtusega. Raamatus esitatud hinnang seal toodud turbasoode üldpindala ja turbatagavarade kohta põhineb paratamatult peamiselt just IV ja V järgu andmetel, sest toodud andmetest kuulub $\frac{2}{3}$ nimetatud järkudesse.

See kõik näitab ainult seda, kui vähe on meil väärtuslikke uurimisandmeid, ja seetõttu oleme sunnitud opereerima umbkaudsete arvestustega.

Turba-alaste küsimuste laboratoorseid uurimisi alustati meil, nagu varem öeldud, 1938. a. Loodusvarade Instituudi Turbasektsioonis. Sõjaajal perioodil töötati peamiselt kolme tähtsama küsimuse alal.

1. Uuriti Lehtse, Harku, Tootsi ja Lavassaare turba koksistamist ja koksistamissaaduste omadusi. Lisaks neile uuriti 1945. a. veel Kreenholmi turba koksistamist ja koksistamissaaduste omadusi.

Kreenholmi turbatööstuse turvas osutus selles suhtes eriti tähelepanuväärivaks, sest suhteliselt hea humiinistumisastme juures oli tema tuhasisaldus ainult ühe protsendi ümber ning ta võimaldas seega kolmeprotsendilise tuhasisaldusega ja muidu üldiselt heade omadustega koksi saamist. Need uurimisandmed omavad olulist tähtsust turba koksistamise vabriku rajamiseks.

Uurimine eesti fosforiidi fosforhappe lahustuvaks muutmise alal vähehuminiinistunud sammalturba abil andis väga häid tule-

musi. Nimelt selgus, et vahekorra juures, kus 1—2 g fosforiiti oli segatud 100 g kuiva sammalturbaga ja segu niiskus viidud 70—80%-ni, muutus P_2O_5 ligi sajaprotsendiliselt lahustuvaks. Fosforiidi hulga suurendamine turba suhtes vähendab küll fosforiidi fosforhappe lahustuvaks muutumise protsenti, kuid üldiselt suurendab lahustuva P_2O_5 hulka komposti kohta. Turba ja fosforiidi optimaalse vahekorra määrajaks kompostis on lahustuva P_2O_5 hind, mis oleneb fosforiidi ja turba hinnast komposti valmistamise kohal. Turba abil lahustuvaks muudetud fosforiidi fosforhappe mõju taimekasvule selgitati vegetatsioonikatsetega mineraalmulla kohta kastides ja akadeemik Prjanišnikovi järgi valmistatud kunstliku toiteseguga kvartslüüva kohta klaaspurkides. Vegetatsioonikatsed kinnitasid üldiselt keemiliste katsete tulemusi P_2O_5 lahustuvaks muutmise alal. See tõendab, et ka mineraalmaa fosforitarvet on võimalik rahuldada fosforiidiga ja nimelt fosforiit-turvaskomposti näol. Fosforiit üksi osutub mineraalmaa väetamisel vähetasuvaks, kuigi ta soomullamaadel on küllaldaselt tasuv.

Fosforiit-turvaskompostil on praegusel ajal, kus tahame oma põlluviljakust kiiresti tõsta, veel teine ja eriti suur tähtsus. Fosforiit-turvaskompostiga on meil piiramatud võimalused põldudele orgaanilise väetise andmiseks, mida põllud vajavad tohtul hulgal.

Freesturba isesoojenemisega seoses olevate küsimuste uurimisel selgus, et freesturba isesoojenemine põhjustab tunduvaid soojusenergia kadusid. Näiteks $\frac{3}{4}$ -aastasel seismisel kaob ca 12% freesturba orgaanilist ainet aeglase, s. o. leegita põlemise teel, muutudes CO_2 -ks ja veeks. Järelejäänud osa kütteväärtus kahaneb ca 5,5%. Nii on freesturba isesoojenemine majanduslikult kahjulik, sest tunduv hulk soojusenergiat läheb kaduma. Isesoojenemist tekitavad freesturbas peamiselt mikroobid. Nende elutegevuse pidurdamine vähendab järelikult nende poolt tekitatud kahju.

Teiseks selgus, et freesturba isesoojenemisel kuhja teatavais võõtmeis tekkiv koksi meenutav must mass ei ole koks, vaid

hoopis vastupidi — hapendumisprodukt, sest tema süsinikusisaldus ja kütteväärtus on väiksemad kui esialgsel freesturbal.

Tähtsamaist turba-alasse puutuvaist uurimistöödest ETTUK-i turbalaboratooriumis 1945. a. võime peale turbatagavarade omaduste selgitamise nimetada järgmisi töid:

1) Kõrge kütteväärtusega, komprimeeritavate gaaside saamine turbatõrvast.

2) Elekterfiltri kasutamine autol turba-generaatorigaasi puhastamiseks.

Turbatõrvast kütteväärtusega gaaside saamise uurimisel selgus, et turbatõrv annab pürolüüsimisel 600—620°-sel temperatuuril 15—20% kõrge kütteväärtusega gaasi, mis on komprimeeritav survel alla 20 at. Gaas koosneb peamiselt propaanist, propüleenist, butaanist ja butüleenist. Selliste gaaside kasutusele võtmine oleks mõeldav autoliikluse jaoks linnades. Turba-gaasi-generaatoritest saadav tõrv, millest on lahkunud tõrva kergemad osad, annab pürolüüsil vähem selliseid gaase kui turba koksistamisel saadav tõrv. Turbakoksivabriku rajamisel tuleks arvestada sellist turbatõrva kasutamise võimalust.

Elekterfiltri rakendamise võimaluste selgitamine turba-generaatorigaasi puhastamiseks andis positiivseid tulemusi. Teatavasti takistab turba kasutamise levikut autol peamiselt turba-gaasi raske puhastatavus. Elekterfiltri rakendamine turbagaasi järelpuhastajana kõrvaldab selle puuduse. Sobivaks elekterfiltriks osutus polütoruline elekterfilter koos magneeto-tüübilise pulseeriva voolu allikaga, mis saab oma liikumise automootorilt rihma kaudu nagu jahutusventilaator.

1946. a. oli ETTUK-i turbalaboratooriumis ja hiljem TA Tööstusprobleemide Instituudi kütuste laboratooriumis peale turbatagavarade omaduste selgitamise veel uurimisel Eesti NSV-s turba soojusisolatsiooniplaatide valmistamise küsimus.

Literatuuri andmete, laboratoorsete katsete, NSV Liidu teiste vabariikide vastavate vabrikute tootmismenetlustega üksikasjalise tutvumise ja majanduslike tegurite arvestamise põhjal tehtud kokkuvõtte näitas, et turba soojusisolatsiooniplaatide tootmine

Eesti NSV-s on täiesti otstarbekohane ja tasuv. Meil praegu toodetavate TEP- ja roogplaatide puhul tuleb soojuste takistuse ühik kallim, kui see on Vene NFSV ja Läti NSV turvasplaatidel.

1947. a. oli kütuste laboratooriumi töökavas peale turbatagavarade omaduste selgitamise veel freesturba isesüttivuse uurimine, et isesüttimiskalduvuse määramiseks välja töötada uut menetlust, mis vastaks senisest paremini tegelikkusele.

Результаты исследования торфяных болот и торфа Эстонской ССР

А. Авасте,

кандидат химических наук.

Резюме.

Мы оцениваем торф, главным образом, как топливо и как средство для увеличения урожайности полей.

Согласно пятилетнему плану, нам предстоит задача интенсивного увеличения добычи как топливного, так и подстилочного торфа. В части топливного торфа придётся увеличить довоенную добычу примерно в 3 раза.

Рациональное выполнение такого огромного увеличения торфодобычи требует безусловно обследования всех наших торфоболот. Так как мы имеем исследовательские данные удовлетворительной точности только для 80 000 га торфоболот, то это обстоятельство ставит перед нашими учреждениями, занимающимися обследованием торфоболот и торфа, очень большую и требующую скорейшего разрешения задачу. Надо обследовать, по крайней мере с точностью рекогносцировочного обследования, все наши болота в самый непродолжительный срок. Во всяком случае, эта задача должна быть выполнена в течение 5—6 лет, чтобы не тормозить рационального развития нашей торфяной промышленности.

Предшественником Института Промышленных Проблем Академии наук ЭССР—Центральным Научно-исследовательским Институтом промышленности (ЦНИИП-ом) был весной 1946 года создан сектор разведки торфоболот, персональный состав которого возрос к осени того же года до пяти разведчиков-торфоведов. С таким составом продолжались торфозазведочные работы в 1947 году.

Лабораторные, химические и ботанические исследования для определения качества торфа производились в Торфяной лаборатории, которая при переходе в систему Академии наук

была переименована в Топливную лабораторию Института Промышленных Проблем, где лабораторные исследования для выявления качества торфа продолжаются и в этом году.

В этой лаборатории, кроме определения свойств торфа, был разрешён ряд вопросов, касающихся улучшения и использования торфа. Так, например, нашли положительное разрешение вопросы получения высококалорийного ожижаемого газа из торфяного дегтя, применения электрофильтра в автотранспорте для чистки торфо-генераторного газа, изготовления в ЭССР теплоизоляционных плит из торфа и т. д.

В этом году в тематике Топливной лаборатории, кроме исследования химических и ботанических свойств торфа, намечен также вопрос о самовозгорании фрезерного торфа, с целью выработать новый метод для определения склонности фрезторфа к самовозгоранию, так как употребляемый до сих пор метод не удовлетворяет действительным требованиям в этой области.

Uute tööstuste rajamise aluseid ja perspektiive Eesti NSV-s sõjajärgsel viisaastakul¹.

Insener H. Uuemõis.

Käesolev neljas stalinlik viisaastak on meie purustatud tööstuse taastamise ja meie kodumaa edasise industrialiseerimise viisaastak.

Meie tööstuse taastamise ja arendamise plaani põhitingimuseks on tööstuse ülesehitamine ja kujundamine sotsialistlike arenemisprintsiipide kohaselt. Sealjuures ei pea me oma vabariigi tööstuse ülesehitamise plaanis tegutsema separaatselt, isoleerituna omaette, vaid tihedas koostöös ja kooskõlastatult kogu Nõukogude Liidu sotsialistliku tööstus-majanduskompleksi arenemisperspektiividega.

Tööstuse tootmisaparaadi struktuur ja ulatus kuuluvad väljakujundamisele kooskõlas sotsialistliku industrialiseerimise põhiprintsiipidega. nii meie vabariigi kui ka kogu NSV Liidu vajaduste ja nõuete baasil.

Käesoleva viisaastaku plaani ellurakendamine kujundab meie maa suurel määral industriaalmaaks, kus tootmise arendamisel mõjuv koht on määratud rasketööstusele.

Kooskõlas sellega on peamine raskuspunkt asetatud nende tööstusalade arendamisele, mis toodavad tootmisvahendeid ja on oluliseks baasiks teistele tööstustele. Need on:

- 1) kütte-energeetikatööstus, kuhu kuuluvad põlevkivi-, turba- ja elektrienergia-tööstus;
- 2) keemia-tööstus, kuhu kuuluvad põlevkivisaaduste baasil põhinevad keemia- ja fosforiiditööstus;

¹ Sellest artiklist on osa arvulisi andmeid välja jäetud.

- 3) metallitööstus — metallurgia-, masinaehitus-, laevaehitus- ja põllutööriistade-tööstus;
- 4) ehitusmaterjalide tööstus — tsemendi-, telliste-, lubja-, kriidi-, kipsi-, TEP-plaadi-tööstus jt.

Meie vabariigi industrialiseerimise ennenägematust ulatusest annab kujuka pildi Nõukogude Eesti käesoleva viisaastaku plaani seaduses ettenähtud kapitalimahutus, mis ulatub 3,5 miljardi rublani (sellest 708,0 miljonit rubla vabariikliku alluvusega majandusse). Siinjuures tuleb rõhutada, et sellest kogusummast ligi 75% suunatakse rasketööstusse, s. t. tootmisvahendeid tootvasse tööstusse.

Kui meil on küte, energia, toormaterjal ja masinad, siis võime käivitada tööstusi ja toota riidet, jalanõusid, mööblit ning teisi elutarbeid. Kui meil on olemas väetusained, saame tõsta põllumajanduse toodangut; kui on olemas ehitusmaterjale, saame ehitada ajanõudeile vastavaid elamuid, hooneid ja tehaseid.

Siit on arusaadav, miks viisaastaku plaanis tootmisvahendite- ehk rasketööstusele on omistatud selline suur tähtsus.

Tööstuse toodanguplaani järgi suureneb tööstuse kogutoodang sõjaeelse tasemega võrreldes 2,4-kordselt.

Põlevkivi: 1940. a. — 1,8 miljonit tonni,

1950. a. — 8,4 „ „

Suurenemine 4,5 korda.

Elektrienergia: 1940. a. — 197 miljonit kWh,

1950. a. — 395 „ „

Suurenemine 2 korda.

Masinatorvas: 161,8 tuh. tonnilt 665 tuh. tonnile, s. o. suurenemine 4 korda, sellest turbabrikett 32,6 tuh. tonnilt 100 tuh. tonnile, suurenemine 3 korda.

Masinatorva tootmisel minnakse üle ratsionaliseeritud tootmisviisidele. Briketi tootmiseks on ette nähtud uue briketivabriku ehitamine Virumaale, Orule, toodanguga 50 000 tonni briketti aastas. Niisama palju hakkab tootma Tootsi briketivabrik.

Plaani kohaselt rajatakse: superfosfaaditehas, väävelhappe-tehas, fenoolide ja karboonhapete tehas, atsetoonitehas jt.

Metallitööstuse alal näeb viisaastaku plaan ette metallitööstuse baasi taastamise ja arendamise, mis oleks suuteline rahuldama kohapealsete tööstuste nõudeid.

Samuti on kaalutlemisel lähemas tulevikus ka metallurgia-tehase ehitamine.

Tallinna, Tartu ja Rakveresse tuleksid rajamisele põllutööriistade vabrikud ning Tartusse piimameiereiseadmete vabrik.

Tartu telefonivabriku baasil tuleb asutada täpsusriistade tööstus.

Viisaastaku plaani andmed näitavad, missugusel tähtsal määral suureneb Eesti NSV tööstuse tase mõnes tööstusharus lähematel aastatel.

Nagu öeldud, on viisaastaku plaani järgi suurt tähtsust omistatud põlevkivitööstuse arendamisele. Sellest tingituna teeb ennenägematult suure tõusu läbi meie vabariigi tähtsaima loodusvara — põlevkivi — toodang, selle kasutamine tööstuses kütusena, ümbertöötamine küttegaasiks, elektrienergiaks, vedelaks kütuseks ja teisteks keemilisteks aineteks.

Erilise tähelepanu osutamine põlevkivitööstuse arendamisele ei ole juhuslik nähtus, vaid see on tööstuse üldperspektiivist lähetes paratamatu ja möödapääsmatult tarvilik. Põlevkivi tohutute tagavarade suurendatud eksploateerimine ja põlevkivi ümbertöötamine on põhjaneva tähtsusega tegur teiste tööstusharude arendamiseks ja rahvamajandusliku üldolukorra tõstmiseks. Põlevkivi ja selle saadused on hädatarvilikud kohapealse tööstuse kütusena ja tema baasil toodetav elektrienergia kasutatakse energiana teiste tööstuste ning rahvamajanduse nõuete rahuldamiseks.

Uue ja tähtsa üritusena vajab mainimist põlevkivist toodetava küttegaasi kasutamine Leningradi gasifitseerimiseks. On ette nähtud Leningradi gasifitseerimiseks ehitada kaks põlevkivi gaasistamise tehas ja toota aastas 800 miljonit m³ küttegaasi. Selle gaasikoguse tootmiseks kasutatakse toodetavast põlevkivi üldkogusest ligikaudu 40%.

Leningradi gasifitseerimisega vabanevad raudtee ja teised veovahendid mitmemiljonilise linna kütteenete transpordist ja neid transpordivahendeid saab kasutada teisteks vajadusteks.

Samal ajal on põlevkivi utteproduktid — õli, mootoripetrooleum, bensiin jt. — tarvilikud kütused transpordi, põllumajanduse jt. aladel. Tuleb rõhutada asjaolu, et põlevkivi ja tema baasil toodetavate kütuste ja elektrienergia suurenev kasutamine neljandal viisaastakul võimaldab tunduvalt vähendada puidu tarvitamist kütusena ja seega kokku hoida piiratud, saksa fašistlike okupaatsioonivõimude poolt röövmajanduslikult kasutatud ning otsese sõjategevuse tõttu kahju kannatanud metsakontingenti. See võimaldab säästa metsi hädatarvilikeks ehitusmaterjalideks ning tööstuslikuks tooraineks paberi ja tselluloosi tootmisel.

Seoses põlevkivi ja turba suurema tootmisega on lahendatud ka meie tööstuse kütteprobleem. Käesoleva viisaastaku vältel muutub üksikute kütuste osatähtsus tunduvalt seoses industrialiseerimiskava rakendamisega.

Kui võrrelda kütuste tarvitamist tööstuses kodanlikus Eestis 1936. a. ja Eesti NSV-s neljanda viisaastaku lõpul, siis on vahet järgmine:

	Kodanlik Eesti 1936. a.	Eesti NSV 1950. a.
Põlevkivi	39,6%	66,0%
Turvas	11,4	18,0
Puit	33,4	1,5
Kivisüsi	10,5	7,5
Põlevkiviõli	5,1	7,0
	100,0%	100,0%

Lõpuks peab mainima, et põlevkivi utmisel saame mitmesuguseid aineid, mis töötlemisel kujunevad väärtuslikeks tööstuslikeks tooraineteks, nagu fenoolid, atsetoon, karboonhapped, bituumenid jt.

Fenoolide ja karboonhapete tootmise võimalust on selgitatud paari viimase aasta jooksul ETTUK-i poolt. Uurimiste tulemusena töötati välja nende ainete tootmise tehnoloogiline menet-

lus ning selle alusel fenoolide ja karboonhapete tootmise tehase projekt. Need ained moodustavad tööstusliku tooraine, mille järele meie tööstusel on suur nõudmine. Praegu on selgitamisel ja lahendamisel fenoolidest vaikude valmistamine, mis on omakorda tööstuslikeks tooraineteks plastiliste masside valmistamisel ja millele järele on samuti suur vajadus. Võib oletada, et karboonhapetest saadakse peale muu ka fosforiidi floteerimiseks vajalikke reagente. See küsimus on praegu uurimisel Teaduste Akadeemia Tööstusprobleemide Instituudis.

Üldiselt on meil aga põlevkivi töötlemise võimalusi veel vähe uuritud ja sel alal seisab meie teadlastel ees suur töö. Pole kahtlust, et pidevate uurimistega avaneb võimalus põlevkivisaaduste koguse tõstmiseks, mille tulemusena põlevkivi ja selle destillatsioon saadused võivad kujuneda väärtuslikeks tooraineteks keemiatööstusele. Võib-olla ei ole kaugel aeg, kus põlevkivi tarvitamist kütuseks peetakse ebamajanduslikuks.

Teise tööstusharuna, millele neljanda viisaastaku plaanis erilist tähelepanu osuatakse, mainitagu meie maapõue fosforiidi-varudel baseeruvat tööstust. Nagu teada, on meie fosforiit väärtuslik tooraine fosforvætise tootmiseks, millest meie põllumajandus tunneb praegu teravat puudust. Ka on fosforiit täiesti kõlblik ja väärtuslik lindude mineraalsöödaks, millel on avarad turustamisvõimalused. Loomade mineraalsööda valmistamise osas pole fosforiidi kasutamist seni täiel määral uuritud ja see küsimus vajab lahendamist.

Käesoleva viisaastaku plaani järgi tuleb Maardus monteermisele suurevõimeline vabrik fosforiidi rikastamiseks floteerimismenetlusel. Praegu juba töötab Maardus väiksem fosforiidi rikastamise vabrik, kus kasutatakse sõelumismenetlust. Maardu fosforiidi baasil rajatakse superfosfaaditööstus ja väävelhappe tootmise vabrik.

Arvestades asjaolu, et väävelhape on tarvilik kemikaal mitmesuguste tööstuste tootmisprotsessides, on selle vabriku rajamine Eesti NSV-s tervitatav samm kohapealse tööstuse elustamise suunas. Olgugi et väävelhappetehas on plaanitud teistest

vennasvabariikidest sisseveetavate toorainete baasile, ei mõju see koormavalt transpordile, sest püriidi sissevedamisel jääb ära üle kahekordse koguse superfosfaadi transport NSV Liidu kaudu rajoonidest ning peale selle veel väävelhappe sissevedu põlevkivi, superfosfaadi ja teiste tööstuste vajadusteks.

Mis puutub superfosfaaditehasesse, siis, nagu on teatavaks saanud, kavatakse rajatavas tehases hakata tootma tavalist superfosfaati. Kuigi tavalise superfosfaadi tootmise menetluse juurde jäämine on tingitud mõningaist põhjustest ja on esialgu võib-olla paratamatu, peab seda siiski tõsiselt kahtsema. Nagu teada, on tavalise superfosfaadi valmistamine ja selle tarvitamine väetusaineks praegusel ajal juba vananenud ja on tendents tavalisi superfosfaaditehaseid ümber ehitada ajakohasema väetusaine valmistamiseks. Sealjuures püütakse tõsta superfosfaadi fosforikontsentratsiooni, toodetakse kahekordset superfosfaati ehk granuleeritud superfosfaati, mille tarvitamine on odavam ja mille mõju taimekasvule on 2—3 korda suurem hariliku superfosfaadi omast. See on olulise tähtsusega faktor, peale kõige muu ka transpordi vähendamiseks, kui arvestada, et transporditav kogus kahekordse superfosfaadi puhul vastavalt väheneb, mis teeb väetusaine hinnalt kättesaadavamaks. Peale selle pääseb üha enam mõjule suund üleminekuks liitväetiste valmistamisele.

Oleks soovitav ja ka tarvilik, et selliste tähtsate projektide tellimisel kaugemal seisvaid asutistelt meie ise teeksime vajalikud majandustehnilised arvutused meie oludele vastavalt koha peal ja annaksime need projektide koostamise alustena projektide valmistajale. Sellega antaks uurimistele ja projektide valmistamisele kindel suund, millega piiratakse valmistaja poolt ainult selle tegemist, mis temale lihtsam ja võimaldab aja kokkuhoidu. Sellise toimingu puhul tekivad ka variandid, mis niisugustel juhtudel on soovitavad.

Metallurgiatehase rajamisega avaneb kohapealsetel tööstustel võimalus varustada end kvaliteetse sordi ja peenemate profiilraua sortimentidega koha peal, sõltumatult kaugel transpordi raskustest.

Metallurgiatehase toorainebaasiks oleksid kohapealsete tööstuste rauajätted ja vanaraud, millele tuleks juurde lisada vähe- mas koguses sisseveetavat rauamaaki. Kodanlikul ajal toimunud vanaraua väljaveo andmetest nähtub, et vanarauda veeti välja ajavahemikus 1925. a. — 1934. a. keskm. 6800 t aastas ja 1938. a. 7300 tonni. Võrdlusena võiks mainida, et uue raua sissevedu oli 1925. a.—1934. a. keskm. 20 000 tonni ja 1938. a. 32 000 tonni. Kui arvestada veel seda, et sõjaolude tõttu on kohapealsed vanaraua tagavarad tunduvalt kasvanud, siis on selge, et metallurgiatehase asutamine kohalikul vanarauabaasil peenemõõduliste profiilide osas on põhjendatud. Kütteaine seisukohalt raskusi ei ole, sest tootmisprotsess on võimalik kohalike vedelkütuste baasil.

Metallurgiatehase majandusliku tasuvuse juures ei saa kahtlust tekkida, sest sisse vedada tuleks ainult teatav osa rauamaaki, kuna oluline osa — vanaraud, kütus ja töäjõud — on olemas koha peal.

* * *

Oluliseks teguriks käesoleva viisaastaku plaani täitmise kindlustamisel on tööstuste varustamine kvalifitseeritud töäjõuga. Tööliste hankimise küsimus vajab tõsist ja kavakindlat korraldamist ning asjaomased asutised peavad seda aegsasti iga- külgselt ja asjalikult selgitama. Töäjõu hankimise raskusi ei tule alahinnata. On arusaadav, et laastava sõja ohvritena on meil palju väärtuslikku töäjõudu hävinud, ei ole ka väike see osa, mis sõjas saadud vigastuste tõttu peab tööstusest eemale jääma. Seega ühelt poolt on töötajate arv üldiselt vähenenud ja teiselt poolt vajavad sõja purustuste likvideerimine ja taastamine ning samal ajal neljanda viisaastaku industrialiseerimisplaan suuremal arvul töäjõudu. Kuivõrd edukalt suudetakse seda küsimust lahendada, sellest oleneb suurel määral olemasolevate kui ka rajata- vate tööstuste hea käekäik ja nende tootlikkus.

Töäjõureservide puudus iseendast kohustab, et tööstuse toot- misprotsess teostuks võimalikult vähema arvu töölistega ehk tei- siti väljendades — tööstuse tootlikkust tuleb tõsta.

Olukordi arvestades on viisaastaku plaani seaduses ette nähtud keskmine tootlikkuse tõus viisaastaku lõpuks 36% võrra tööstuse ja 40% võrra ehituse alal.

Tootlikkuse tõstmine toodud normides ei tekita raskusi, sest selleks on olemas mitmesuguseid võimalusi ja reserve.

Esimese, kõige mõjuvama ja olulisema võimalusena mainitagu töötajast endast olenevat tootlikkuse suurenemist sellega, kui töötaja omab terve töömeeleolu, on oma ülesande juures andumusega ning, rakendades sotsialistliku võistluse meetodeid, töötab intensiivsemalt ja paremini. Sellise töötamise tulemustest võime iga päev ajalehtede veergudelt lugeda. Eesrindlikumad töötajad ühes või teises käitises, töötades kõrvuti teistega samadel töödel, ületavad töönorme pidevalt 200, 300, 400% ja mõnel juhul veelgi enam. Need töösaavutused tõendavad, millise tohutu suure tööjõureservi omame tootlikkuse tõstmiseks, kui tööülesandeid täidetakse intensiivsemalt ja püüdlukult. Selle reservi ära kasutamiseks on tarvilik, et töö teostuks kõikidel aladel tükitöö põhimõttel, tehniliselt kindlate normide alusel. Samuti on tarvilik kindla töödistsipliini sisseviimisega likvideerida loidus, vajalike selgituste ja premeerimistega järjekindlalt arendada töötajate töövõimet ja huvi nõnda, et kõik töötajad haarataks kaasa viljakamale tegevusele. Sellise töömeeleolu loomise tulemuseks on üldine tööjõudluse tõus.

Teise võimalusena mainigem tootmisprotsessi ratsionaliseerimist sellega, et tööprotsessis välditakse asjatud tööjõu ja tööaja kaod. Näitena võib nimetata 1946. a. sügisel „Unioni” saapavabrikus teostunud tööprotsessi parandamist tööstusmasinate ümberasetamisega nii, et masinad reastati otstarbekamalt tööoperatsioonide järjekorras. Selle tulemusena saavutati tööviljakuse tõus ühe töötaja kohta keskmiselt 25%. Teise näitena võib tuua metallitööstust „Metallist”, kus peale tööprotsessi korraldamist toodang tõusis 300—400%.

Kolmandaks abinõuks tööjõu säästmiseks on tööprotsessi mehhaniseerimine, kus inimtööjõu asendajateks rakendatakse tööprotsessi masinad. Mehhaniseerimist tuleb teostada igal pool,

Exhib. univ. Tart.

kus see võimalik, eriti aga seal, kus töö on pingutav ja nõuab palju tööjõudu.

Mehhaniseerimisega saavutatakse tööjõudluse tõus ja vabastatakse töötaja raskest, väsitavast tööst.

Neljanda abinõuna nimetatagu hästi ja eeskujulikult organiseeritud töö operatiivset juhtimist. On sagedaseks nähtuseks, et tööle asudes töö juhtijad kulutavad palju aega mõtlemiseks, arutlemiseks ja sagedasteks läbirääkimisteks töö korraldamise asjus. See on halb töö juhtimise viis — see halvab töötajate töömeeolu ja sellega kaasub tööviljakuse langus.

Töö juhtimise alal tuleb lähtuda sotsialistlikust äraproovitud ainujuhtimisprintsibist. See ainujuhtimispõhimõte ei tähenda veel seda, et ainult üks juhib ja teised on passiivses osas. Ainujuhtimisprintsip tähendab töö juhtimise koordineerimist ühe üldjuhi poolt üldhuvide ja olukorra kohaselt kindla jaotusega ja skeemi järgi. Töö juhtija korraldused ei tohi olla üldsõnalised, vaid igakülgsest läbimõeldud ja peavad sisaldama konkreetseid juhendeid, kuidas ühte või teist ülesannet teostada. Sotsialistlik juhtimisprintsip eeldab, et igale tehtud korraldusele peab järgnema selle täitmise kontrollimine. See tagab korralduse täitmist ja süvendab vastutustunnet ning kindlustab töödistsipliini. On täiesti lubamatu olukord, kus üksikud juhid või alljuhid ei tea ega tunne oma ülesandeid ega kohustusi. Ainult kavakindel, energiline, ettenägelik ja asjatundlik töö juhtimine annab häid tulemusi, loob töötajaskonnas hea töömeeolu ja aitab oluliselt kaasa tootlikkuse tõstmiseks.

Tootlikkuse tõstmine on üheks neljanda viisaastaku nurgakiviks. See peab kujunema industrialiseerimise viisaastaku printsipiks. See printsip peab saama igale nõukogude kodanikule südamelähedaseks. Sellest oleneb suurel määral viisaastaku plaani täitmine.

Seoses tootlikkuse tõstmisega tuleb järjekindlalt arendada ja tõsta toodete ajakohasust ja kvaliteeti. Halb töö ja halb materjal põhjustavad suuremaid kulutusi, on asjatu tööaja kaotamine, mis on lubamatu. Selle vastu peame võitlema. Töö ja materjali

kvaliteet on normitud OCT-idega ja ГОСТ-idega. Need on igale tööstusele seaduseks ja neist tuleb kinni pidada.

Et kindlustada uute tööstuste rajamise aluseid ja nende edaspidiseid arenemisvõimalusi kooskõlas tehnika üldise progresliga, on tarvilik, et meie tööstusel oleks tugev teaduslik-tehniline baas.

Teaduste Akadeemia oma vastavate instituutidega peab kujunema meie asutatavale ja arenevale tööstusele selliseks teaduslikuks baasiks, mis kindlustab tema igakülgse arenemise ja on suunda määravaks aluseks edaspidistes viisaastakutes.

Tööstuse arenemine ja selle perspektiivide kindlustamine ilma teadusliku baasita ei ole tänapäeval mõeldav.

Samal ajal peab ka meie olemasolev mitmekülgne tööstus pidevalt elunõuetega kooskõlas arenema tootlikkuse tõusu, toodete moderniseerimise ja kvaliteedi tõstmise, materjalitarvituse normimise, omahinna alandamise, sisseseade täiendamise, tööprotsessi mehhaniseerimise ja ratsionaliseerimise ning leiutiste rakendamise suunas. Näitena mainitagu, et saapavabrik „Union” teostas materjalide normimise, mille tulemusena, arvestades ligikaudselt, saab aasta jooksul kokkuhoitud nahast valmistada 7500—10 000 paari jalatseid.

Tööstustoodete tootmise protsess, toodete välimus, omadused ja nomenklatuur ei jää kunagi konstantseks. Oluline osa meie tööstustest koosneb üksikutest, oma toodete poolest erinevatest ja laialipaisatud väiketööstustest, mis ei oma uurimis- ja tehnikabüroosid. Poleks ka mõeldav selliste organite loomine üksikute tööstuste juurde, sest see oleks asjatu jõudude killustamine. Need ülesanded aga ei kuulu oma struktuuri järgi Teaduste Akadeemia valdkonda ja seega tekib nagu tühi koht, mis tuleks tingimata täita, organiseerides vajaliku teaduslik-tehnilise baasi nende ülesannete lahendamiseks, sest see teostuks meie tööstuse edasise arenemise huvides.

Основы и перспективы создания новых промышленных предприятий в Эстонской ССР в послевоенной пятилетке.

Инженер **Х. Уемыйз.**

Резюме.

Развитие промышленности Эстонской ССР должно быть согласовано с развитием промышленности Союза ССР. Наиболее важными отраслями промышленности ЭССР, подлежащими дальнейшему развитию и служащими базой для других промышленных предприятий, являются следующие: топливная и энергетическая, химическая, металлургическая и строительная. В отрасли топливной и энергетической промышленности — сланцевая и торфяная промышленность, в отрасли химической промышленности — фосфорит, суперфосфат и продукты перегонки сланца (масла, бензин, газ, моторное топливо, фенолы, ацетон, дубильные вещества и пластмассы). Развитие металлургической промышленности будет базироваться, главным образом, на отходах местных металло-обрабатывающих заводов и имеющемся старом железе (лом), с добавлением некоторого количества привозной руды.

Промышленность должна быть обеспечена квалифицированной рабочей силой, в которой сейчас чувствуется острый недостаток; для разрешения этого вопроса необходимо всестороннее его выяснение и планомерное проведение в жизнь необходимых мероприятий. Освещены вопросы рационализации, механизации, повышения продуктивности рабочей силы, организации работ и наблюдения за ними. Затронуты также вопросы о повышении качества продукции.

Необходима общая техническая, научная база в качестве путеводаителя при создании новых промышленных предприятий и дальнейшем развитии имеющихся. Такой базой явится Академия Наук с её институтами.

II.

О проблемах в области геологии и полезных ископаемых Эстонской ССР.

А. Луха,

действительный член Академии наук Эстонской ССР.

Территория Эстонской ССР вместе с Ленинградской областью уже в течение более чем сотни лет давала геологам и палеонтологам богатый материал для научно-исследовательской работы. Можно перечислить длинный ряд имён известных учёных, пополнивших своими трудами изученность геологии и палеонтологии Эстонии, начиная с Эйхвальда, Пандера и Мурчисона в начале 19-го столетия и кончая Ламанским, Погребовым, Гольмом, Виманом и Рамзаем в первых десятилетиях XX-го века.

Особенное же значение принадлежит академику Шмидту, который на протяжении более чем половины столетия посвящал свои труды, главным образом, геологии и палеонтологии Эстонии и Ленинградской области и имя которого неразрывно связано с классификацией коренных пород нашей области и с описанием весьма важных групп фауны.

Его большой труд по описанию трилобитов балтийского силура является классическим произведением мировой палеонтологической литературы. Так же фундаментальны его сводные работы по описанию обнажений и стратиграфии наших коренных пород. Менее обширными, но такими же фундаментальными и классическими являются труды: А. Миквица о брахиоподе *Obolus*, Гольма о меростоме *Eurypterus*, Р. Басслера о мшанках, А. Гейнца о панцырной

рыбе *Homostius*. Мы перечислили только наиболее выдающиеся работы вышеупомянутых авторов. Начиная с двадцатых годов настоящего столетия, значительный вклад в дело изучения геологии и палеонтологии Эстонии внесли труды эстонских геологов, сгруппировавшихся вокруг Тартуского университета. В особенности ценны их работы по уточнению геологической карты и классификации отложений, а также по петрографическому исследованию осадочных пород и палеонтологическому их описанию. Опубликованные труды геологов Тартуского университета этого периода составляют небольшую библиотеку в 70 названий, среди которых имеются весьма существенные труды, как например о брахиоподах, трилобитах и других разнообразных представителях фауны, а также исследования по литологии и стратиграфии.

Из вышеизложенного видно, что вклад, сделанный в геолого-палеонтологическую науку геологами, работавшими по изучению геологии Эстонской ССР, весьма значителен и достоин внимания. Эти работы значительно обогатили геологическую науку в области изучения геологической истории старейших систем палеозоя и развития организмов. Если это было возможно в то время, когда буржуазная власть мало содействовала геологической науке, то это, по видимому, объясняется богатством материала и личной инициативой учёных. Небезынтересно, может быть, отметить, что преимущественно палеонтологический материал нашей области, даёт представление о древнейших головоногих (*Volborthella* — нижний кембрий), древнейших мшанках, появляющихся на границе кембрия и ордовика (*Heteronema priscum*), о первых морских ежах среднего и верхнего ордовика (*Bothriocidaris*), а также о встречающейся здесь фауне древнейших иглокожих — цистоидей, и является одним из богатейших материалов, благодаря которым палеозоология получила представление об этих вымерших организмах. Встречающиеся у нас местонахождения первых известных рыб в верхне-готландских отложениях на Сааремаа яв-

ляются одними из наиболее заслуживающих внимания местонахождений окаменелостей во всем мире. Здесь были заложены целые каменоломни с целью получения научного материала. С течением времени музеи всех стран дополнили свои коллекции образцами этой фауны. Не меньшего внимания заслуживают также и местонахождения панцирных рыб в красном песчанике девона южной Эстонии, где Тартуским геологическим музеем собрана единственная в своём роде коллекция фауны (*Heterostius*), которую, по её разнообразию и научному значению, можно смело сопоставить с наиболее выдающимися научными коллекциями музеев мирового значения.

Эти факты необходимо подчеркнуть с точки зрения данной темы, так как они показывают одно важное направление, в котором должна развиваться геологическая исследовательская работа вообще, и работа Института геологических наук Академии Наук Эстонской ССР. Из этих фактов мы видим, что коренные породы ЭССР содержат богатый научный материал для изучения форм и развития жизни на земле. Мы можем сказать *a priori*, что перечисленные нами работы далеко не охватывают всего этого материала. Скорее можно считать, что эти исследования устанавливают только отдельные вехи и что задачей будущего явятся работы, которые увеличат, обработают и систематизируют эти богатейшие материалы при помощи передовых методов науки. Если наша территория была известна прежде, а также славится и теперь, как одна из наиболее изученных в геологическом отношении областей, то эта слава может быть проходящей, если мы не будем продолжать энергично работать, применяя новейшие методы исследования.

Палеонтологический материал и палеонтологическая тематика по своему характеру не должны рассматриваться на заседании настоящей секции Академии Наук. С этим материалом следовало бы, в сущности, выступить на заседании, посвящённом биологическим наукам. Имеющийся в структуре Академии Наук СССР Палеонтологический ин-

ститут входит, например, в отделение биологических Наук Академии, что следует считать вполне правильным.

Но всё же эти вопросы должны быть затронуты и здесь. Материалы, изучаемые геологией — горные породы земной коры и её слои, настолько тесно связаны с остатками органического мира и органогенными элементами, что их нельзя правильно рассматривать, описывать и эксплуатировать, если не обращать внимания на эти остатки и продукты органического мира. И наоборот: невозможно правильно объяснить появление и развитие земных организмов, если мы педантично, слой за слоем, не проследим их присутствие в горных породах.

Поэтому, с точки зрения современной геологии, вдвойне важно с наибольшей полнотой уточнить профили или разрезы (будь то коренные породы или какой-либо иной слой). И это нужно делать не в одном или небольшом количестве пунктов, но по возможности, по всей сети наблюдений, чтобы не остались от нас скрытыми те фациальные переходы, которые определяют свойства горных пород, часто весьма важные с практической точки зрения.

Из этих соображений вытекает целый ряд проблем для геологического исследования нашей области: необходимо снова и снова собирать материалы на всех обнажениях, природных или искусственных. Так как такие обнажения редки и не отражают всего разреза коренных пород, то нужно систематически производить бурения; весь собранный материал требует тщательной, лабораторной петрографической и палеонтологической обработки.

Эти замечания носят методический характер; но за ними скрываются и практические темы, касающиеся как расчленения наших коренных пород по зонам и ярусам, условий и последовательности отложения этих пород, так и палеогеографических условий и их изменений. Так же очевидно, что при помощи этой методики мы получим новый материал для изучения окаменелостей, опираясь на который, можно будет снова пересмотреть все

группы фауны (и флоры), уточняя описание представителей отдельных родов и семейств и добиваясь уточнения филогенеза, а также и стратиграфических построений на возможно далёкие расстояния.

Тем здесь может быть столько, сколько мы выделим районов отдельных фаций, отдельных групп фауны, отдельных зон или ярусов.

В кратком докладе невозможно даже перечислить все эти темы. Из наиболее значительных отметим, например, вопрос о границе между нижним и верхним силуром, в отношении которой у нас не имеется ещё согласованного решения, или же вопрос о переходе верхнего силура в девон.

С точки зрения прикладной геологии в эту группу проблем должно быть включено детальное выяснение генезиса горных пород, имеющих практическое значение, как например горючего сланца, фосфорита и разнообразных видов известняков и доломитов.

Здесь мы и подходим к исследовательским проблемам практического характера, которые неразрывно связаны с геолого-палеонтологической тематикой теоретического порядка.

В ЭССР имеются великолепные примеры полезных ископаемых, являющихся звеном в нормальном чередовании слоёв: это — горючий сланец и фосфорит. Их открытие и эксплуатация указывают на важность геологических исследований с точки зрения выявления полезных ископаемых вообще. Во время топливного кризиса в 1915 г. в тогдашнем Петрограде, благодаря общим геологическим исследованиям знали, куда обратиться за поисками топливного материала в недрах земли. В 20-х и 30-х годах нашего века геологи в поисках местонахождений фосфоритов шли буквально по тому же пути, которым пользовались за десятки лет до них палеонтологи, в то время ещё не думавшие о производстве удобрений.

Министр геологии СССР И. И. Малышев в своем докладе на сессии отделения геолого-географических наук Академии

наук СССР 24 апреля 1946 г. подчеркнул значение геологических исследований общего характера и геологического картирования при поисках полезных ископаемых. В этой области в Советском Союзе после 1918-го года была проделана огромная работа: до 1918-го года геологические карты охватывали только 5,35% территории царской России. К 1-му января 1945 года картировано было уже 60% всей площади. В 1945/1946 годах этот процент достиг 70. Значительная часть этой площади нанесена на геологические карты мелкого масштаба, и поэтому впереди предстоит ещё большая работа по съёмке для составления карт в более крупном масштабе.

Положение в отношении картирования территории ЭССР отвечает в общих чертах положению в СССР. Хотя у нас и нет уже больше белых пятен, т. е. на картах в мелких масштабах вся территория геологически отображена, но такие карты мелкого масштаба, особенно для удовлетворения местных нужд, недостаточны, и поэтому необходимо дополнительно обследовать территорию, проводя как работы на поверхности так и бурения. Это большая работа, тем более, что обычно приходится составлять две карты — одну для коренных пород, а другую для четвертичных отложений.

Эту работу нельзя дальше откладывать, так как она является первой ступенью всех детальных поисков полезных ископаемых.

Но для быстреего проведения необходимых исследований нужны кадры специалистов, в большем количестве, чем они имеются у нас в ЭССР. Отсюда вытекает необходимость, с одной стороны, в срочной подготовке специалистов в наших высших учебных заведениях — Тартуском государственном университете и Таллинском политехническом институте, — с другой стороны, имея в виду что, потребности промышленности не позволяют выжидать окончания даже этого подготовительного процесса, необходимо параллельно с картированием и его подготовкой проводить детальные поиски и иссле-

дования в объёме, необходимом для удовлетворения текущих нужд промышленности.

Фактически в течение двух последних послевоенных лет мы и наблюдаем в ЭССР большое оживление в области детальных геологических исследований и поисков. В этой работе заняты многочисленные бригады из системы Министерства геологии СССР, Академии Наук СССР, других министерств, геологических и проектных организаций, которые срочно должны разрешить вопросы, касающиеся полезных ископаемых, а также и другие вопросы прикладной геологии, особенно при возведении различных сооружений.

При правильной постановке дела эти детальные работы можно использовать и для пополнения геологического картирования, хотя и со значительной задержкой, так как проходит много времени, прежде чем отчёты о проделанной работе бывают готовы и поступают в центральные фонды.

В связи с этим вопросом нужно остановиться на нескольких специальных вопросах, касающихся важнейших средств исследования.

В настоящее время центральным фондом, куда согласно действующим постановлениям, должны поступать геологические материалы, касающиеся территории ЭССР, является фонд входящего в систему Министерства геологии по Ленинградскому геологическому управлению. Но для успешного проведения геологических работ было бы крайне желательно, чтобы все материалы можно было получать также в Таллине и в Тарту. Имея в виду, что одной из задач Академии Наук ЭССР является развитие геологических наук и исследование недр ЭССР можно было бы в настоящее время, когда начала свою работу Академия Наук ЭССР, легко организовать центр при помощи соответствующих учреждений — Института геологических наук и Научного совета по исследованию производительных сил. Таким образом, было бы желательно, чтобы при Академии Наук ЭССР

был образован геологический архив, охватывающий территорию ЭССР, в котором были бы сосредоточены, по возможности, все прежде собранные, а также и новейшие материалы по исследованию недр ЭССР.

Здесь следовало бы сосредоточить не только архивные материалы в узком смысле слова, т. е. неопубликованные документы и отчёты, но в тесной связи с ним должна стоять и геологическая литература на всех языках, необходимая для исследования геологии и полезных ископаемых ЭССР.

Богатый геологический материал обязывает нас заботиться о сохранении, с возможной тщательностью, не только архивной и библиографической документации, но и о сборе и сохранении материала, предоставляемого самой природой. До сего времени не осуществлена довольно актуальная для специалистов идея создания архива для сохранения материалов бурения. С осуществлением этого нельзя больше медлить: бурение является предприятием, требующим довольно больших денежных затрат, времени и труда, причём результаты бурений, если их производить тщательно, используются в течение долгого периода времени для разрешения различных специальных проблем. Недопустимо было бы расходовать народные деньги и не сохранять исследовательский материал после использования его для текущих задач с тем, чтобы при следующей надобности повторять эту работу сначала. Создание такого архива предъявляет известные требования в отношении помещения и рабочей силы, но эти требования сравнительно невелики: сумма затрат на эти цели в течение пятилетки не превысит стоимости бурения одной глубокой скважины.

Вопрос о концентрировании и сохранении прочей геологической документации в некоторой степени разрешён при помощи геологического музея. По крайней мере имеется первичная база, которую можно и должно постоянно развивать.

Вышеизложенное касалось задач и средств геологического исследования, главным образом, в общем и подготовительном смысле.

Однако, имея в виду, что в отношении многих полезных ископаемых не нужно начинать исследование совершенно заново, но можно идти дальше, исходя из имеющихся уже основ, то здесь можно отметить также и специальные проблемы.

Прежде всего, в области энергетических полезных ископаемых.

В области исследования кукерского горючего сланца (кукерсита), начиная с 1916 года (если не считать более ранних работ), т. е. уже более чем в течение 30 лет, проделана значительная работа. Нам известны в общих чертах чередование и состав продуктивных слоёв; мы знаем приблизительно границы, в которых эти слои могут быть использованы для производства. В районе выходов работает целый ряд шахт, на основании опыта которых нам хорошо известны условия разработки. В технологическом процессе выработалось несколько приёмов, дающих хорошие результаты; производится разнообразная продукция не только для получения энергии, но и для других целей (горючее масло, дизельное масло, моторная нефть, бензин, а также пропиточное масло, битумен, пластмасса и прочее).

Но все эти результаты нельзя ещё считать окончательными.

Определение запасов горючего сланца до сих пор производилось далеко не систематически: прежние исследования только частично производились государственными организациями. В этих случаях материал сохранился довольно хорошо. Большая же часть исследовательских работ велась частными предпринимателями, которые, добываясь концессий, должны были производить предварительные исследования. Данные этих исследований сохранились только отчасти. Поэтому в настоящее время положение таково, что нужно ещё произвести целый ряд систематических бурений, чтобы точнее оконтурить район, годный для производства горючего сланца, разделить его на участки и произвести более точные исчисления его запасов. Естественно, что наряду с этим должны производиться технологические ана-

лизы. Особенное внимание нужно обратить на то, как обстоит дело с грунтовыми водами в районе горючих сланцев: в этом отношении до сих пор также произведено очень мало систематических исследований. Когда шахты, находящиеся теперь в районе близком к поверхности земли, будут углубляться, изменятся также в некоторой степени и условия разработки. Необходимо выяснить эти условия и разработать лучшие методы процесса добычи полезных ископаемых. Здесь мы не упоминаем о технологическом процессе и химических исследованиях, в отношении которых далеко ещё не сказано последнее слово.

Отсюда видно, что в отношении кукурсита проблем хватит ещё на долгое время. Что касается настоящей пятилетки, то разведки частью производятся, частью же можно основываться на результатах работы прежних лет. Но в течение этой пятилетки разведку местонахождений необходимо настолько продвинуть вперёд, чтобы для последующих пятилеток иметь более твёрдые основы, чем теперь.

Ясно также, что для проведения всей этой исследовательской работы недостаточно одного исследовательского учреждения, необходима совместная работа многих институтов Академии Наук ЭССР вместе с лабораториями и отделами промышленных предприятий, а также вместе с всесоюзными исследовательскими учреждениями.

Второе энергетическое полезное ископаемое ЭССР — диктионемовый сланец — ещё не использовано в производстве. Причина та, что он содержит на половину меньше органического вещества, чем кукурсит. Зато он содержит другие вещества, производство которых можно было бы наладить, как например калий и серу. С этой целью производились неоднократные исследования химического состава диктионемового сланца и неоднократно поднимался вопрос об использовании его в топках, но до сих пор без реальных результатов. В настоящее время нужно приступить к исследованию этого полезного ископаемого с новым подъёмом и энергией. С одной стороны, новые условия прове-

дения исследовательской и производственной работы в условиях советского государства обещают, что результаты будут достигнуты, с другой стороны, нам известно, что за границей во время последней мировой войны также приступлено к промышленной эксплуатации этого полезного ископаемого. Так, в Швеции этот сланец обрабатывается на крупных промышленных предприятиях, причём продукция масла достигает 100.000 тонн в год. Имеющиеся ориентировочные данные показывают, что запасы диктионемового сланца в пределах нашей республики в несколько раз больше, чем запасы кукурсита, и условия добычи его не тяжелее, а даже скорее легче, чем в имеющихся шахтах горючего сланца. Задачи исследования аналогичны задачам в области исследования кукурсита, с той разницей, что эта порода промышленностью ещё не освоена и поэтому на исследовательских работах лежит большая ответственность с точки зрения прикладного использования.

Третье энергетическое полезное ископаемое — торф, в противоположность диктионемовому сланцу, уже имеет большое значение в нашем топливном хозяйстве. Но исследование его ещё не находится на должной высоте. Данные о наших запасах торфа всё ещё весьма приблизительны. Впереди предстоит большая работа по определению запасов торфа и инвентаризации торфяных болот. Для правильного планирования торфяной промышленности эти данные исследовательских работ необходимо получить как можно скорее, и для проведения этой работы необходимо организовать достаточно мощное исследовательское учреждение. Для этой цели в системе Академии наук ЭССР имеется уже первичная ячейка, в виде Топливной лаборатории Института Промышленных проблем, которая может приступить к выполнению упомянутых задач совместно с всесоюзными исследовательскими учреждениями.

Вместе с определением запасов торфа можно провести также и определение других, встречающихся в болотах

полезных ископаемых, как например сапропелей, озёрного мела, болотной железной руды, охры и проч.

Обняком стоят среди наших энергетических полезных ископаемых природные газы и нефть. Горючие и негорючие природные газы у нас имеются, они даже уже практически использовались в прошлом для осветительных целей некоторых прибрежных маяков, в то время как нахождение нефти является ещё проблемой.

Для поисков природных газов нужно производить обширные буровые работы, чтобы выяснить геологические условия их залегания, их распространение и количество. Работа в этой области уже начата Всесоюзным нефтяным геолого-разведочным институтом. Эта работа, повидимому, будет продолжаться на протяжении всей новой пятилетки и может привести к весьма значительным результатам. Главная часть работы, по всей вероятности, будет проводиться вышеназванным институтом, у которого имеются для этой цели соответствующее оборудование и лаборатории.

Прямых признаков нахождения нефти на территории ЭССР ещё не обнаружено и особенно больших надежд на её обнаружение не имеется. Но так как геология наших более глубоких коренных пород до сих пор ещё мало изучена, особенно в южной Эстонии, то общие геологические исследования нужно направлять так, чтобы выяснился одновременно вопрос о нахождении нефти. С этой целью необходимо пробурить целый ряд скважин, чтобы выяснить состав и залегание слоёв. После обработки этих данных бурения можно будет стать на определённую точку зрения в окончательном разрешении вопроса о нахождении нефти. В особенно благоприятном случае какая-либо из этих буровых скважин может прямо пройти слой, содержащий нефть.

Наряду с эксплуатацией полезных ископаемых, образующих наши энергетические ресурсы, видное место в промышленности ЭССР занял ф о с ф о р и т.

Добыча этого полезного ископаемого в 1923—41 гг.,

опыты с ним и определение его запасов выяснили, что на базе его можно развить крупную промышленность, которая может удовлетворить потребность значительно большей территории в фосфорном удобрении, чем ЭССР. Притом запасы выяснены только в небольшой части той территории, в отношении которой известно, что на ней они могут встречаться. Поэтому одной из первых задач является расширение поисков и исследования фосфоритов, а также уточнение контуров их местонахождения и их запасов. Наряду с этим нужно продолжать рационализировать приемы обогащения и работы по добыче. Так как фосфорит залегает в земле в тесном соединении с диктионемовым сланцем и пиритом, а также глауконитом, то здесь возникают интересные проблемы в отношении комплексной добычи и обработки при помощи общих и согласованных приёмов.

Как мы уже в начале отметили, большое значение среди наших полезных ископаемых отводится строительным материалам.

Из них по количеству на первом месте находятся строительные камни и известняки северной Эстонии. Вследствие близости известковых коренных пород к поверхности земли во многих местах, эти породы использовались без всякой научной подготовительной работы для строительства и для обжигания извести. Когда в последнее время для их изучения стали применять научные методы, то выяснилось, что встречаются очень разнообразные, годные для строительства известняки и доломиты, полный обзор которых трудно однако получить только путём случайной ломки плитняка и исследования обнажений. Для получения более полной характеристики свойств этих горных пород нужна исчерпывающая работа как на поверхности земли, так и в глубине, при помощи буровых скважин. Параллельно с этим должна производиться лабораторная работа по определению петрографических, а также технических свойств горных пород. В этой области коренные породы северной Эстонии дают очень ценный

материал, обработка которого может обогатить науку открытием как новых фактов, так и закономерностей.

Этот комплекс проблем мог бы быть благодарной задачей как для соответствующего учреждения Академии Наук ЭССР, так и для кафедр геологии и петрографии наших высших учебных заведений.

С точки зрения промышленности строительных материалов, это исследование содействует выявлению очень богатой базы сырья и, весьма вероятно, обнаружению новых местонахождений и эксплуатации новых сортов горных пород.

Другие виды сырья для строительных материалов — глины, пески, гравий — в большей мере рассеяны по территории ЭССР. Они распадаются на большое число более или менее разбросанных местонахождений, полный обзор которых можно будет получить только тогда, когда вся территория будет охвачена геологическим картированием в более крупном масштабе. Без этого мы будем блуждать в потёмках. Для выявления этих полезных ископаемых опять-таки нужно проделать большую работу как в виде бурений и шурфовок, так и в виде лабораторных анализов и опытов. Первоначальная документация в отношении геологического происхождения у нас имеется, и для удовлетворения текущих потребностей можно добывать материал, исходя из формы поверхности, или в местонахождениях, открытых в процессе практической деятельности. Уже в течение прошлых двух лет, в связи с оживлением строительной деятельности в послевоенный период, многочисленные строительно-проектные организации произвели ряд поисков местных строительных материалов, в отношении которых трудно получить в настоящее время полный обзор. Результаты всех этих поисков следовало бы направить в общие фонды, чтобы их можно было использовать в дальнейшем для получения общей картины.

Обзор ряда проблем в области научного исследования наших полезных ископаемых не будет полным, если мы не упомянем о большой группе проблем, связанных с под-

земными водами. На эти воды нужно также смотреть, как на полезные ископаемые, так как производство и технология всех полезных ископаемых связано с потреблением больших количеств воды; с другой стороны, работа на рудниках всегда тесно связана с проблемой удаления грунтовых вод. В отношении грунтовых вод у нас имеется только общая картина, ориентирующая нас в районе прибрежной полосы северной Эстонии. Но и здесь имеются только данные, касающиеся количества воды, направления движения, области питания и т. д. — по численности весьма недостаточные. Планомерные гидрогеологические исследования, касающиеся всей территории ЭССР, сейчас не производятся, несмотря на то, что они необходимы как с точки зрения рудничных работ, так и с точки зрения снабжения водой промышленности и населённых пунктов. В этой отрасли необходимо создать местные исследовательские организации.

Исследование химического состава грунтовых вод открывает, между прочим, возможности для осуществления поисков других полезных ископаемых, так как в грунтовых водах растворяются в незначительной степени все те вещества, с которыми эти воды соприкасаются. Поэтому, например, на основании растворённых в воде небольших количеств газов можно найти местонахождения природных газов и нефти.

Хотя металлические руды на территории ЭССР до сих пор не добываются, всё же не лишним было бы произвести поиски железной руды и некоторых других руд. При помощи магнитометрических измерений, проведённых на территории ЭССР и в прибрежных частях моря, обнаружен ряд заметных магнитных аномалий. Одна из них, расположенная вблизи Йыхви, при глубоком бурении оказалась вызванной месторождением железной руды. На этом основывается мнение, что и во многих других местах наличие магнитных аномалий обусловлено наличием железных руд. Геологическое расположение этих местонахождений железных руд таково, что они оказываются залегающими сравни-

тельно глубоко под поверхностью земли, что однако не является абсолютным препятствием для их эксплуатации. Для этого необходимо эти аномалии более подробно изучить (применяя с этой целью, в первую очередь, геофизические методы), уплотнить сеть магнитных и гравиметрических измерений, а может быть использовать и сейсмические методы. В случае немагнитных металлических руд положительные результаты дают электрические измерения, которые в последние два года применялись у нас при поисках месторождений полиметаллов в окрестностях Выхма в Вильяндимаа. В наших условиях все эти исследовательские методы являются новыми, но начало уже положено — как в области магнитных, так и гравиметрических и электрических измерений. Задачей последующих лет будет развитие этих методов в системе Академии наук ЭССР, совместно со всесоюзными центральными учреждениями.

В предыдущем не выделены особо те проблемы, которые необходимо разрешить в течение новой сталинской пятилетки. Важно отметить, что при проведении исследования полезных ископаемых, как отметил Министр геологии СССР, „нет прямой зависимости между денежными затратами, объёмом горных и буровых работ, площадью геологической съёмки и получаемыми в конечном итоге геологическими результатами“.

Так некоторые геологические открытия могут обеспечить сырьём на столетия (у нас в настоящее время сложилось убеждение, что горючих сланцев в Эстонской ССР хватит на столетия и фосфоритов также, по крайней мере, на одно столетие), в то время как в других случаях поиски, на которые затрачиваются крупные суммы и много труда, дают отрицательные результаты.

Геологические исследования должны открывать далекие перспективы: только тогда они смогут выполнить свою задачу при планировании сталинских пятилеток.

Сланцевая зола как сырьё для шлакобетона.

Х. Фэнго,

кандидат технических наук.

Использование отходов горючих сланцев для производства строительных материалов является весьма важным вопросом для народного хозяйства ЭССР. При перегонке или сжигании в топках горючих сланцев остаётся более 50% минеральных отходов — сланцевой золы. Возможность получения из этой золы вяжущего вещества изучена нами уже раньше. Настоящая работа подытоживает исследование сланцевой золы как сырья для шлакобетона.

Сланцевая зола как инертный материал для шлакобетона во многом отличается от других шлаков. Поэтому опыт изготовления шлакобетона из шлаков не может быть полностью использован при производстве шлакобетона из сланцевой золы, а должны быть учтены также и специфические свойства этого материала.

I. Основные свойства сланцевой золы как инертного материала для шлакобетона.

1. Структура и гранулометрический состав.

Сланцевая зола по своей структуре и по гранулометрическому составу неоднородна. Большая её часть является пережжённым материалом в виде мелкой золы — пепла или лёгких, пористых и тяжёлых, плотных кусков шлака. Наряду с этим встречаются частицы не полностью прожжённого сланца или не обожжённого известняка.

Различные частицы золы ведут себя по разному при механическом воздействии или при воздействии влаги. Дли-

3. Влажность. Естественная влажность старой золы в отвале колеблется в пределах от 20 до 45% (по весу). При этом зола с влажностью $w = 20\%$ кажется совсем сухой, при $w = 30\%$ — еле влажной и лишь при $w = 40 - 45\%$ выглядит влажной.

Сравнительно высокий процент влажности и медленность высыхания являются характерными свойствами сланцевой золы.

4. Химический состав. Химический состав сланцевой золы колеблется обыкновенно в следующих пределах: Состав прокалённого материала: SiO_2 от 19,9 до 46,9%

$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	„	9,1	„	17,0
CaO	„	31,5	„	44,5
MgO	„	0,9	„	4,0
SO_3	„	2,9	„	9,3

При этом, до прокаливания в пролежавшей старой золе, было активной $\text{CaO} + \text{MgO}$ не больше 1 или 2%.

Потери от прокаливания составляют от 4,8 до 22,6%.

Для сланцевой золы характерен высокий процент сернокислых соединений (порядка от 2,9 до 9,3%).

II. Технология изготовления шлакобетона из сланцевой золы.

1. Состав сланцезольного бетона. Нормальным расходом вяжущего можно считать: портландцемента от 130 до 160 кг на м^3 готовых изделий или портландцемента со сланцезольным цементом от $50 + 200 = 250$ до $100 + 150 = 250$ кг/ м^3 или сланцезольного цемента от 250 до 350 кг/ м^3 .

До 50% от общего количества сланцезольного цемента можно заменить мелкой активной (свежей) сланцевой золой, просеянной сквозь сито с ячейкой в 1 мм в полуторном размере от заменяемого.

В качестве инертного материала следует применять только старую (пролежавшую продолжительное время в отвале) золу.

Добавку воды надлежит определять с учётом влажности золы. Общее количество воды в сланцезольном бетоне ко-

леблется в пределах от 250 до 500 литров на 1 м³ бетона, при этом:

при механическом трамбовании	от 250 до 350 л/м ³
„ ручном	„ 300 до 400 „
„ пластичном бетоне	„ 350 до 550 „

Большое количество воды в пластичном сланцезольном бетоне является характерным для этого материала.

2. Приготовление. Для приготовления сланцезольного бетона следует применять мешалку типа растворомешалки, обеспечивающей более тщательное перемешивание. В мешалку загружается сначала зола вместе с вяжущим и перемешивается, затем добавляется вода и перемешивание продолжается. Продолжительность полного перемешивания составляет от 2 до 3 минут на замес.

Не достаточно перемешанный сланцезольный бетон может оказаться в 2—3 раза слабее, чем хорошо перемешанный.

3. Бетонирование или формовка блоков. Бетонирование крупных блоков или монолитного бетона, при которых опалубка снимается после твердения, производится при применении пластичного бетона с уплотнением такового путём штыкования, лёгкого трамбования или вибрирования.

Изготовление блоков, при которых формы снимаются вскоре после формовки, требует уплотнения прессованием, механическим трамбованием или механическим трамбованием с вибрированием, при применении более сухой бетонной смеси. Только одно вибрирование обычно не даёт в этом случае достаточного уплотнения.

Следует отказаться также от ручного трамбования, как дающего неравномерное уплотнение.

При приготовлении сланцезольного бетона предпочтительнее применение более сухой смеси, что влечет за собою применение вышеуказанной механизированной укладки бетона. Применение пластичного сланцезольного бетона явно нецелесообразно из-за потребного большого количества воды и очень медленного высыхания такого бетона.

Следовательно, из сланцезольного бетона рациональнее изготовлять мелкие, а не крупные блоки или монолитные массивы.

4. Твердение. Твердение сланцезольного бетона состоит из двух фаз, — схватывания и твердения вяжущего вещества, требующего достаточного количества влаги, и высыхания избыточной влаги из общей массы бетона.

При твердении сланцезольного бетона на воздухе не требуется поливки водой, так как в бетоне уже имеется много влаги. В первые дни поверхность бетона следует защищать от интенсивного высыхания.

Для ускорения твердения можно применять сухое пропаривание в камерах, так как вода, испаряющаяся из сланцезольного бетона, создаёт достаточно влажную среду.

III. Основные свойства сланцезольного бетона.

1. Объёмный вес. Объёмный вес высушенного до постоянства веса бетона зависит от метода его укладки и равен: при прессовке или интенсивном механическом трамбовании $\gamma_0 = 1,4 - 1,6 \text{ т/м}^3$, при механическом трамбовании с вибрированием $\gamma_0 = 1,2 - 1,4 \text{ т/м}^3$, при ручном трамбовании или штыковании (литого бетона) $\gamma_0 = 1,0 - 1,3 \text{ т/м}^3$.

2. Марка. Марка сланцезольного бетона зависит от его плотности и от количества и качества вяжущего.

В обычных условиях марка зависит от сухого объёмного веса следующим образом:

для $\gamma_0 = 1,4 - 1,6 \text{ т/м}^3$ марка бетона получается „50“, „75“ редко „100“, для $\gamma_0 = 1,2 - 1,4 \text{ т/м}^3$ марка бетона получается „25“, „35“ или „50“, для $\gamma_0 = 1,0 - 1,2 \text{ т/м}^3$ марка бетона получается „15“, „25“ или „35“.

Твердение сланцезольного бетона продолжается довольно продолжительное время, поэтому конечная прочность его получается значительно выше обычной, 28-дневной прочности.

3. Гигроскопичность. Сланцезольный бетон высыхает очень медленно и сохраняет в воздушносухом состоя-

нии довольно большое количество влаги (от 8 до 15⁰/₀ по весу).

Водопоглощаемость такого бетона очень велика (от 30 до 50⁰/₀ по весу), что является характерным для данного материала.

Сланцезольный бетон может оказаться и не водостойким.

4. Морозостойкость. В насыщенном водой состоянии сланцезольный бетон не морозостоек ввиду очень большого водопоглощения. В воздушносухом и слегка влажном состоянии он выдерживает большое число повторных замораживаний.

5. Теплопроводность. Теплопроводность воздушносухих тяжёлых сланцезольных блоков с объёмным весом $\gamma_0 = 1,4 - 1,6 \text{ т/м}^3$ колеблется в пределах $\lambda = 0,45 - 0,55$, более лёгкие блоки с $\gamma_0 = 1,0 - 1,3 \text{ т/м}^3$ имеют $\lambda = 0,25 - 0,40$, тогда, как теплопроводность таких же блоков в высушенном виде равна $\lambda = 0,22$, а во влажном — $\lambda = 0,45$.

Для ориентировочного определения коэффициента теплопроводности (λ) воздушносухого сланцезольного бетона (влажность от 8 до 15⁰/₀) — можно применить формулу: $\lambda = 0,80 (\sqrt{0,0196 + 0,22 \gamma_1^2} - 0,14)$ где γ_1 — объёмный вес сланцезольного бетона в воздушносухом состоянии ($w = 8 - 15^0/0$ в т/м^3 .)

Сланцезольный бетон является, таким образом, в сухом состоянии довольно хорошим строительным теплоизоляционным материалом.

6. Усадка. Усадка сланцезольного бетона находится в пределах значений усадки обычного лёгкого бетона, т. е. равна 0,2⁰/₀. Только в одном случае (при сланцезольном цементе) усадка получилась чрезмерно высокая (0,47⁰/₀).

IV. Заключение.

В заключение можно отметить, что сланцевая зола не является хорошим инертным материалом для изготовления шлакобетона, но всё же она может применяться для этой цели.

Сланцевольный бетон является в сухом виде относительно хорошим теплоизоляционным строительным материалом с небольшим объёмным весом со средней или низкой прочностью, но с большой водопоглощаемостью, очень медленным высыханием и с недостаточной морозостойкостью.

Применение такого материала в строительстве может иметь место при соблюдении нижеследующих ограничений:

1. Сланцевольный бетон может применяться только в малоэтажном строительстве или в качестве заполнителя каркасных стен при условии защиты его от увлажнения.

2. В стенах помещений с повышенной влажностью и вообще в местах, где можно ожидать интенсивной конденсации влаги или где высушивание такой влаги затруднено, применение сланцевольного бетона не допустимо.

3. Не допустимо применять сланцевольный бетон в фундаментах или цоколях.

4. Из сланцевольного бетона не следует выкладывать выступающие части зданий, как-то: карнизы, подоконники и др., где может собираться атмосферная влага.

5. Рационально применять сланцевольный бетон в сухих внутренних стенах и во внутренних слоях сухих наружных стен, наружная облицовка которых морозостойка и имеет небольшую влагопоглощаемость.

6. В зимних условиях возводить стены из сланцевольного бетона нельзя, так как замораживание таких сырых стен может повлечь за собой их повреждение.

7. Стены из сланцевольного бетона должны быть защищены крышей уже осенью.

8. Блоки из сланцевольного бетона во время транспортирования или хранения на складе надлежит защищать от влажности и от промерзания во влажном виде.

9. Сланцевольный бетон не может быть применён для возведения железобетонных сооружений, так как из-за высокого процента содержащихся в нем сернокислых соединений может последовать повышенная коррозия стали (арматуры).

Весенние паводки по основным рекам ЭССР.

А. Вельнер,

доктор технических наук.

Реки Эстонской ССР, как и Восточной Европы, характеризуются весенними паводками во время снеготаяния.

Ввиду близости к морю, не за каждой зимой следует ясно выраженный паводок; около 50% зим сопровождаются оттепелями, и поэтому паводок является многовершинным. Хорошо выраженные одновершинные паводки наблюдаются после устойчивой снежной зимы.

Отрицательные температуры воздуха начинаются в среднем в ноябре и кончаются в марте. Максимальная толщина снегового покрова наблюдается в третьей декаде февраля, а местами — в первой декаде марта. Вершина паводка приходится на первую декаду апреля.

Изменчивая зима с многовершинными весенними паводками, в общем, обусловлена положением Эстонской ССР на переходе из атлантической климатической области в континентальную восточно-европейскую. Несмотря на это, около 40—45% всего годового стока приходится на три весенние месяца — март, апрель, май. Поэтому весенние паводки в речных бассейнах ЭССР являются значительной важности гидрологическим явлением. Это явление обуславливает размеры инженерно-технических сооружений, как-то: транспортных, водоподъёмных, силовых и пр. Главным образом, во время весеннего паводка наполняются естественные водоёмы; паводки сопровождаются наводнениями, они же обуславливают летне-меженный дебит рек. Влияние весенних паводков на народнохозяйственную жизнь, таким образом, весьма многосторонне.

Несмотря на то, что весенний паводок представляет собой важное гидрологическое явление, природа его, однако, до сих пор мало изучена. Мы знаем, что весенний паводок непосредственно связан с зимними запасами снега; можно полагать, что на паводок имеют влияние консервированные в начале зимы в речных бассейнах под влиянием мороза как поверхностные, так и внутрипочвенные воды. Более того — можно полагать, что весенний паводок обуславливается осадками и температурными условиями предыдущего года, примерно с августа месяца. Нет ничего невероятного в том, что на паводок текущего года имеет влияние водоносность ряда предыдущих лет. За рядом многоводных годов, при прочих равных условиях, может последовать многоводный паводок, за рядом маловодных — маловодный паводок. В качестве примера приведём многоводные паводки 1931 и 1932 гг., которым предшествовал ряд многоводных лет, начиная с 1923 года, а маловодным паводкам 1940 и 1941 гг. предшествовал ряд маловодных лет. К этим факторам, которые обуславливают весенний паводок, следует прибавить ещё один, а именно: внутрипочвенные воды, которые при соответствующих температурных условиях зимы, под влиянием почвенного мороза, поднимаются в виде конденсационной воды или из запасов грунтовой воды и аккумулируются в верхних слоях поверхности земли, откуда они отчасти стекают во время снеготаяния. Установление закономерностей в генезисе весенних паводков является предстоящей проблемой не только для эстонских гидрологов, оно является проблемой гидрологии суши вообще.

В настоящем докладе мы остановимся на рассмотрении элементов паводка, т. е. мы ограничимся рассмотрением паводка, как геометрической фигуры, и установлением характерных его моментов, касаясь генезиса паводка лишь постольку, поскольку он обуславливается морфометрическими элементами бассейна.

Ниже рассматриваются 28 малоозёрных или безозёрных речных бассейнов, величиною от 5 до 5127 км²; для 10-ти

из них, величиною от 84 до 5127 км², имеются подсчёты стока и гидрографы весенних паводков.

Генезис паводка в зависимости от морфометрии бассейна.

Из известных в гидрологической литературе генетических моделей паводков назовём модели Шерман-Бернарда и Огиевского. Модель Шерман-Бернарда¹ исходит из наблюдаемого факта, что осадки, выпавшие в продолжение одной и той же единицы времени, вызывают в реке подобные гидро-

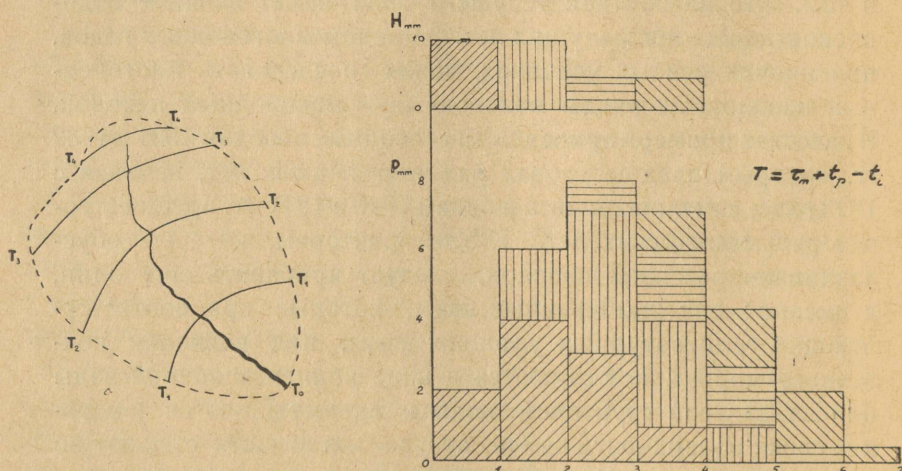


Рис. 1. Формирование паводка по Шерману.

графы. Если продолжительность осадков t_p единиц времени, τ_m — время стекания по поверхности бассейна и по руслу реки от самой отдалённой периферийной точки бассейна, тогда продолжительность паводка в реке:

$$T = \tau_m + t_p - t_i, \text{ где } t_i \text{ единица времени.}$$

Модель стока изображена на рис. 1.

¹ М. И. Львович. Процессы формирования паводков. Тр. ГГИ. Выпуск 10. 1940 г.

Паводок, обусловленный единичным дождём, прямо пропорционален ареограмме, т. е. пропорционален площади частичных бассейнов между изохронами стекания по бассейну.

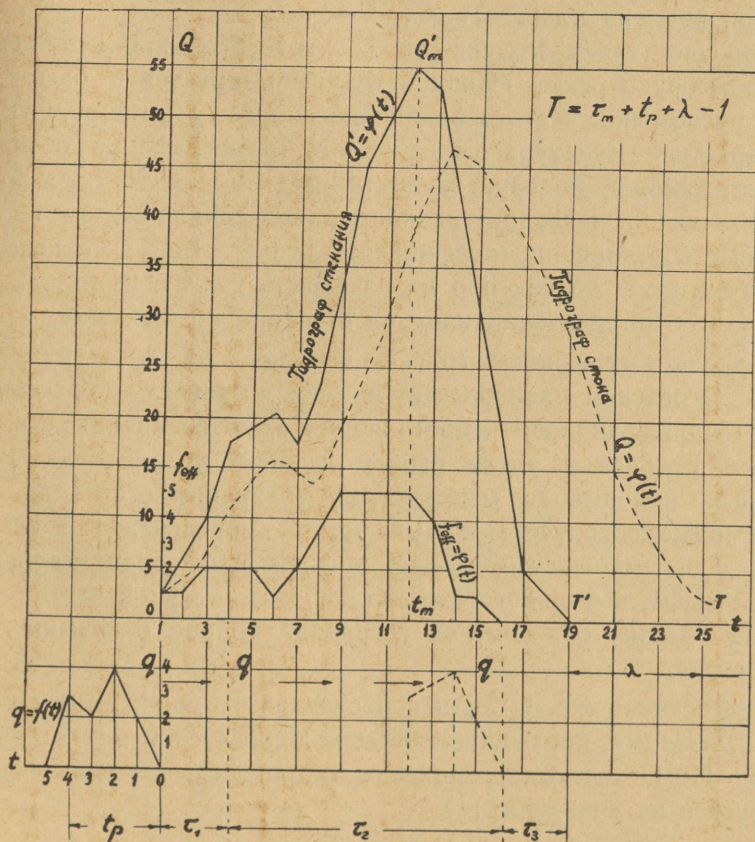


Рис. 2. Формирование паводка по Огиевскому.

В случае сложного дождя (в продолжение нескольких единиц времени), ординаты ареограммы или плювиограммы (произведение ареограммы на осадки) складываются, как это усматривается из уравнений:

$$P_1 = \frac{\omega_1}{\Omega} \cdot H_1; P_2 = \frac{\omega_2}{\Omega} H_1 + \frac{\omega_1}{\Omega} \cdot H_2; P_3 = \frac{\omega_3}{\Omega} H_1 + \frac{\omega_2}{\Omega} H_2 + \frac{\omega_1}{\Omega} H_3;$$

$$P_4 = \frac{\omega_4}{\Omega} \cdot H_1 + \frac{\omega_3}{\Omega} H_2 + \frac{\omega_2}{\Omega} H_3; P_5 = \frac{\omega_4}{\Omega} H_2 + \frac{\omega_3}{\Omega} H_3; P_6 = \frac{\omega_4}{\Omega} H_3;$$

При времени пробега $\tau_m = 1$, $T = t_p$.

Конечно, такая модель не соответствует наблюдаемому гидрографу в реке. Паводок трансформируется в бассейне и в русле реки, часть осадков просачивается в почву, часть испаряется. Кубатура наблюдаемого гидрографа не соответствует таковой модели, также разнятся ординаты их в хронологической последовательности; последние имеют переменные соотношения (коэффициенты стока). Вопрос о коэффициентах стока до сих пор не разрешён, так же не разрешён вопрос об определении изохрон стекания по бассейну.

Модель Огиевского² (рис. 2) свободна от этих трудностей. Огиевский пренебрегает временем пробега по бассейну, как малой величиной второго порядка, по сравнению с временем пробега в русле реки (в главном коллекторе). Во вторых, при выводе генетических уравнений стока, он не перемножает соответственных ординат ареограммы и осадков, а перемножает ординаты ареограммы и элементарного гидрографа, вызванного осадками с элементарной части бассейна. Таким образом, он устраняет вопрос о коэффициентах стока.

Снеготаяние может быть сопоставлено с дождевыми осадками, поэтому предыдущие модели относятся и к снеготаянию. По Огиевскому, ординаты гидрографа стекания определяются из уравнений:

$$Q'_1 = \int_{t_1}^0 q dt \int_0^{t_1} f dt; Q'_2 = \int_{t_1}^0 q dt \int_{t_1}^{t_2} f dt + \int_{t_2}^{t_1} q dt \int_0^{t_1} f dt;$$

$$Q'_3 = \int_{t_1}^0 q dt \int_{t_2}^{t_1} f dt + \int_{t_2}^{t_1} q dt \int_{t_1}^{t_2} f dt + \int_{t_3}^{t_2} q dt \int_0^{t_1} f dt \text{ и т. д.,}$$

² А. В. Огиевский. Основные закономерности в процессах стока с речных бассейнов. ГУГМС. Гидрология суши. Выпуск 13. 1945 г.

где q — ордината элементарного гидрографа, f — площадь бассейна между изохронами. Таким образом, определённый гидрограф стекания трансформируется в русле реки, вследствие чего получается действительно наблюдаемый гидрограф стока. Продолжительность последнего $T = \tau_m + t_p + \lambda - 1$, где τ_m — время пробега, t_p — продолжительность осадков или снеготаяния, λ — удлинение гидрографа вследствие его трансформации. При слабой ретенционной способности русла можно считать $\lambda = 0$; при времени пробега $\tau_m = 1$, продолжительность гидрографа $T = t_p$ или, считаясь с удлинением его, $T = t_p + \lambda$.

Последняя модель особенно поучительна для нас при времени пробега продолжительностью в пределах одних суток. В этом случае устраняется влияние формы речного бассейна и действительно наблюдаемый гидрограф обуславливается лишь элементарным гидрографом стекания и величиной бассейна. Таким образом, главным фактором формирования паводка оказывается время пробега по руслу.

Ниже приводятся данные о времени пробега для 10 речных бассейнов Эстонской ССР, для которых имеются гидрографы весенних паводков. Время пробега в сутках опреде-

Т а б л и ц а 1.

Название реки	Площадь бассейна км ²	Длина реки км	Падение м/км	Скорость пробега км/сут	Время пробега сут
Пуртсе	792	35	1,2	71	0,49
Ягала	1581	89	0,8	64	1,39
Пирита	675	75	0,5	59	1,27
Лейва	84	18	0,7	62	0,29
Кейла	665	77	0,6	61	1,24
Вазалемма	383	30	1,0	68	0,50
Вихтерпалу	468	43	0,4	57	0,75
Казари	2654	94	0,6	60	1,56
Пярну	5127	118	0,6	61	1,90
В. Эмайыги	1068	54	1,8	81	0,67

лено по Огиевскому² $v = 1,25a (10^4J + 30)$ км/сут, где для наших рек принято $a = 1,35$.

Д. Л. Соколовский³ даёт большие скорости и, следовательно, более короткое время пробега.

Сравнивая ход уровней на наших реках в верхнем и в нижнем течении, нельзя установить сдвига их во времени при единице времени в одни сутки. Это значит, что вода пробегает всё течение реки в пределах одних суток. Отсюда следует, что продолжительность паводка на наших реках зависит лишь от продолжительности элементарного стока, т. е. от продолжительности снеготаяния; вершина паводка обуславливается максимальной ординатой элементарного гидрографа, т. е. зависит от максимальной среднесуточной интенсивности снеготаяния и от величины бассейна. В речных бассейнах, с временем пробега менее одних суток, вершина паводка может быть обусловлена почасовой интенсивностью снеготаяния. Наши малоозёрные или безозёрные бассейны величиною от 84 до 5127 км² следует, таким образом, отнести к малым; для них элементы гидрографа и его форма зависят преимущественно от хода снеготаяния.

Этим объясняется большое подобие в паводках в различных бассейнах, как это мы увидим ниже, а также значительное совпадение сроков наступления отдельных моментов паводка.

Элементы паводка и сроки его отдельных моментов.

Как сказано выше, в малоозёрных и безозёрных малых речных бассейнах ЭССР паводок имеет одну или несколько вершин. Для определения кубатуры талой воды рассматриваются все единичные паводки, вызванные снеготаянием, начиная с последней декады февраля; для определения же характерных моментов рассматривается для каждого года один единичный паводок с наивысшей вершиной, так как

³ Д. Л. Соколовский. Гидрологические расчёты при мостовых переходах. ГУМС. Гидрология суши. Выпуск 22, 1945 г.

этот последний совпадает со временем наиболее интенсивного снеготаяния.

Определение начального момента паводка по гидрографу, на который нанесён ход суточных осадков, снеговой покров, ход температуры воздуха и уровней воды, не представляет затруднений. За начало паводка принимается начало заметного подъёма уровней или увеличения секундных расходов. За начальным моментом следует медленный подъём в продолжение короткого времени, когда талые воды аккумулируются в бассейне с тем, чтобы круто подняться до вершины. Вершина, очевидно, определяется однозначно. За вершиной следует крутой спад. На спаде, вследствие возврата холодов или выпадения жидких осадков, могут появляться вторичные вершины. Эти вторичные дождевые вершины срезаются нормальными кривыми спада. Касание последней с линией хода меженного гидрографа определяет конец паводка. На нормальной кривой спада, а также на кривой спада хорошо выраженного паводка замечается поворотная точка с крутого спада на замедленный. С этого момента начинается опораживание аккумулированных запасов воды в бассейне, чем и вызывается на самом деле удлинение гидрографа.

Для того, чтобы сравнивать между собою кубатуры талой воды, из гидрографа выделена кубатура, зависящая от стока грунтовой воды. Так как сток грунтовой воды в наших речных руслах зависит, главным образом, от дебита источников, обычно расположенных выше уровня высокой воды, и реки имеют каньонообразные русла без мощных алювиальных речных террас, то можно полагать, что дебит грунтовой воды во время паводка не уменьшается, а остаётся постоянным или повышается к концу паводка, вследствие более интенсивного действия источников. Для устранения субъективности в определении хода дебита грунтовой воды, нами определена точка пересечения касательной к кривой крутого спада и к нижней ветви кривой замедленного стока. Соединяя эту точку с дебитом, предшествующим паводку и

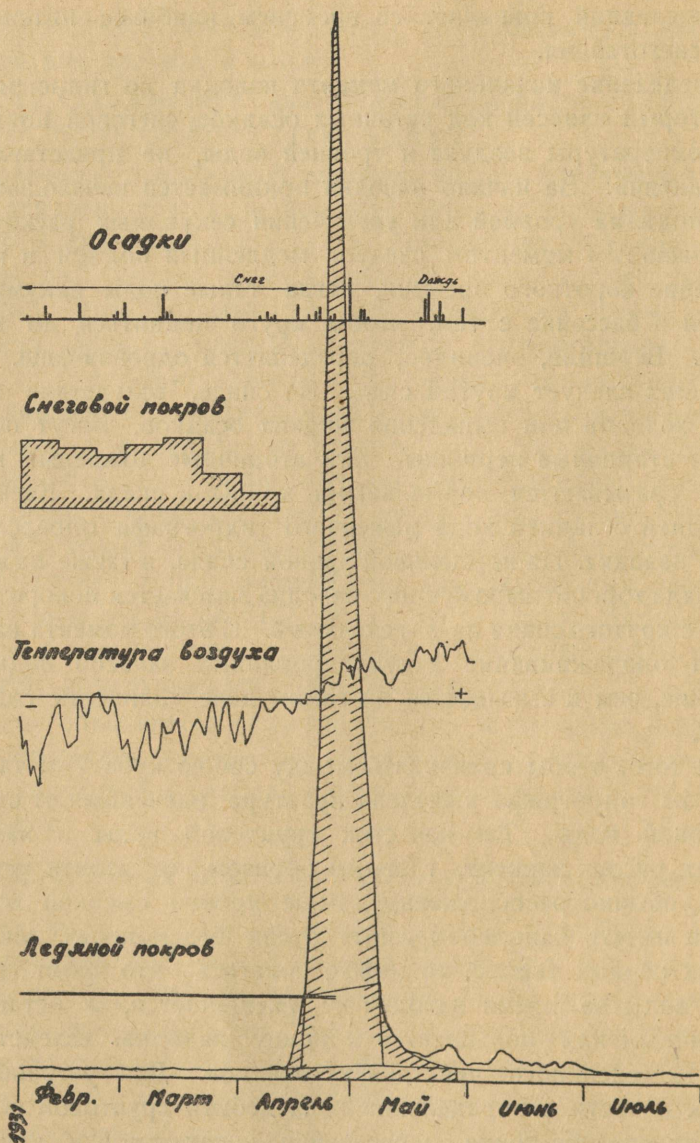


Рис. 3. Паводок 1931 г. на реке Пяру.

на следующим за паводком, получаем схематизированный ход дебита грунтовой воды во время прохождения паводка. На рис. 3 виден ясно выраженный весенний паводок и линия, отделяющая сток грунтовой воды из гидрографа паводка.

Кроме того, мы разделили кубатуру талой воды на две части — часть интенсивного и часть замедленного стока. Разграничивающая линия проведена между точками поворота на кривой подъёма и спада. Кубатура замедленного стока соответствует той воде в бассейне, которая аккумулируется там в начале снеготаяния и медленно стекает после интенсивного стока. Эта кубатура характеризует в некоторой степени аккумуляционную способность бассейна, но вместе с тем зависит также от хода температуры.

За время подъёма t_1 мы принимаем время от начала паводка до его вершины, за время спада t_2 — время от вершины до конца паводка. Продолжительность паводка $t = t_1 + t_2$.

Кубатуру паводка вместе со стоком грунтовой воды обозначаем через V , кубатуру за время подъёма V_1 , за время спада V_2 , кубатуру стока грунтовой воды V_p . Таким образом, полная кубатура единичного паводка $V = V_1 + V_2 + V_p$.

Определив для каждого единичного паводка его элементы и сроки и выведя из них арифметические средние и квадратичные отклонения для каждой реки, составляем для каждой реки осереднённые гидрографы, причём ординаты гидрографа выражены в процентах от максимальной ординаты, а продолжительность подъёма и спада принята за 100%. Из осереднённых гидрографов для каждой реки составляется осереднённый гидрограф для всех рек.

Рис. 4 показывает такой осереднённый гидрограф, а для сравнения приведены гидрографы самой большой реки Пярну и для самой малой реки Лейва. Внешнее подобие замечательно. Отношение времени подъёма ко времени спада весьма устойчиво — 1:2,7 до 1:2,5. Отдельно, на рис. 5 и 6, показаны осереднённые кривые подъёма и спада для реки Пирита. Последние можно изобразить согласно Д. Л. Соколовскому приблизительно параболами. Большин-

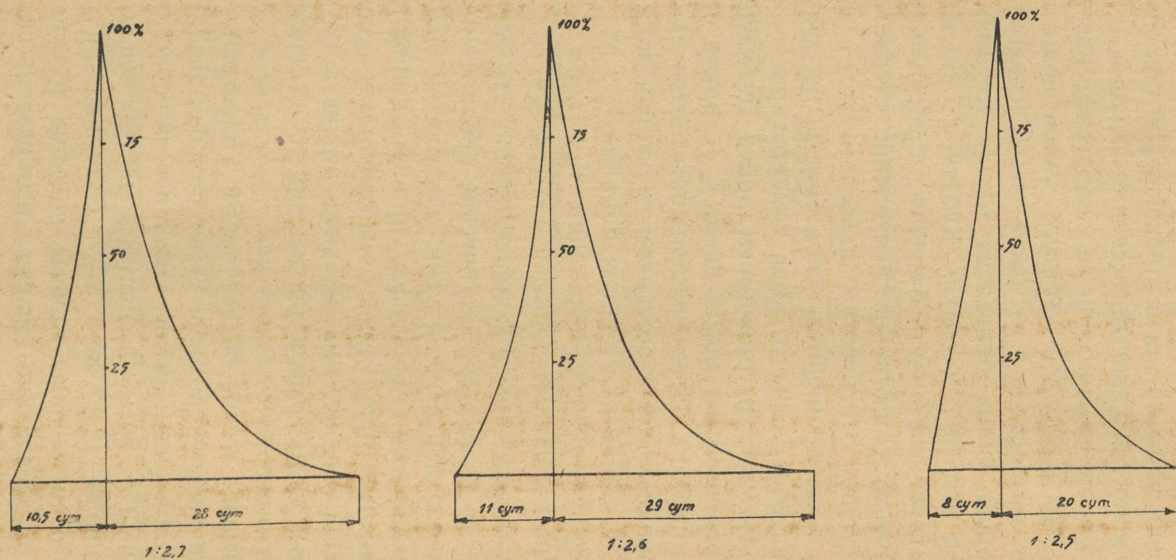


Рис. 4. Осередненные гидрографы 1) для 10 рек, 2) для реки Пяру, 3) для реки Лейва.

ство осереднённых гидрографов имеет на подъёме и спаде степени парабол соответственно 2 и 3, т. е. на подъёме

$$Q_z = Q_{\max} \left(\frac{x}{t_1} \right)^2, \text{ на спаде } Q_z = Q_{\max} \left(\frac{t_2 - z}{t_2} \right)^3$$

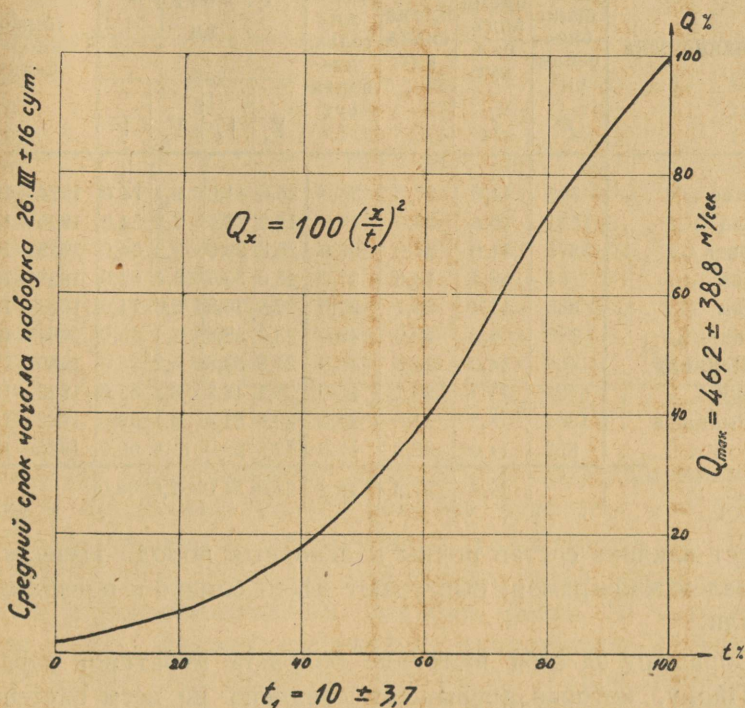


Рис. 5. Осереднённая кривая подъёма реки Пирита.

Значительное время подъёма реки Вихтерпалу объясняется, вероятно, большой залесённостью и заболоченностью бассейна, соответственно 45 и 50%; значительное время подъёма р. Воо объясняется её озёрностью (2%).

Река Вазалемма разнится от Вихтерпалу только озёрностью (0,5%). Однако река Вазалемма отличается от р. Вихтерпалу коротким временем подъёма и продолжительным спадом. Повидимому, помимо распределения угодий в бассейне,

Таблица 2.

Осереднённые элементы единичного паводка.

Название реки	Площадь бассейна км ² <i>F</i>	Время подъёма сут <i>t</i> ₁	Время спада сут <i>t</i> ₂	Продолжительность паводка сут <i>t</i>	Кубатура мм				Период наблюдения
					<i>V</i> ₁	<i>V</i> ₂	<i>V</i> _p	<i>V</i>	
Пуртсе	792	11,0	27,0	38,0	26,0	41,0	6,4	74,0	1924—1941
Ягала	1581	10,4	33,0	43,0	18,8	28,0	7,3	54,0	1925—1940
Пирита	675	11,0	24,0	35,0	26,2	29,9	8,3	64,0	1928—1941
Лейва	84	8,4	18,6	27,0	23,0	30,0	9,4	62,0	1928—1941
Кейла	665	11,1	25,7	37,0	26,8	36,8	6,0	71,0	1924—1941
Вазалемма	383	9,0	40,0	49,0	23,0	38,8	5,1	65,0	1931—1941
Вихтерпалу	468	14,0	26,6	40,0	24,8	33,8	5,2	65,0	1930—1941
Пярну	5127	11,5	28,1	40,0	33,1	43,7	8,2	85,0	1922—1941
В. Эмайыги	1068	8,5	17,0	26,0	20,6	31,4	6,5	59,0	1922—1941
Воо	853	14,0	33,0	47,0	17,5	28,0	15,6	62,0	1925—1941
		10,8	27,3	40,2	24,0	34,0	7,8	66,0	

имеет влияние состав почвы и основных пород. Известняки (вазалемский мрамор) выступают здесь близко к поверхности земли.

Обращает на себя внимание большой кубатурой паводка р. Пярну, которая превышает среднюю по всем бассейнам примерно на 20 мм. (слой воды по бассейну).

В 1931 году во всех без исключения речных бассейнах наблюдался одновершинный паводок; вершина паводка наблюдалась почти в один и тот же день. В дополнение к элементам осереднённых гидрографов приводим также элементы паводка 1931 г.

Как видно, расхождения в кубатурах довольно велики; это указывает на то, что снеговые запасы и прочие запасы воды до наступления паводка, были распределены по бассейнам неравномерно.

Т а б л и ц а 3.
Элементы паводков 1931 г.

Наименование реки	F км ²	t_1 сут	t_2 сут	t сут	V_1 мм	V_2 мм	V_p мм	V мм
Пуртсе	792	7	28	35	26,0	91,0	4,2	120,0
Ягала	1581	9	43	52	43,0	74,0	7,1	124,0
Пирита	675	11	33	44	55,5	81,5	11,3	148,0
Лейва	84	7	23	30	58,0	94,0	10,8	163,0
Кейла	665	8	34	42	42,0	94,6	9,8	146,0
Вазалемма	383	9	48	57	31,3	71,6	7,7	110,0
Вихтерпалу	468	12	28	40	52,0	73,0	5,2	131,0
Казари	2654	10	24	34	34,0	131,0	4,1	169,0
Пярну	5127	13	32	45	75,0	105,0	9,5	189,0
В.Эмайыги	1068	9	18	27	46,0	45,0	9,7	101,0
Воо	853	17	32	49	28,0	63,0	19,9	110,0
		10,2	31,2	41,4	44,6	84,0	9,0	137,0

Согласно осереднённому гидрографу, продолжительность спада к продолжительности подъёма относится как 2,7:1. Для одновершинных осереднённых гидрографов за 1931, 1932, 1940, 1941 гг. то же отношение равно также 2,7:1, причём продолжительность подъёма равна 12 суткам, а спада — 31. Однако осереднение гидрографов 28 рек за те же 4 года показывает отношение 2,2:1 при продолжительности подъёма 12,5 суток и спада 27,5 суток. Отношение продолжительности подъёма и спада, как для единичных, так и для одновершинных паводков остаётся всё же в тесных границах. Расхождения естественны, так как даже в дружную весну условия снеготаяния не одинаковы. Квадратичное отклонение для средней продолжительности подъёма колеблется в пределах ± 3 —6 суток, спада — $\pm 2,7$ —10,3 суток. Квадратичное отклонение для продолжительности всего паводка колеблется в пределах $\pm 4,3$ —10,6 суток. Наибольшее отклонение в продолжительности спада и всего паводка показывает р. Ягала, наименьшее отклонение — р. Пирита.

Средние сроки вершины паводка колеблются в пределах от 24 марта до 9 апреля. Самые поздние сроки показывает река Пуртсе; наиболее ранние сроки относятся к западу и югу, наиболее поздние к востоку и северу Эстонии. Сроки полного освобождения ото льда наступают, в общем, позже

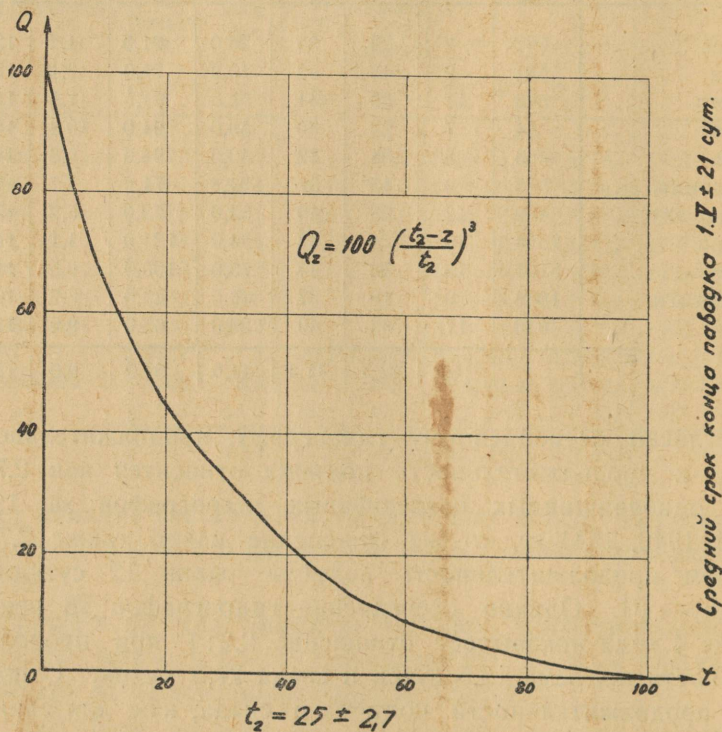


Рис. 6. Осереднённая кривая спада реки Пирита.

наступления сроков вершины. Таким образом, при наивысшем уровне нужно считаться с движением льда.

Начало единичных паводков наступает в среднем 25 марта, вершина — 4 апреля, конец — 1 мая с квадратичным отклонением в начале и в вершине ± 15 суток, а в сроке конца паводка ± 18 .

Сравнение элементов полного и единичного паводков.

За полный паводок мы принимаем такой, который состоит из одновершинного или многовершинных паводков, в продолжение которых стекают все зимние запасы воды. Полный паводок, так же как и единичный, мы делим на части с интенсивным и замедленным стоком и стоком грунтовой воды. Полный паводок (многовершинный или одновершинный) — это то реальное гидрологическое явление, которое сопровождает каждую весну, в то время как единичный в случае многовершинного составляет лишь часть полного паводка.

Таблица 4.

Осереди́нные полные паводки.

Наименование реки	К у б а т у р ы								Продолжит. паводка сут
	всего па- водка мм		интенсив- ной части мм		замедлен. части мм		грунтовой воды мм		
Пуртсе	96	100%	43	45%	44	46%	9	9%	52
Ягала	67	100%	32	48%	25	37%	10	15%	59
Пирита	82	100%	35	43%	35	43%	12	14%	51
Лейва	85	100%	45	53%	27	32%	13	15%	43
Кейла	90	100%	39	43%	37	41%	14	16%	48
Вазалемма	86	100%	47	55%	31	36%	8	9%	61
Вихтерпалу	87	100%	45	52%	34	39%	8	9%	55
Пярну	105	100%	63	60%	30	29%	12	11%	58
В. Эмайыги	84	100%	44	52%	28	33%	12	15%	46
Воо	80	100%	27	34%	34	42%	19	24%	61
	86	100%	42	49%	33	38%	11	13%	53

Кубатуры полных паводков распределены по бассейнам более равномерно, чем единичные. Так же более равномерны их продолжительности. Наибольшую продолжительность паводка имеют реки Ягала, Вазалемма и Воо.

Сравнение кубатур полных и единичных паводков показывает, что они коррелируются почти полностью ($r = +0,99$). Поэтому они могут быть определены в зависимости друг от

друга. Это очень важное следствие, так как полный паводок можно прогнозировать, а единичный паводок определяет один из наиболее важных элементов — высоту вершины. Кубатуру полного паводка можно рассматривать как интегральное явление предшествующей метеорологической и гидрологической обстановки и её можно представить в картограмме в виде изолиний.

Вариация кубатуры и максимального расхода единичного паводка.

Как кубатуру единичного паводка, так и максимальный расход можно рассматривать как независимые случайные величины. По их вариациям можно определить их вероятные величины. Максимальный расход несколько более изменчив, чем кубатура, как видно из сравнения следующего ряда чисел.

C_v — вариационный коэффициент.

Реки	Пуртсе	Ягала	Пирита	Лейва	Кейла	Вазалемма	Вихтерпалу	Пярну	В. Эмайыги	Вюо
Q_{\max}	0,62	0,92	0,71	0,91	0,71	0,53	0,63	0,72	0,49	0,50
V	0,52	0,79	0,68	0,73	0,65	0,44	0,64	0,77	0,49	0,59

Вариационные коэффициенты коррелируются весьма хорошо ($r = +0,77$). Обращает на себя внимание река Вяйке-Эмайыги со своими малыми коэффициентами вариаций. Несмотря на непродолжительные островершинные паводки, кубатуры и максимальные расходы из года в год повторяются здесь с более слабой вариацией, чем в других безозёрных бассейнах; слабую вариацию имеет также р. Вазалемма, — вероятно, вследствие большой ретенционной способности бассейнов.

Высота вершины единичного паводка.

Кроме кубатуры паводка и его формы, по которым можно рассчитать при заданном максимальном расходе ход гидро-

графа, имеет самостоятельное значение, как расчётное основание для инженерных сооружений, высота вершины паводка, т. е. максимальный расход. Мы имеем данные о максимальных расходах для каждого года в десяти гидрометрических профилях. Эти данные, а также максимальный расход для 1931 года, до сих пор по наблюдениям не превзойдённый, приведены в таблице 5. В этой таблице $m q_{\max}$ обозначает средний модуль максимального стока, C_v — вариационный коэффициент максимального стока; q_{1931} и $q_{1\%}$ обозначают модули максимального стока 1931 года и с 1% вероятностью; $A_m, A_{1931}, A_{1\%}$ обозначают интенсивность таяния снега в мм/час, определённые для среднего максимального расхода 1931 года и для расхода с 1% вероятностью. Интенсивность таяния снега определена по формуле Д. Л. Соколовского.

$$Q_{\max} = 0,282 A \cdot F^{0,75} [\text{м}^3/\text{сек}].$$

Модули максимального стока 1931 года, в зависимости от величины бассейна, нанесены в логарифмическом масштабе на рис 7.

Как видно из таблицы, $A_m, A_{1931}, A_{1\%}$ колеблются в довольно больших пределах. Расхождения в интенсивности таяния снега и разбросанность в модулях 1931 года указывает на то, что модули не укладываются в формулу Соколовского, содержащую влияние редукции на величину бассейна. Наклонные прямые линии на рис. 7 соответствуют формуле Соколовского. Из рисунка видно, что, кроме озёрности, заболоченности и залесенности, имеются ещё какие-то ретенционные способности.

Высокие модули встречаются в районах, которые характеризуются низкими модулями минимального стока, и низкие модули максимального стока — в районах с высокими модулями минимального. Это значит, что на величину модуля максимального стока имеет влияние в качестве индикатора ретенционной способности минимальный сток, вернее его отношение к среднегодовому. Из рассмотрения рис. 7 и таб-

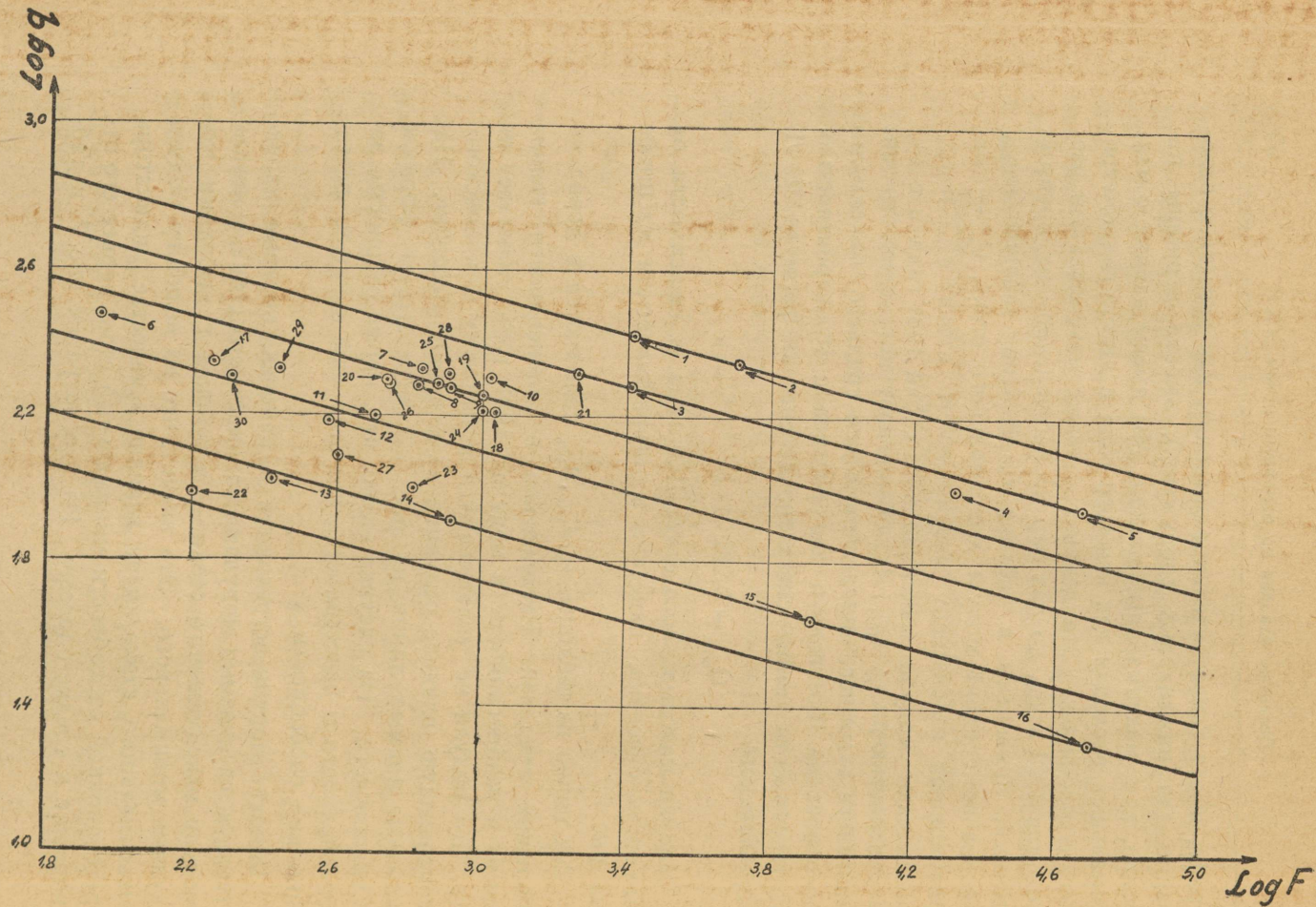


Рис. 7. Модуль максимального стока в зависимости от величины площади бассейна.

Т а б л и ц а 5.
Модули максимального стока.

№№ п/п	Название рек	F км ²	$m q_{\max}$ л/сек 1 км ²	C_v	q_{1931} л/сек 1 км ²	$q_{1\%}$ л/сек 1 км ²	A_m мм/час	A_{1931} мм/час	$A_{1\%}$ мм/час	Озёрность %
1.	Казари . . .	2654	—	—	265	—	—	6,80	—	—
2.	Пярну . . .	5177	87	0,72	218	295	2,70	6,70	9,15	—
3.	Ягала . . .	1587	60	0,92	190	257	1,35	4,30	5,74	—
4.	Великая . .	20180	—	—	102	—	—	4,35	—	—
5.	Нарова (без озера) . .	47824	47*)	—	91*)	—	2,58	4,90	—	—
6.	Лейва . . .	84	86	0,91	314	360	0,95	3,40	3,92	—
7.	Пирита . . .	675	71	0,71	219	245	1,33	4,00	4,30	—
8.	Кейла . . .	665	72	0,71	196	243	1,33	3,60	4,45	—
9.	Пуртсе . . .	792	77	0,62	190	228	1,45	3,60	4,35	—
10.	В. Эмайыги	1068	86	0,49	200	214	1,79	4,20	4,35	—
11.	Вихтерпалу	468	61	0,63	158	184	1,02	2,60	3,05	—
12.	Вазалемма	383	69	0,53	154	173	1,09	2,40	2,73	—
13.	Плюсса . . .	265	—	—	106	—	1,55	—	—	—
14.	Воо	853	39	0,50	78	96	0,75	1,50	1,90	2
15.	С. Эмайыги	7846	22	0,53	47	59	0,76	1,60	1,99	4
16.	Нарова (с озером) . .	47824	12,9	0,31	21	24	0,70	1,20	1,31	10
17.	Поха	167	—	—	246	—	—	3,60	—	—
18.	Мустыыги . .	1223	—	—	167	—	—	3,50	—	—
19.	Паала	1005	—	—	179	—	—	2,50	—	—
20.	Халлисте . .	585	—	—	200	—	—	3,50	—	—
21.	Халлисте . .	1921	—	—	190	—	—	4,55	—	—
22.	Валге	163	—	—	80	—	—	1,02	—	—
23.	Пиуза	624	—	—	112	—	—	2,00	—	—
24.	Навести . . .	957	—	—	165	—	—	3,22	—	—
25.	Педья	792	—	—	197	—	—	3,70	—	—
26.	Вигала . . .	558	—	—	201	—	—	3,45	—	—
27.	Валге	402	—	—	138	—	—	2,20	—	—
28.	Казари . . .	649	—	—	200	—	—	3,60	—	—
29.	Тедва	287	—	—	200	—	—	2,92	—	—
30.	Лообу	202	—	—	200	—	—	2,68	—	—

*) Исчисленный по 5-дневным средним.

лицы 5 можно заключить, что величина площади бассейна имеет слабое влияние на модуль максимального стока; в малых бассейнах, как например в реках Пюха и Лейва, это влияние заметно выявляется, однако оно имеет место и в больших бассейнах, как например р. Нарова (без влияния озера) и р. Великая. В бассейнах величиной от 150 до 5200 км² влияние величины бассейна на модуль стока, повидимому, или отсутствует или выявляется едва заметно в согласии с моделью генезиса паводка при τ_m в пределах одних суток.

Максимальный расход в зависимости от кубатуры паводка и его формы.

Как указано выше, осереднённые гидрографы можно описывать параболой второй степени на подъёме и третьей — на спаде. В результате интегрирования гидрографа получаем $mQ_{\max} = K \frac{V}{t_1} k$, где K коэффициент размерности, V кубатура паводка в мм., t_1 продолжительность подъёма в сутках, k — фактор формы гидрографа. Фактические средние максимальные расходы и средние максимальные расходы, подсчитанные по приведённой формуле, даны ниже в таблице.

Таблица 6.

Наименование реки	Измеренный mQ_{\max} м ³ /сек	Коэффициент гидрографа k	Исчисленн. mQ_{\max} м ³ /сек	Отклонение в %
Пуртсе	61,0	1,09	63,5	+ 3,3
Ягала	94,0	1,16	127,0	+ 35,0
Лейва	7,0	1,16	6,7	- 0
Пирита	48,0	1,23	54,0	+ 12,0
Кейла	48,0	1,07	53,0	+ 10,0
Вазалемма	26,0	0,89	30,6	+ 19,0
Вихерпалу	29,0	1,24	37,5	+ 27,0
Пярну	453,0	1,13	410,0	- 9,5
В. Эмайыги	92,0	1,29	85,5	- 7,6
		1,15		13% (без знака)

Средние максимальные расходы подсчитаны на основании средней кубатуры $V = 60$ мм, средней продолжительности подъёма $t_1 = 10$ сут и на основании коэффициента формы гидрографа $k = 1,15$. Аналогичный подсчёт, произведённый на основании формулы $mQ_{\max} = 0,282 AF^{0,75}$, при среднем значении $A = 1,44$, даёт среднюю ошибку (без знака) 24%. Отсюда видно, что коэффициент формы гидрографа k устойчивее A . Если в формулу $mQ_{\max} = K \frac{V}{t_1} k$ внести продолжительность таяния снега t_3 , то фактор формы гидрографа *a priori* приблизится к 2, так как гидрографы по своей форме весьма подобны треугольникам, с основанием равным продолжительности таяния снега. Продолжительность таяния снега t_3 , определённая на основании осереднённых и одновершинных гидрографов, колеблется в весьма тесных пределах, будучи в среднем $t_3 = 19,5$ сут. Принимая за среднюю кубатуру $V = 60$ мм. и за средний фактор формы гидрографа $k_1 = 2,10$ (причём последний на самом деле колеблется в пределах 1,7—2,20), определяем средний максимальный расход из формулы $mQ_{\max} = K \frac{V}{t_3} k_1$. Результаты подсчётов приведены ниже в таблице.

Таблица 7.

Наименование реки	Измеренный mQ_{\max} м ³ сек	Коэффициент гидрографа k_1	Исчисленн. mQ_{\max} м ³ сек	Отклонение в % %
Пуртсе	61,0	2,07	59,9	— 3,3
Ягала	94,0	2,12	120,0	+ 27,7
Лейва	7,0	2,20	6,4	
Пирита	48,0	2,00	51,3	+ 6,2
Кейда	48,0	1,99	50,2	+ 4,1
Вазалемма	26,0	1,77	29,0	+ 10,7
Вихтерпалу	29,0	2,20	35,0	+ 20,7
Пярну	453,0	2,18	390,0	— 13,9
В. Эмайыги	92,0	2,30	89,0	— 3,3
		2,10		10% (без знака)

Факторы формы гидрографа k и k_1 хорошо коррелируются ($r = 0,91$). Таким образом, определения среднего максимального расхода, на основании продолжительности подъёма или продолжительности таяния снега, могут друг друга заменить. В обоих случаях нужно интерпретировать географически среднюю кубатуру паводка, среднюю продолжительность подъёма или таяния снега, а также факторы формы гидрографа k или k_1 . На основе соответствующих картограмм можно бы исчислять средний максимальный расход с достаточной для практических целей точностью. Исходя из среднего максимального расхода и из картограммы коэффициента вариаций для максимального расхода, можно исчислять максимальные расходы с любой заданной вероятностью. Нам кажется, что такой географический метод для бассейнов 100—5000 км² вернее приводит к цели, чем формулы, содержащие редукцию на величину бассейна.

Из эмпирических формул для определения максимального стока с малоозёрных или безозёрных бассейнов ЭССР нужно считать наиболее подходящей формулу б. Гидрометрического бюро Эстонии, данную инж. Хоммиком; последняя учитывает влияние минимального стока на модуль максимального, как усматривается из формулы Хоммика:

$$q_{w\%}^{\max} = \frac{100 q_m}{F^{0,144} \cdot 10^{1,40} \cdot \left(\frac{q_{95\%}}{q_m} + k \right) \cdot w^{0,286}}$$

Эта формула опубликована в 1938 году в отчётах VI-ой Балтийской гидрологической конференции⁴.

$q_{w\%}^{\max}$ обозначает модуль максимального стока с вероятностью $w\%$, q_m — модуль многолетнего среднегодового стока, F — величина площади бассейна в км², $q_{95\%}$ — модуль среднесуточного стока с обеспеченностью в 95%, k — дополнительный ретенционный коэффициент, который для безозёрных и малоозёрных рек Эстонии может быть принят за нуль.

⁴ К. Hommik. Über die Abflussverhältnisse bei Hochwasser.

Из рассмотрения модулей максимального стока 1931 г. явствует, что в малых бассейнах порядка 100—150 км² они имеют тенденцию к увеличению. Повидимому, на величину модулей здесь оказывает влияние малая величина времени пробега и почасовая интенсивность таяния снега. На изучение этого влияния и вообще всего механизма стока (в особенности, учитывая то обстоятельство, что максимальные модули в малых бассейнах обуславливаются короткими и продолжительными ливнями) необходимо обратить серьёзное внимание, применяя при этом уточнённые способы измерения и, при исчислении секундных расходов, более мелкую единицу времени, чем одни сутки, как это обычно практикуется в речной гидрометрии.

На основании вышесказанного можно прийти к следующим положениям:

1) Безозёрные или малоозёрные реки ЭССР по генезису паводка нужно отнести к категории малых.

2) Осереднённые гидрографы в этих речных бассейнах весьма подобны.

3) Сроки характерных моментов паводка наступают в среднем почти одновременно, слабо отражая влияние движения тёплых воздушных масс с направлением с юго-запада на северо-восток.

4) Факторами определения среднего модуля максимального стока является продолжительность снеготаяния (или коррелирующаяся с ней продолжительность подъёма), кубатура паводка и его форма.

5) В бассейнах меньше 100 км² на модуль максимального стока, повидимому, оказывает влияние почасовая интенсивность снеготаяния и, вследствие этого, редукция на величину бассейна; в расчётах свыше 5000 км² редукция на величину бассейна выявляется уже при единице времени в одни сутки.

6) При изучении процесса стока и формирования паводка в бассейнах меньше 100 км², вместо единицы, равной одним суткам, необходимо перейти на более мелкую единицу времени (час, минута).

Põhilisi printsiipe linna elamurajoonide kompleksel planeerimisel.

H. Arman,

Eesti NSV Teaduste Akadeemia korrespondeeriv liige.

Nõukogude Eesti linnade ja asulate taastamine ja rekonstrueerimine on üks tähtsamaid käesoleva aja ülesandeid. Meil tuleb hävitava sõja jäljed kiiresti kaotada, tuleb ehitada tuhandeid ja tuhandeid elamuid, mis võimaldaksid mugavaid kodusid meie töötavale rahvale. See töö tuleb teostada eesrindliku tehnika kohaselt, luues hooneid, mis on ühtaegu nägusad ja meeldivad. Põhimõtted, millede järgi ehitati linnu vanasti ja kapitalistlikul ajal, ei ole enam sobivad nõukogulikele tõekspidamistele ja kogujõud peab olema suunatud sellele, et olemasoleva vana ning vastuvõetava kõrval ehitada uued nõukogulikud linnad ja linnaosad.

Vaadates lähemalt linna elamisrajoone leiame, et need moodustavad enamiku linna asustatud maa-alast. Linna hoonetest moodustavad elamud selle põhimassi, millest koosneb tegelikult linn.

Möödunud aja tüüpiline elamurajoon koosneb nn. koridor-tänavast, mille ääres olevatel eraldatud kruntidel asetsevad tänaväärsed elumajad. See tüüpiline linna ehitusviis kruntide süsteemis on meile küllaldaselt tuttav.

Tänav on see element, mis määras möödunud aegadel elumaja asendi. Tänavate ääres asetsesid majade ja kruntide sissepääsud, tänava poole oli pööratud hoone esikülg. Tänav oli seega linna planeerimisel esimese järgu element, elumaja planeerimine aga alles sellest olenev ja teisejärgulise tähtsusega.

Samuti oli kapitalistlikul ajal iga hoone välisvaade tänava ääres arhitektoonilisest seisukohast individualistlik oma eri lahen-

duselt ja kompositsioonil, ilma et välisvaate kujundamisel oleks arvestatud ühtlast ettemääratud üldkava.

Nõukogude korra tingimustes jääb elamurajoonis peaelemendiks elamu ise ja temaga peavad olema kooskõlas kõik teised elemendid, nagu tänavad, platsid, aiad, samuti ka asutiste hooned. Võttes aluseks elanikkonna kiire ja otstarbekohase varustamise elamutega, saab juhtivaks elamuvormiks masselamu. Kui elamu enne oli iseseisev, individuaalne hoone, siis nüüd muutub ta järjekindlalt tüüpiliseks masselamuks, mida võib blokeerida, grupeerida ning mille püstitamisel võib maksimaalselt kasutada kõiki eesrindlikke ehitusmeetodeid. See on üks esimesi iseärasusi, mille poolest nii kaasaegne elamu kui ka kogu elamurajoon erineb endisest.

Kuid see on ainult üks külg elamusküsimuse alal. Kodanlikul ajal ei olnud suuremat tähelepanu pööratud nende ühiskondlike ja tarbehoonete küsimusele, mis on otseselt seotud elamuga, või nende hoonete paigutamisel lähtuti kitsast kapitalihuvist.

Isegi iga väiksem kauplus asetati sinna, kus oli elavama liiklusega koht, arvestamata seda, kas ta asetses kõikidele selle rajooni elanikele käepärases kauguses või et sinna minnes oli vaja ületada mitmeid suure liiklemisega magistraaltänavaid.

Niisuguseid elementaarseid nõudeid on veel teisigi, mis lähivad tegelikust elust ja mida peame igal planeerimisel arvestama.

Need nõuded seavad meile ülesande kujundada elamurajoon tihedas seoses kõigi vajalike asutistega, seega organiseerida elamualad nii, et need moodustavad kompleksse terviku.

Seega teine oluline erinevus sotsialistliku hoone pildis võrreldes endise elamuga on kompleksne ehitamisviis.

Ainult kompaktse ehituskompleksiga saab lahendada kõik elamuehitusprobleemid ökonoomsuse, tarbe ja kunsti seisukohast. Sel alal on Nõukogude Liidus suuri kogemusi. Esimesena maailmas loodi siin komplekskvartali tüüp, mis lahendas teoreetiliselt hoonete ja asutiste grupeerimise viisi ja kujundas kvartalit praktiliselt tervikliku organismi.

Kolmas oluline moment, mis on Nõukogude Liidu elamurajoonide ehitamisel üks põhialuseid, on kogu ehitustegevuse plaanikindel ja järkjärguline teostamine.

Kui kodanlikul ajal elamud ehitati juhuslikult siin-seal linnas, siis nõukogude kord on otseselt huvitatud sellest, et ehitamine tegelikult toimub üksikute komplekside, ansamblite kaupa. See on ökonoomsem, võimaldab kiiret ehitamist ning lubab arhitektooniliselt kogu kompleksi kavastada sinna, kuhu üldine linna arendamise kava seda ette näeb, seejuures lõpetatuna ja terviklikuna.

Need kolm põhialust — masselamu kui elamutüübi arendamine kooskõlas planeerimisega, kompleksne elamuala kujundamine ja komplekside järkjärguline ning plaanikindel ehistamine — on põhilised tingimused, mis määravad meie elamualade ehitamise küsimuse.

Nagu eespool öeldud, on Nõukogude Liidu teistes vennasvabariikides põhiliselt käsitletud ja sügavalt uuritud elamukvartalite probleemi, ja seda eriti suuremate mitmekorruseliste elamute rajoonides. Head näited Moskvast, Leningradist ja teistest linnadest tõestavad selle ehitusviisi elujõulisust.

Vähem on seda küsimust selgitatud vähekorruseliste elamute ja veel vähem individuaalelamute rajoonides. Kui südalinnas mitmekorruseliste elamute aladel on võimalik luua täielikke komplekse võrdlemisi vastuvõetava maa-ala juures, siis vähekorruseliste ja individuaalelamute rajoonides tekib esimene raskus nende rajoonide võrdlemisi väikese elamistiheduse tõttu: maa-alad lähevad võrdlemisi suureks, s. o. juba tavalise kvartali piiridest välja. Seega on esimese astme kompleks-elamiskvartal, edaspidi nimetame seda algkompleksiks, kõrgete ehitiste rajoonides ja üldse linna tihedamates elamurajoonides lahendatav kui suurkvartal, vähekorruseliste ehitiste ja individuaalelamute rajoonides aga tuleb siin maa-alaliselt ühendada mitmed kvartalid.

Tavaliselt mõistame lihtkvartali all iga tänavatega piiratud elumuala osa, mille suurus tavaliselt kõigub 0,5—2 ha pii-rides. On selge, et selline väike kvartal, mahutades enesesse hõredates ehitusrajoonides ainult mõnisada inimest, ei saa olla iseseisvaks kompleksiks.

Vähekorruseliste elamute ja individuaalelamute komplekside probleemi lahendamine on eriti oluline Eesti NSV oludes, sest enamik meie linnu ja asulaid omab just sääraseid hõredaid rajoo- ne. Teisest küljest on nendes rajoonides kompleksi küsimuse selgitamine esmajärguline seepärast, et praegune pealesõjaaegne ehitustegevus enamikus toimub just neis rajoonides.

Linna ehituspraktikas on suurkvartali kõrval viimastel aastatel tähelepanu köitnud veel teine mõiste, nimelt mikrorajoon. Mikrorajooniks nimetatakse tavaliselt iseseisvat vähemat rajoo- niosa, mis ühendab enesesse mitu suurkvartalit ning näeb ette rea ühiskondlikke ja tarbe-ehitisi, mis ühe kvartali tarvis oleksid liiga suured, kuid rajooni tsentrisse paigutatuna jääksid juba liiga eemale elamutest.

Mikrorajoon on vaheaste suurkvartali ja rajooni vahel, kuid iseloomult on seda veel vähe uuritud. Käesolevas arutluses on teda ühtluse mõttes nimetatud suurkompleksiks. Peab ütlema, et suurkompleks kui iseseisev terviklik üksus linna planeerimise praktikas võrdlemisi harva leiab otsest kasutamist, kuid tema printsiibid annavad hea võimaluse kontrollida suuremate ühis- kondlike hoonete õiget asetust, magistraaltänavate ja haljäs- alade paigutust ning algkomplekside omavahelist suhet.

1946. aastal korraldati NSV Liidu Arhitektuurikomitee poolt põhiline eksperimentaalne mikrorajooni elamualade komp- leksehitamise küsimuse uurimine linna elamurajoonide kohta, millisest tööst Tallinnas ENSV Arhitektuuri Valitsuse juures lähe- malt läbi töötati madalate ehitiste ja individuaalelamute komp- leksrajoonide probleem, millest seoses veel mõningate eriuuri- miste teostamisega on siin võimalik ette kanda mõningaid põhi- lisi küsimusi selle probleemi selgitamiseks.

Alustades lähemalt elamukompleksi küsimuse vaatlemist eespoolmainitud uurimistööde alusel, peame esmalt selgitama töö ulatuse, ülesanded ja nõuded, mis me esitame säärasele organiseeritud elamukompleksile.

Põhiliselt võime üles seada järgmised viis nõuet:

1. Elamukompleksi lahendus peab olema niivõrd lõplik ja organiseeritud, et tema süsteem täielikult rahuldaks temas asuvaid elanikke kõigi igapäevaste vajaduste seisukohast.
2. Elamukompleks peab oma suuruselt mahutama enesesse vajalikud asutised, kuid seejuures peab olema küllaldaselt terviklik, kompaktne ja käepärane. Arhitektoonilises mõttes peab ta moodustama loomuliku osa linna üldlahendusest, mitte aga eraldi iseseisva asula või linnaosa.
3. Kogu kompleksi lahendamine peab olema ökonoomne, igal juhul ökonoomsem kui tavaline seni kasutatud planeerimisviis.
4. Kogu kompleksi lahendus peab paremini kui seni rahuldama kõiki liiklemisjulgeoleku, tervishoiu, tulekaitse ja heakorra nõudeid.
5. Kogu kompleksi ehitamine peab olema võimaldatud plaanikindlalt ning lõpetatud gruppide kaupa tema kõigis elementides (elamud, teed, haljasalad jne.).

Nende nõuete alusel tuleks läbi arutada rida teemasid, mis on üksteisega seoses, kuid lõplikus kokkuvõttes võimaldavad teha rea järeldusi. Mõningate teemade kohta on võimalik esitada ainult teoreetilisi ettepanekuid, kuid mõningate kohta anda ka juba praktilisi lahendusi.

Teemad on üldjoontes järgmised:

1. Alg- kui ka suurkompleksi üldvorm, nende suurus, elanike arv eri linna- ja tihedusrajoonis.
2. Iga kompleksi suuruse jaoks vajalik asutiste võrk, nende suurus, mahutavus, teenindamisraadiused ja asetus.
3. Kompleksi liiklemisprobleem ja tänavavõrgu üldlahendus.

4. Kompleksi heakorra- ja tehnilised sisseseaded, haljasalad.
5. Kompleksi ökonoomilised kontrollarvud maa-ala kasutamise ja bilansi kohta.
6. Kompleksi arhitektooniline lahendus.

Alustades esimeste küsimustega, mis puutuvad kompleksi vormisse, suurusse ja elanike arvusse, tuleb nendega selguse mõttes siduda kompleksi vajalike asutiste küsimus.

Üldiselt on loogiline asetada algkompleksi kõik need asutised, mis on elanikkonnale iga päev pidevalt vajalikud, ja järgmisse grupeeringsusse — suurkompleksi — need, mis elanikkonnale on küll alaliselt vajalikud, kuid mitte iga päev. Esimesse gruppi kuuluvad esijoones lastemänguplatsid, lasteaiaid ja -sõimed, toiduainetekauplused, ajalehekioskid ja põhiliselt ka algkool, teise gruppi aga polikliinik või ambulatoorium, keskkool, klubi, ümbruse spordiväljak, erikauplused ja kingsepa- ning remonditöökojad, juuksur, pesula, saun jne. Söökla tuleb asetada esimesse või teise gruppi olenevalt sellest, kas ta on töötusasulas, s. t. on alaliselt pidevalt iga päev kasutatav, või suurlinnas või asulas, kus tavaliselt süüakse tööstuste või asutiste juures ja söökla on juhuslikele külalistele.

Arvestades Eesti NSV spetsiifilisi olukordi, nagu elanike vanuselist koosseisu, lasteasutiste vajadust jne., võime normaalseks algkompleksi mahutavuseks pidada ca 2000 inimest. Selline kompleks võib sisaldada ühe 7-klassilise mittetäieliku keskkooli, lasteaia 50 lapsele ja sõime 40 lapsele, vastavad lastemänguplatsid ning 1—2 kohalikku toiduainetekauplust. See arv ei ole linna tihedamaes rajoonides suur, kuid näiteks individuaalalammute ja aiandusrajoonides, kus krundi suurus on normaalselt 2000 ruutmeetrit, tõuseb see algkompleks kuni 80 ha-ni, mis on võrdlemisi suur maa-ala ja tihti ei lase end küllalt kompaktselt kujundada. Seetõttu näib loomulikuna, et hõredates aiandus- ja individuaalalammute rajoonides on õigem moodustada algkompleksid vähematenä, näiteks nii, et need koonduvad väikelaste-

asutiste — lastesõimede ja -aedade ümber, kusjuures koolid oleksid kahele ühesugusele algkompleksile ühised.

Seega mahutaks selline minimaalne algkompleks neis hõredates rajoonides ca 1000 inimest, erijuhtudel tööstusasulate juures, kus lasteaedade ja -sõimede kasutamine on intensiivsem, võiks aga mahutada kuni 600 inimest. Säärane algkompleks mahutaks seega lasteaia ja lastesõime, nende juures oleva avaliku mänguplatsi ja ühe toiduainetekaupluse. Seevastu linna tähtsamates elamisrajoonides, kus normaalsem on moodustada mitte väga väikese kohtade arvuga lasteasutisi, oleks eksploatatsiooni seisukohast ja algkompleksi killustamise vältimiseks õigem algkompleksi suurendada. Eesti NSV oludes, kus linnade elamute kõrgus tavaliselt ei tõuse üle 4—5 korruse ja elanike tihedus üle 50 inimese ha kohta, võiks algkompleks piirduda 3000 elanikuga. Selline kompleks võimaldab luua juba korralikke 75—100 kohaga lasteaedu ja -sõimi, 11-klassilisi koole ning mitmeid esmajärgulise tähtsusega töökodasid ja asutisi.

Kokkuvõttes võime öelda, et Eesti NSV oludes on algkompleksi suurus, olenevalt elanike tihedusest, 600—3000 inimest.

Mis puutub maa-ala suuruse küsimusse erineva tihedusega rajoonides, tuleb siin arvestada veel uut tegurit, s. o. jalakäigu-kaugust ja -aega. On arusaadav, et iga kompleksi vastavad asutised peavad olema eluhoonest teataval jalakäigu-kaugusel, nn. teenindamisraadiuse kaugusel, samuti lähem masstranspordi peatus. Kui algkompleksi asutiste — lasteasutiste ja kaupluste — teenindamisraadiuseks võtta 250—300 m, siis jääb see kaugus igal juhul algkompleksi maa-ala piiridesse, kuna ainult hõredates aiandusrajoonides ta võib erijuhtudel selle piiri ületada. Mitmete muude suurkompleksi piirides olevate asutiste tegevusraadius, eriti kaugus elumajast kuni lähema masstranspordi peatuseni, kaugus suurkvartali peahooneteni ning kaugus lähema puhke- ja spordiringini on aga küllalt olulised tegurid suurkompleksi maa-ala piiri määramisel. Kui arvestada, et linna mass-transport ei tohiks läbi lõigata ei algkomplekse ega ka suurkomp-

lekse, mis on ohutu liiklemise seisukohast eriti oluline, ja põhiliselt peaks kulgema mööda suurkompleksi piire, siis on meie poolt määratud jalakäiguajast lähtudes võimalik anda teatavad optimaalsed arvud suurkompleksi maa-ala suuruse kohta.

Maksimaalseks jalakäiguajaks, mille jooksul kõik eespool toodud tähtsamad kaugused peaksid olema igast elumajast kättesaadavad, on 8—10 minutit, mis vastab keskmiselt 600—800 m kaugusele teekonnale. See jalakäigukaugus peaks tihedamalt asustatud rajoonides, eriti linna keskosades elumajade ja liiklemispeatuste vaheliste kauguste arvestamisel, vähenema kuni 5 minutini, seevastu hõredates linnaäärsetes aiandusrajoonides tõusma teatavalt juhtudel kuni 12 minutini, kus masstransport liiga tiheda võrguna end normaalselt ei ekspuuteeri.

Neid andmeid analüüsides ja kompleksse maa-ala suurust kontrollides leiame, et sellise suurkompleksi suurus võiks tõusta kuni 150 ha-ni, hõredates rajoonides ja aiandusrajoonides erijuhtudel isegi kuni 200 ha-ni.

Eespool toodud põhimõtteid kokku võttes näeme kompleksi suuruse ja elanikkonna arvu vahekorras teatavat reeglipärasust. Esiteks on komplekside maa-ala väikese tihedusega rajoonides suurem ja suure elanike tihedusega rajoonides väiksem, seevastu on elanike arv neis kompleksides väiksem väikese tihedusega ja suurem suure tihedusega rajoonides. Seega on siin teatav arvu-oline, kuid loogiline vastuolu.

Esitatud andmeid kooskõlastades ja grupeerides võime koostada järgmise ligikaudse tabeli nii väike- kui ka keskmiste linnade kohta Eesti NSV-s (tabel. 1).

Selles tabelis on oluline tähtsus algkomplekside moodustamisel, nende minimaalsete ja maksimaalsete suuruste määramisel, mis aitavad luua praktiliselt iseseisvaid ja terviklikke algkomplekse vastavalt sellele, millises tihedusrajoonis need kompleksid asuvad. Seevastu on suurkompleksi suurused tegelikult kontrollarvud, mis tavaliselt ei vii iseseisvate suurkomplekside loomiseni, vaid näitavad meile andmeid suurema tähtsusega

hoonete paigutamisel, tänavavõrgu ja eriti magistraalteede korraldamisel, samuti haljasala võrgu planeerimisel.

Ühiskondlike hoonete suhtes on veel oluline nende õige paigutamine. Normaalseks tuleb pidada ettepanekut, et kompleksi

Tabel 1.

Elamutsooni liik	Algkompleks			Suurkompleks	
	Tihedus (inimesi ha kohta)	Maa-ala suurus ha	Inimeste arv	Maa-ala suurus ha	Inimeste arv
Aiandusrajoon, hõre individuaalelamute rajoon (krundid 1200—2000 m ²)	25—40	20—40	600—1000	80—200	2000— 6000
Tavaline individuaalelamute rajoon (krundid 800—1200 m ²)	40—60	15—25	1000—1500	70—150	4000— 8000
1—2-korruseliste elumajade ja reamajade rajoon	80—150	8—20	1000—2000	50—100	5000—10 000
2—3-korruseliste elumajade rajoon	200—300	5—10	1500—2000	30—60	6000—12 000
4—5-korruseliste elumajade rajoon	300—500	3—8	1500—3000	20—40	8000—15 000

keskele asetatakse need asutised, mida pidevalt vajavad kompleksis alaliselt elutsevad elanikud: asutised laste, õpilaste ja kodupere-naiste vajaduseks, nagu kõik lasteasutised, spordiplatsid, koolid, klubid jne., seevastu kompleksi äärel ja nimelt elanike pealiiklemissuundade sihis või masstranspordi (trammi, bussi) peatuskohtade juurde need asutised, mis on vajalikud tööil käivale elanikkonna osale ja kättesaadavad tööle minekul või töölt tulekul või kus kasutajad võivad olla väljastpoolt, nagu ärid, töökojad, sööklad, ajalehekioskid jne.

Komplekside moodustamisel etendab tähtsat osa teedevõrk. Kui pidada õigeks, et mõlemal grupeerimisel masstranspordi

(trammi, bussi jne.) liiklemistee ei tohi läbida nende gruppide maa-alasid, s. o. masstransport on põhiliselt ainult rajoonidevaheline ühendus, siis on loomulik kogu tänavavõrk planeerida nii, et kompleksi ei läbiks mingisugune transiitliiklemine. Lubatud on seega ainult autode juurdepääs neis kompleksides asetsevatele eluhoonetele ja asutistele.

Teisest küljest on tarvilik, et iga kompleksi sees oleks tänavate ülesanne küllaldaselt diferentseeritud ja et nende laius määrataks vastavalt vajadusele.

Ühtlasi tuleb aga komplekside juurde laialdane, ilma sõiduteeta jalgteede kasutamine, mis on põhiliselt mõeldud just eluhoonete ühendamiseks koolide, lasteasutiste, pargi ja mänguplatsidega. Jalgteed peavad olema planeeritud nii, et nad kusa-gil ei ühti ega lõiku sõiduteega. Sellega hoitakse ära autoõnnetused lastega ja on võimaldatud laste rahulik iseseisev liiklemine ilma saatjata.

Põhiliselt on see mõte kergesti lahendatav linna mitmekorru-selise suure elamukvartali puhul, kus elumajad asetsevad peri-metraalselt kompleksi ümbritsevate tänavate ääres ja kompleksi sees olevas haljasalal asetsevad lasteasutised ja koolid, mis on elumajadest juurdepääsetavad ainult jalgteede kaudu. Selline viis on aga põhiliselt lahendatav ainult üldpinnalt väikese maa-alaga komplekside — linna elamiskvartalite puhul, sest siin on võrdle-misi vähe vaja sissesõiduteid. Individuaalelamute rajoonis, kus maa-alad on suured ja kompleksi sees asetsevad sõiduteed on vältimatud, tuleb leida uusi tänavavõrgu lahendusi ja üldmaa-ala teissugust kompositsiooni.

Kogu kompleksehituse tähtsamaks ja otsustavamaks küsi-museks on tema ökonoomiline külg ja tema ökonoomsuse määra-jaks on tema maa-ala bilanss.

On arusaadav, et iga linnakava on seda ratsionaalsem, seda ökonoomsem, mida rohkem ta mahutab elamuid, jättes aga see-juures haljasalad iga elaniku kohta võimalikult maksimaalseks.

Seejuures peaks aga teede all olev maa-ala võimalikult väiksem olema, sest iga ruutmeeter kalli tänava ehitamist ja sillutamist mõjub kogu kompleksi üldhinnale.

Seepärast on üks otsustavamaid tegureid maa-ala ökonoomsuses ja tema bilansis kompleksisel planeerimisel teedevõrk, kus üldplaani kompositsioon saab seda parema ja ökonoomsema lahenduse, mida minimaalsem on tänavavõrgu all oleva maa-ala protsent.

Antud eksperimentaaltöös arvestati normaalse kompleksi maa-ala bilanssi, mis andis võrdlemisi suure protsendi elamurajoonidele. Järgmised andmed on arvestatud individuaal- ja reamaja-rajoonide kompleksidele ning annavad protsentuaalselt vahekorrad üldmaa-alast.

Selle järgi on:

eluhoonete kruntide all	70—75%,
ühiskondlike hoonete all	8—10%,
teede ja platside all	10—12%,
haljasalade all	5—8%.

Lõpuks veel mõni sõna elamute komplekside arhitektuurilisest lahendusest. Elamute kompleks kui teataval määral terviklik linnaosa peab olema ühelt poolt arhitektuurilisest seisukohast lahendatud kompaktselt kogu oma piirides, teiselt poolt aga tugevasti seotud kogu linna orgaanilise lahendusega. Kompleks peab olema tugevasti seotud teda ümbritsevate magistraalidega, nende arhitektuuriga, tähtsamate platside ja ansamblitega, eriti aga tugevasti ja loogiliselt selle rajooni tsentrumiga, kus asetsevad kõik suuremad asutised ka kõigile teistele kompleksidele.

Siin võib tuua mõningaid mõtteid praegusest Inglismaa ja Ameerika Ühendriikide praktikast, kus viimaste ettepanekute järgi planeeritakse linnu superkvartalite ja mikrorajoonide kaupa. Kuigi nende tegelikus lahenduses ja läbiviimises on mõndagi huvitavat, torkavad meile otseselt silma nähtused, mis Nõukogude praktikas ei ole mõistetavad: püüe organiseerida iga kompleks täiesti iseseisvaks, omaette kinniseks organismiks,

piirates teda kas haljasaladega või loomulike barjääridega ning seejuures üldse nõutaval määral ühendamata neid komplekse tugevasti kokku ühiseks linnaks, sääraseks, mida meie mõistame tervikliku, kompakse linna all. Tagajärjeks on, et saadakse tegelikult rida väikesi iseseisvaid linnakesi või asulaid, kus igaüks elab oma iseseisvat elu.

Meil tuleb linnade elamute komplekse luues ja neid magistraalidega ühendades tõsiselt mõelda nende tugeva, omavahel seotud arhitektoonika lahenduse üle. Samuti tuleb läbi mõelda elamutänavate äärde ehitatavate eluhoonete ehitamise viis.

Seni tavaliselt rakendatav viis asetada hooned tingimata tänava äärde on pärit endisest ajast ja pole enam progressiivne.

Parem on hooned tänava ääres grupeerida üksikute rühmadena, moodustades seejuures sisehoove ja lubades tänavajoonetele taha- ja etteasteid. Kuid see lahendusviis ei ole ainuke ja siin on veel palju mõtteid lõplikult esitamata ja arhitektoonilised võtted ammutamata.

Seni tehtud töö sel alal on ainult algus ja näitab üldisi võimalusi ning suundi. Edaspidine uurimistöö peab arenema plaanikindlalt ja haarama kõiki eriküsimusi elamute komplekside planeerimisel. Need küsimused tuleb läbi töötada kõikide linna tihedusastmete tarvis, eraldi suur- ja väikelinnade ning asulate kohta. Samuti tuleb põhjalikult uurida kompleksi majanduslikku külge, tema teede probleemi ja ökonoomset ehitusviisi ning leida põhilisi lahendusi komplekside kanalisatsiooni ja vesivarustuse küsimuste kohta, eriti hõredates elamurajoonides, kus need seadmed seni tavaliselt üldse puuduvad.

Eripeatüki, mida NSV Liidu teistes vabariikides on uuritud sügavamalt just mitmekorruseliste hoonete osas, moodustab kompleksi ehitamise organiseerimise probleem voolujoonelisuse, kiir- ja massehituse seisukohalt. Seda ala on aga seni vähe käsitletud, kuid see on oluline küsimus just individuaalehitiste rajoonides, millel Eesti NSV ehitamisoludes on esmajärguline tähtsus.

Sel alal on meil veel palju tööd ees ja kõik need küsimused tuleb lahendada kiiresti, et anda õigeid aluseid ja andmeid ruttu kasvavale ehitustööstusele, mille ülesandeks on meie linnad ja asulad suuremas osas üles ehitada juba käesoleva viisaastaku kestel. Endiste meetodite järgi ja endises vaimus ehitades ei ole me võimelised oma ülesandeid ehituse alal õigesti ning kiiresti ja ajakohaselt lahendada, mistõttu eespooltoodud probleem linna planeerimise alal on üks esimesi ja tähtsamaid.

Основные принципы комплексной застройки жилых районов городов.

Х. Арман,

член-корреспондент Академии Наук Эстонской ССР.

Резюме.

Города, унаследованные от капиталистического строя, особенно их жилые районы, по большей части неорганизованы, причём среди жилых домов часто расположены заводы, склады.

При планировке и строительстве жилых районов советских городов учитываются три принципа, регулирующие строительство:

1. Жилые районы строятся соответственно с очерёдностью осуществления проекта планировки города, что позволяет отстраивать вполне законченные группы жилых домов.

2. Типы жилища рассматриваются как массовые, как типовые решения, что даёт преимущества как с точки зрения целесообразности жилища, так и в отношении экономичности.

3. Жилой район решается совершенными организованными комплексами и содержит, кроме жилищ, все непосредственно необходимые для жителей социально-бытовые и другие учреждения, как-то: озеленённые площади, парки, детские заведения, школы, торговли, клубы и пр.

Проблема комплексного проектирования и строительства широко развита в Советском Союзе и применяется в городах в виде комплексного квартала, особенно тщательно разработанного в части многоэтажных домов. Но вопросы комплекса индивидуальных и малоэтажных домов, особенно существенные в условиях ЭССР, не имеют ещё законченных решений. По линии Управления Архитектуры ЭССР в 1946 г. производилась экспериментальная работа по решению района для индивидуального строительства, давшая определённые положительные результаты.

Выявлено, что величина элементарного комплекса для районов индивидуального строительства, позволяющая дать законченное, цельное решение, должна быть по числу жителей не меньше 1000 человек, что даёт в условиях ЭССР минимальные размеры дачада и яслей. На два таких комплекса можно проектировать одну неполную среднюю школу и прочие сети бытового обслуживания. Величина площади такого комплекса при плотности заселения 40—60 жит. нага равна 15—25 га.

В частном случае рабочего посёлка, где использование детских садов и яслей более интенсивно, минимальный жилой комплекс можно организовать уже начиная с 600 жителей. Соотношение площадей в балансе территории означенного жилого комплекса может быть весьма экономичным, при учёте того обстоятельства, что в районах индивидуального строительства сеть дорог и ширина их решается только для потребностей данного комплекса, и поэтому площадь улиц может составлять 10—12% от общей площади. Исходя из этого, под участки жилых домов можно отвести до 70—75% общей площади комплекса.

Целостное архитектурное решение слабо заселённого района следует проводить по группам индивидуальных зданий, соблюдая разнообразие и ритмичность в решении жилых улиц. При этом можно получить интересные решения, применяя отступ от домов и групп их от улицы и замыкания перспектив тупиков так, чтобы они давали законченное архитектурное решение.

Особыми, здесь не затронутыми, но не менее существенными вопросами являются канализация и водоснабжение элементарного индивидуального комплекса, а также общая организация его строительства.

III.

Uusi praktilisi võtteid dimeetrilises ristaksonomeetrias.

A. Humal,

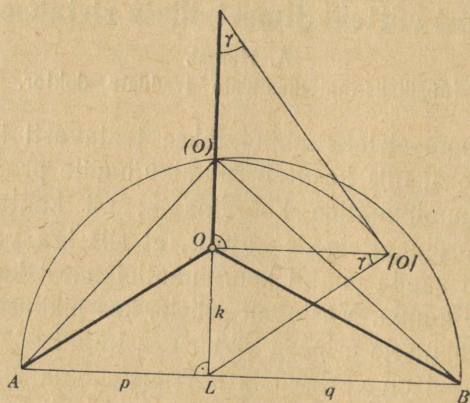
füüsikalis-matemaatiliste teaduste doktor.

1. Aksonomeetriaks nimetatakse teatavasti kujutava geometria seda osa, mis kasutab ruumikujundite projektsiooni valmistamisel ruumipunktide koordinaate; nii kantakse joonisele kõigepealt koordinaattelgede kujutis, et siis iga vajaliku ruumipunkti kujutist saada punkti koordinaatlõikudest koosneva murdjoone kujutise kaudu. Vastavalt sellele, kas pikkusühik kõigil telgedel annab joonisele erineva pikkusega kujutised, või kahe telje ühikute kujutised on võrdsed ja kolmanda oma erineb neist, või kõigi kolme telje ühikute kujutised on pikkuselt võrdsed, nimetatakse teatavasti teljestikupilti trimeetriliseks või dimeetriliseks või isomeetriliseks.

Ristaksonomeetrias, s. t. kui kujutamiskiired on joonisepinna risti, nimetatakse telgede ja joonisepinna vaheliste nurkade koosinusi mõõduteguriteks. Ristaksonomeetrias osutub teljestikupilt isomeetriliseks, kui kõik kolm mõõdutegurit on üksteisega võrdsed, dimeetriliseks, kui kaks mõõdutegurit võrduvad teineteisega, ja trimeetriliseks, kui mõõdutegurid võivad kõik üksteisest erineda. Mõõdutegurite vahel kehtib teatavasti üks seos (ruutude summaks on arv 2), seega juba kaks mõõdutegurit määravad teljestikupildi täielikult. Trimeetrilise teljestikupildi konstruktsioon kahe mõõduteguri põhjal või mõõdutegurite suhete järgi on küll rakendatav ka dimeetrilise teljestikupildi puhul, kuid osutub asjatult töörohkeks ning seetõttu ebatäpseks. Et praksises leiab tarvitamist kõige sagedamini just dimeetriline

teljestikupilt, siis pakub dimeetrilise teljestikupildi valmistamise ratsionaliseerimine erilist huvi. Ratsionaliseerimine osutub võimalikuks probleemi trigonomeetrilise läbitöötamise alusel.

2. Kõigepealt tuleb selgitada, kuidas mõõdutegureid arvutada, kui joonisel on teljekolmiku kujutis antud ning on teada, et joonis peab olema ristprojektsioon. Selleks vajalikud mõõtmised on näidatud joonisel 1: nimelt pikendatakse ühe telje kujutist



Joon. 1.

mingi lõigu k võrra ning mõõdetakse selle ristlõigud p ja q kuni teiste telgede kujutisteni. Väidame, et lõigud k , p ja q (õieti juba nende suhtedki) määravad mõõdutegureid järgmiselt:

$$\cos^2 \alpha = \frac{p}{p+q} + \frac{k}{p+q} \cdot \frac{k}{p}$$

$$\cos^2 \beta = \frac{q}{p+q} + \frac{k}{p+q} \cdot \frac{k}{q}$$

$$\cos^2 \gamma = 1 - \frac{k}{p} \cdot \frac{k}{q}$$

Väite tõestamiseks tuleb joonist täiendada: teatavasti võib z -telje kujutisega risti olevat sirget, millel asetsevad lõigud p ja q , lugeda xy -tasapinna nivoojooneks ja tema ümber xy -tasapinda pöörata vastavale nivoojannale; samale nivoojannale pööratakse

ka z -telje kujutamiskiirte pind. Et OA on x -telje lõigu kujutis ja $(O)A$ esitab sama lõiku mahapööratult tema õiges pikkuses, siis $\cos \alpha = \frac{OA}{(O)A}$. Täisnurksest kolmnurgast OAL nähtub, et $OA^2 = p^2 + k^2$, ning täisnurksest kolmnurgast $AB(O)$ selgub, et $(O)A^2 = (p + q)p$. Seega

$$\cos^2 \alpha = \frac{p^2 + k^2}{(p + q)p} = \frac{p^2}{(p + q)p} + \frac{k^2}{(p + q)p} = \frac{p}{p + q} + \frac{k}{p + q} \cdot \frac{k}{p},$$

nagu väidetud oligi. Analoogiliselt leitakse kolmnurkade OBL ja $AB(O)$ abil, et

$$\cos^2 \beta = \frac{q^2 + k^2}{(p + q)q} = \frac{q}{p + q} + \frac{k}{p + q} \cdot \frac{k}{q}.$$

Teisiti aga tuleb andmeist $\cos^2 \gamma$; nimelt leidub z -telje kalde-
nurgaga γ võrdne nurk ka kolmnurgas $L[O]O$, millest $\frac{k}{L[O]} = \sin \gamma$.

Kuid teatavasti $L[O] = L(O)$ ja, nagu kolmnurgast $AB(O)$ näha, $L(O)^2 = pq$; järelikult

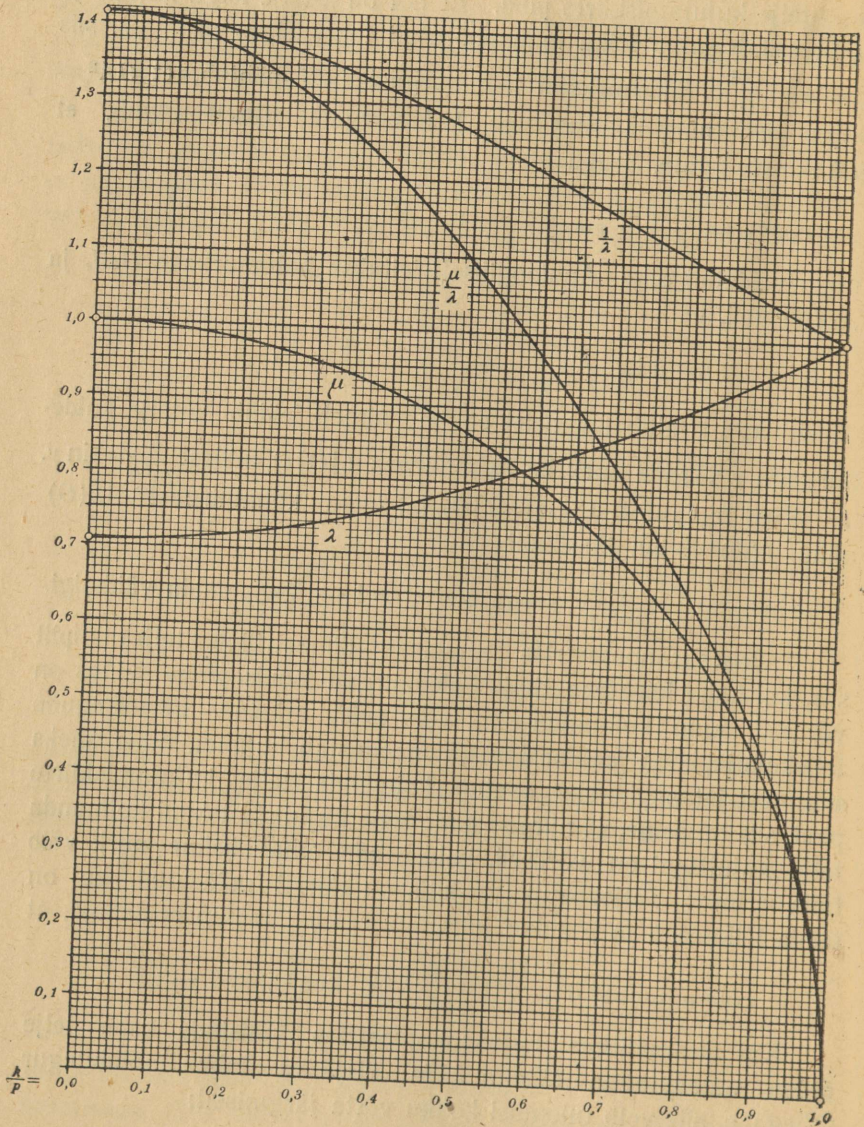
$$\sin^2 \gamma = \frac{k^2}{pq} = \frac{k}{p} \cdot \frac{k}{q}, \text{ seega } \cos^2 \gamma = 1 - \frac{k}{p} \cdot \frac{k}{q}, \text{ mida väideti.}$$

3. Ristaksonomeetrias saadakse dimeetiline teljestikupilt siis, kui kahe koordinaattelje kaldenurgad joonisepinna suhtes on võrdsed, kuid kolmanda oma võib neist erineda. Et niisugune teljekolmik koos joonisepinnaga moodustab kujundi, mille üheks sümmeetriatasapinnaks osutub kolmanda telje kujutamiskiirte pind, siis on selge, et nurgad kahe telje kujutistest kuni kolmanda telje kujutiseni on võrdsed, kuid nende omavaheline nurk võib tulla erinev. Teljekolmiku kujutis on täiesti määratud, kui on teada lõikude k ja p suhe; juhtumil $p = q$ järeldub eelnenust, et

$$\cos^2 \alpha = \cos^2 \beta = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left(\frac{k}{p} \right)^2 \text{ ja } \cos^2 \gamma = 1 - \left(\frac{k}{p} \right)^2.$$

Kui dimeetrilises ristaksonomeetrias tähistada kahe telje ühine mõõdutegur tähega λ ja ülejääva telje mõõdutegur tähega μ , siis võib tulemusi kokku võtta järgmiselt:

$$\lambda = \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left(\frac{k}{p} \right)^2}, \quad \mu = \sqrt{1 - \left(\frac{k}{p} \right)^2}.$$



Joon. 2.

Nende valemite põhjal saaks arvutada mõõdutegureid mitmesugustel suhte $\frac{k}{p}$ väärtustel ning koostada tulemustest tabeli. Praktiliseks kasutamiseks on aga tabelist hoopis kohasem samade tulemuste järgi valmistatud graafik (joonis 2), millel on peale mõõdutegurite kujutatud ka nende suhe ning ühe mõõduteguri pöördarv. Nisugune graafik annab küllalt täpsed vastused ristaksonomeetria dimeetriselise teljestikupilti puutuvaile küsimustele.

4. Olgu tarvis näiteks joonestada ristaksonomeetriselise teljestikupilti, mille mõõdutegurid täidaksid tingimust:

$$\cos \alpha : \cos \beta : \cos \gamma = 1 : 2 : 2,$$

ning märkida sellele ühikute kujutised nii, et ühiklõigu tõeline pikkus tuleks 10 cm. Ülesande lahendamine algab andmeist järelduva võrde $\mu : \lambda : \lambda = 1 : 2 : 2$ kasutamisega kujul

$\frac{\mu}{\lambda} = \frac{1}{2} = 0,5$; graafikult leitakse seejärel $\frac{\mu}{\lambda}$ -joone punkt kõrgusel 0,5. Selle punkti abstsiss osutubki vajalikuks lõiguks k , kui lõik p võetakse võrdseks graafiku ühikuga (mõlema pikkuse kandmine graafikult valmistatavale joonisele toimub mõõtesirgli abil).

Graafikult leitakse ühtlasi suhte $\frac{\mu}{\lambda}$ väärtusele 0,5 vastav mõõdutegurite paar — samalt püstjoonelt, kus asetseb saadud punkt; nii selgub, et $\lambda = 0,943$ ja $\mu = 0,471$. Järelikult telgede ühikute kujutisteks tuleb mõõta 4,71 cm, 9,43 cm ja 9,43 cm.

Teiseks näiteks olgu joonestada nisugune ristaksonomeetriselise teljestikupilt, et telgede ühikud esineksid joonisel 6 cm, 8 cm ja 8 cm pikkustena. Kuidas seesugust teljestikupilti saada ja kui pikk on sel puhul ühiklõik? Andmeist nähtub, et $\frac{\mu}{\lambda} = \frac{6}{8} = 0,75$;

graafikult leitakse, et sellele vastav $\frac{k}{p} = 0,749$ (veel kohasem on valida lõiguks p lihtsalt graafiku ühik, siis lõiguks k osutub graafikul leitud punkti abstsiss ning need lõigud määravadki valmistataval joonisel teljestikupildi). Ka on graafikult näha, et

vastav $\frac{1}{\lambda} = 1,132$; järelikult ühiklõigu pikkus sentimeetris on $1,132 \cdot 8$ ehk 9,06.

5. Et toodud diagrammi abil lihtsustub graafiline töö ainult paari sirglõigu ülekandmiseks mõõtesirkliga, siis on tulemused märksa täpsemad kui trimeetriasse kuuluvate üldiste konstruktsioonide tagajärjed. Eelnenud näiteis esinevaid numbrilisi tulemusi võimaldaks mõõdutegurite graafik pikkusühikuga 2 dm. Tavalise suurusega jooniste valmistamisel aga annab juba küllaldase täpsuse siinolev ühedetsimeetrilise ühikuga graafik.

Новые практические приёмы в диметрической ортогональной аксонометрии.

А. Хумал,

доктор физико-математических наук.

Резюме.

В диметрической ортогональной аксонометрии неуместно пользоваться общими триметрическими методами для отыскания показателей искажения (т. е. косинусов углов α , β и γ между осями и плоскостью проекций) по изображению системы координатных осей, а также и общими конструктивными приёмами изображения координатных осей по заданным коэффициентам искажения. Общие приёмы заключают в себе слишком много графической работы и измерений длин, что вредит точности результатов.

На основании тригонометрической разработки проблемы становится возможным рационализировать эту работу. Оказывается, что на все вопросы, касающиеся диметрического изображения системы координатных осей, можно сразу получить ответы из одной единственной диаграммы, дающей достаточно хорошую точность даже в случае небольшого формата.

В ортогональной аксонометрии можно вывести значения показателей искажения на основании следующих формул:

$$\cos^2 \alpha = \frac{p}{p+q} + \frac{k}{p+q} \cdot \frac{k}{p}$$

$$\cos^2 \beta = \frac{q}{p+q} + \frac{k}{p+q} \cdot \frac{k}{q}$$

$$\cos^2 \gamma = 1 - \frac{k}{p} \cdot \frac{k}{q},$$

где величины k , p и q имеют следующие значения: если на изображении одной оси отложить в обратном направлении отрезок k , то два перпендикулярных отрезка, взятых с его

конца к изображениям других осей до их пересечения будут p и q .

В случае диметрии (т. е. когда $p = q$) показатели искажения, на основании предыдущих формул, будут выражаться следующим образом:

$$\lambda = \cos \alpha = \cos \beta = \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left(\frac{k}{p}\right)^2}$$

$$\mu = \cos \gamma = \sqrt{1 - \left(\frac{k}{p}\right)^2}$$

Таблица показателей искажения λ и μ и их отношений $\frac{\mu}{\lambda}$ (при аргументе $\frac{k}{p}$) разрешает задачу отыскания показателей искажения данного диметрического изображения, а также и их отношений, и задачу изображения системы координатных осей, если дан один показатель искажения или только отношение показателей искажения.

Особенно удобной для разрешения этих задач является диаграмма показателей искажения. Графики величин λ , μ , $\frac{\mu}{\lambda}$ и $\frac{1}{\lambda}$, изображенные на общей диаграмме с абсциссою $\frac{k}{p}$, делают возможным избежать измерения длин и трудоёмких конструкций, сводя работу только на перенесение двух отрезков с чертежа на диаграмму или наоборот.

При изготовлении обыкновенных, не очень больших чертежей достаточную точность даёт диаграмма показателей искажения с единицею длины в 1 дм.; в случае же очень больших чертежей, единица длины в 2 дециметра (на диаграмме) всегда сможет гарантировать нужную точность.

Некоторые результаты аналитической теории нитевых сетей.

Ю. Нут,

действительный член Академии Наук Эстонской ССР.

Под нитевой сетью здесь понимается конечная совокупность k узлов (точек) и f нитей (отрезков линий), где каждая нить имеет концами два, обязательно различных, узла и где между парами узлов имеется не более одной нити. Возможны в сети, следовательно, и изолированные узлы. Сети, допускающие такое взаимно-однозначное отображение узлов, что и нити этим оказываются отображёнными взаимно-однозначно, топологически тождественны.

Число k называем порядком сети, f — её классом.

Ставится вопрос о характеристике сетей совокупностью численных параметров и об алгебраических признаках, дающих основу для классификации сетей. При такой постановке вопроса сеть не связывается ни с какой поверхностью; проблема носит чисто-комбинаторный, алгебраический характер. Исследование ведётся, в основном, методами алгебраического анализа.

Наивысшим возможным классом сети является $\binom{k}{2}$. Совокупность недостающих нитей и относящихся к ним узлов назовём вычетом сети. Недостающие нити сети назовём лучами вычета. В вычете изолированных узлов нет. Класс вычета (число лучей) обозначаем через \bar{f} , порядок вычета (число узлов) через \bar{k} .

Для любой сети справедливо соотношение

$$f - k + s = e, \quad (1)$$

где s (число связности) означает число изолированных друг от друга частей сети, e (избыток) — число нитей, подлежащих устранению, для разрушения всех замкнутых контуров в сети, но без нарушения её связности.

Разобьём сеть каким-либо образом на группы несмежных узлов, т. е. так, чтобы узлы одной и той же группы не имели связующих нитей. Представив себе узлы каждой группы окрашенными в особый цвет, можем выразить число возможных таких окрасок для заданной сети, при заданном числе z дозволенных красок, факториальным полиномом

$$Q(z) = \sum_{\nu=0}^{\rho} a_{\nu} z^{[k-\nu]}, \quad a_0 = 1, \quad a_{\nu} > 0, \quad \rho \leq k-1, \\ z^{[a]} = a! \binom{z}{a}. \quad (2)$$

Числа a_{ν} целы и положительны. $Q(z)$ условимся называть полиномом окраски сети, число ρ — рангом сети.

Для любой сети

$$a_1 = \bar{f}, \quad a_{k-1} = \binom{\bar{f}}{f + \bar{f}}. \quad (3)$$

Развёртывая факториальные степени, можем тот же полином представить в виде

$$Q(z) = \sum_{\mu=0}^{k-1} (-1)^{\mu} b_{\mu} \cdot z^{k-\mu}, \quad b_0 = 1, \quad b_1 = f, \quad b_{\mu} \geq 0. \quad (4)$$

Коэффициенты однозначно определяются вычетом сети, т. е. для сетей, имеющих топологически тождественные вычеты, коэффициенты a_{ν} соответственно одинаковы. Вместо ранга сети, поэтому, можно говорить и о ранге вычета. Тождественность a_{ν} ещё не обеспечивает топологической тождественности вычетов.

Для сети, соответствующей икосаэдру, имеем, в качестве примера:

$$Q(z) = z^{[12]} + 36z^{[11]} + 470z^{[10]} + 2800z^{[9]} + 7900z^{[8]} + 10008z^{[7]} + \\ + 4908z^{[6]} + 660z^{[5]} + 10z^{[4]},$$

что, после подстановки $y = z - 4$, принимает упрощённый вид:

$$z^{(4)} [y^8 + 8y^7 + 36y^6 + 90y^5 + 159y^4 + 190y^3 + 128y^2 + 48y + 10].$$

При вычислении a_ν играет важную роль операция свёртывания вычета по данному лучу, заключающаяся в том, что один (произвольный) из двух узлов, составляющих концы луча свёртывания, выбрасывается целиком, у другого же узла сохраняются лишь те лучи, которые совместно с лучом свёртывания образовывали треугольники. При свёртывании ранг вычета обязательно снижается, но не более, чем на 2 единицы. Ранг вычета выражается наибольшим числом допустимых в вычете последовательных свёртываний. Коэффициенты a_ν выражают результаты определённых „инвариантных операций“ над вычетом, базирующихся на последовательных свёртываниях.

Вычет назовём максимальным, когда класс его наивысший, т. е. равен $\binom{k}{2}$. Аналогичное относится к подвычетам, т. е. каким-либо частям вычета.

Пусть $l_{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_\lambda}$ означает число возможных разбилов вычета на максимальные подвычеты порядков $\alpha_1 + 1, \alpha_2 + 1, \dots, \alpha_\lambda + 1$ соответственно. Тогда

$$a_\nu = \sum_{\lambda=1}^{\nu} l_{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_\lambda}, \quad \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_\lambda = \nu, \\ \alpha_1 \geq 1, \dots, \alpha_\lambda \geq 1, \lambda \leq \bar{k} - \nu. \tag{5}$$

Наименьшее число ω пучков лучей, исчерпывающих все лучи вычета, назовём весом вычета. Узлы, составляющие вершины таких ω пучков, совместно с совокупностью лучей, соединяющих между собой лишь эти узлы, назовём ядром вычета.

Ранг вычета не превышает его веса. Ранг вычета выше ранга его ядра.

Коэффициенты b_μ в (4) также целочисленны. Они определяются структурой самой сети. Пусть $\delta_\varepsilon^\varphi$ означает число подсетей класса φ и избытка ε в заданной сети. Тогда

$$b_\mu = \sum_{\varepsilon=0}^{\binom{\mu}{2}} (-1)^\varepsilon \delta_\varepsilon^{\mu+\varepsilon}. \quad (6)$$

Коэффициенты a_ν и b_μ связаны соотношениями:

$$a_\nu = \sum_{\mu=0}^{\nu} (-1)^\mu P_{\nu-\mu}^{k-\mu} b_\mu, \quad b_\mu = \sum_{\nu=0}^{\mu} (-1)^\nu S_{\mu-\nu}^{k-\nu} a_\nu, \quad (7)$$

где целые неотрицательные количества $P_\alpha^\lambda, S_\alpha^\lambda$ означают наивысшие предельные значения коэффициентов a_α и b_α соответственно в сети порядка $k=\lambda$.

Предельное значение $a_\nu = P_\nu^k$ достигается, когда вычет является максимальным, предельное же значение $b_\mu = S_\mu^k$ когда сама сеть максимальна, т. е. - когда $f = \binom{k}{2}$.

Количества P_α^λ и S_α^λ могут быть последовательно вычислены при помощи разностных формул

$$\begin{aligned} P_\alpha^\lambda &= P_{\alpha-1}^{\lambda-1} + (\lambda - \alpha) P_{\alpha-1}^{\lambda-1} \\ S_\alpha^\lambda &= S_{\alpha-1}^{\lambda-1} + (\lambda - 1) S_{\alpha-1}^{\lambda-1}, \end{aligned} \quad (8)$$

если учесть ещё, что

$$P_0^\lambda = S_0^\lambda = 1 \quad \text{при любом } \lambda$$

$$P_\lambda^\lambda = S_\lambda^\lambda = 0 \quad \text{при } \lambda \text{ отличном от нуля.}$$

Числа P_α^λ и S_α^λ тесно связаны с биномиальными коэффициентами. Из большого числа тождественных связей особо важную роль играют следующие:

$$\sum_{\nu=0}^{\mu} (-1)^{\nu} S_{\mu-\nu}^{\lambda-\nu} P_{\nu}^{\lambda-1} = \binom{\lambda-1}{\nu},$$

$$\sum_{\mu=0}^{\nu} (-1)^{\mu} P_{\nu-\mu}^{\lambda-\mu} \binom{\tau}{\mu} = \sum_{\mu=0}^{\nu} (-1)^{\mu} P_{\nu-\mu}^{\lambda-\mu-1} \binom{\tau-\lambda-\mu}{\mu}. \quad (9)$$

В случае односвязной сети верхним предельным значением a_{ν} является уже P_{ν}^{k-1} .

Из формул (7) и (6), в виду $a_{\nu} \geq 0$, $b_{\mu} \geq 0$, вытекает ряд неравенств, ограничивающих значения структурных параметров δ_{ξ}^{φ} сети.

Среди различных типов сетей особое внимание привлекают такие сети, для которых

$$f = na + \binom{n+1}{2}, \quad a = k - n - 1, \quad 0 < n \leq k - 1, \quad (10)$$

когда, притом, в каждой подсети порядка n и класса φ соблюдено добавочное требование

$$\varphi \leq nk - \binom{n+1}{2} \quad \text{при } k \geq n. \quad (11)$$

Условимся называть такие сети регулярными сетями степени n . Насыщенные нитями эйлеровые сети являются частными подслучаями этого типа, именно регулярными сетями степени $n = 3$. Среди регулярных сетей третьей степени, однако, имеются и сети, не принадлежащие к эйлеровому типу. Условие (11) назовём условием регулярности.

Регулярная сеть степени n всегда односвязна, класс узла регулярной сети (т. е. число нитей у этого узла) не ниже n . Избыток регулярной сети степени n порядка k равен классу регулярной сети степени $n-1$, порядка $k-1$. Вычет регулярной сети степени n имеет вес не ниже $a = k - n - 1$.

Если k_{λ} означает число узлов класса λ , то для регулярной сети степени n

$$\sum (\lambda - 2n) k_{\lambda} + n(n+1) = 0,$$

что представляет обобщение формулы, данной Хивудом для насыщенных эйлеровых сетей.

Наивысшим пределом числа треугольников в регулярной сети ступени n является

$$\binom{n}{2} a + \binom{n+1}{3}.$$

Если этот предел действительно достигается, то регулярную сеть условимся называть стандартной. Для любой ступени n действительно существуют как стандартные, так и нестандартные регулярные сети.

Условимся именовать сеть порядка k , содержащую наибольшее допустимое число нитей, симплексом ступени $k-1$, придав известному топологическому термину несколько ограниченное содержание; симплекс представляет простейший частный случай стандартной сети.

Пусть в стандартной сети ступени n содержатся, в качестве подсетей, ровно σ_ν симплексов ступени ν . Тогда

$$\sigma_\nu = \binom{n}{\nu} a + \binom{n+1}{\nu+1}, \quad a = k - n - 1, \quad (12)$$

при любом $\nu \geq 0$. Для $\nu = 0$ получаем число узлов k , для $\nu = 1$ число нитей f . Из (12) вытекает для стандартной сети

$$\sum_{\nu=0}^n (-1)^\nu \sigma_\nu = 1. \quad (13)$$

Для стандартной сети ступени n справедлива теорема:

В стандартной сети ступени n имеется не менее двух узлов класса n , причём все такие узлы обязательно попарно несмежны, если только сама сеть не вырождается в симплекс.

Из этого предложения, аналитическое доказательство которого довольно кропотливо, при учёте других свойств, вытекает как следствие, что ранг любой стандартной сети ступени n равен $a = k - n - 1$.

Это, в частности, означает, что стандартные эйлеровы сети окрашиваемы четырьмя красками. Следует, однако, помнить, что в общем случае насыщенная эйлерова сеть не обязана быть стандартной, а является лишь регу-

лярной. Имеются типы регулярных сетей, ранг которых ниже a .

Сети с окрашенными узлами могут быть интерпретируемы как системы объединённых определёнными связями неоднородных элементов, например, как молекулы химических соединений, или же, как ядра атомов. В частности, молекула, состоящая из четырёх элементов H, C, N, O, отображается какой-либо сетью ранга $k=4$. Притом сеть характеризует лишь топологическую связанность этих атомов, допуская произвольные метрические их перемещения.

Исследования регулярных сетей, отличающихся от стандартного типа, автором продолжаются.

Метод суммирования Лё-Пуа и его применения.

Г. Кангро,

кандидат физико-математических наук.

Ряд $\sum u_n$ называется суммируемым в смысле Лё-Пуа¹ или просто B_α -суммируемым, если сходится интеграл

$$\int_0^{\infty} e^{-x} U(x^\alpha) dx,$$

где $U(t)$ означает ассоциированную функцию ряда $\sum u_n$:

$$U(t) = \sum \frac{u_n t^n}{|n\alpha|} \quad (\alpha > 0).$$

В частном случае, когда $\alpha=1$, метод B_α Лё-Пуа сводится к методу B Бореля².

В дальнейшем расширим метод B_α на двойные ряды, введя вместе с тем понятие о порядке суммируемости, имеющее большое значение в теории расходящихся рядов, и используем результаты в применении к двойным степенным рядам как к сходящимся, так и к расходящимся.

1. Пусть, с одной стороны, α, α_1 будут два положительных числа, обратные значения которых обозначим соответственно через β, β_1 , т. е. $\beta = \frac{1}{\alpha}$, $\beta_1 = \frac{1}{\alpha_1}$, и, с другой стороны, λ, λ_1 — два действительных числа, удовлетворяющих условиям

$$\lambda < \beta, \quad \lambda_1 < \beta_1.$$

Рассмотрим в связи с данным двойным рядом

$$(1) \quad \sum_{n, m} u_{nm}$$

степенной ряд

$$U_{\lambda\lambda_1}(t, t_1) = \sum_{n, n_1=0}^{\infty} \frac{u_{nn_1} t^{n-\lambda} t_1^{n_1-\lambda_1}}{|(n-\lambda)\alpha| |(n_1-\lambda_1)\alpha_1|},$$

по отношению к которому предположим, что он, будучи сходящимся в окрестности нулевой точки $t=0, t_1=0$, представляет при $t > 0, t_1 > 0$ голоморфную функцию $U_{\lambda\lambda_1}(t, t_1)$, которую назовём ассоциированной функцией порядка λ, λ_1 ряда (1).

Мы говорим, что ряд (1) суммируем в смысле Лё-Пуа порядка λ, λ_1 , или просто $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ -суммируем, если интеграл

$$(2) \quad \int_0^l \int_0^{l_1} e^{-x-x_1} U_{\lambda\lambda_1}(x^\alpha, x_1^{\alpha_1}) dx dx_1$$

при $l, l_1 \rightarrow +\infty$ ограничен и имеет конечный предел. Этот предел, т. е. несобственный интеграл

$$u = \int_0^\infty \int_0^\infty e^{-x-x_1} U_{\lambda\lambda_1}(x^\alpha, x_1^{\alpha_1}) dx dx_1$$

назовём $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ -суммой ряда (1) и обозначим $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1} u_{nn_1} = u$ или $B_{\alpha\alpha_1}^{|\lambda\lambda_1|} = u$, в зависимости от того, сходится рассматриваемый несобственный интеграл просто или абсолютно.

В случае, если интеграл (2) при $l, l_1 \rightarrow +\infty$ ограничен, без того чтобы обязательно иметь предел, мы говорим об $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ -ограниченности ряда (1).

Нетрудно убедиться, что две ассоциированные функции $U_{\lambda\lambda_1}$ и $U_{\mu\mu_1}$, принадлежащие к одним и тем же α, α_1 , связаны между собою формулой

$$U_{\mu\mu_1}(x^\alpha, x_1^{\alpha_1}) = D_{xx_1}^{\nu\nu_1} U_{\lambda\lambda_1}(x^\alpha, x_1^{\alpha_1}),$$

$$\nu = (\mu - \lambda)\alpha, \quad \nu_1 = (\mu_1 - \lambda_1)\alpha_1,$$

где $D_{xx_1}^{\nu\nu_1}$ означает общий дифференцирующий оператор Ри-

мана³, в котором индексы ν, ν_1 указывают порядок частной производной по переменным x, x_1 .

Основываясь на этом соотношении, можно показать, что в случае фиксированных $a, a_1, B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ -сумма ряда (1) не зависит от порядка суммирования λ, λ_1 , при этом, если $\mu \leq \lambda, \mu_1 \leq \lambda_1$, то из суммируемости порядка λ, λ_1 следует суммируемость порядка μ, μ_1 , т. е. метод $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ оказывается тем эффективнее, чем ниже порядок суммирования λ, λ_1 .

Наоборот, по суммируемости меньшего порядка можно заключить о суммируемости большего порядка только в случае выполнения известных дополнительных условий. Так, например, из суммируемостей порядков $\lambda - \beta, \lambda_1$ и $\lambda, \lambda_1 - \beta_1$ следует суммируемость порядка λ, λ_1 тогда, и только тогда, если ассоциированная функция $U_{\lambda - \beta, \lambda_1 - \beta_1}(t, t_1)$ при $t, t_1 \rightarrow +\infty$ ограничена и имеет пределом нуль.

Применяя теорему Мура⁴ о регулярности линейных методов суммирования двойных рядов, можно констатировать регулярность метода $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$, т. е. $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ -суммируемость вместе с сохранением суммы каждого сходящегося ряда, частные суммы которого ограничены. Условие ограниченности частных сумм здесь существенно, так как, например, сходящийся с неограниченными частными суммами ряд

$$\begin{array}{c} 1+1+1+1+\dots \\ +1-1-1-1-\dots \\ +1-1+0+0+\dots \\ +1-1+0+0+\dots \\ \dots \end{array}$$

где все члены, кроме двух первых строк и столбцов, — нули, не суммируем ни при каких a, a_1 или λ, λ_1 .

2. Зафиксировав параметры a, a_1 , но допустив изменение порядка суммируемости λ, λ_1 , станет возможным оперирование с расходящимися, но суммируемыми какого-либо порядка

рядами, согласно общим известным правилам теории сходящихся рядов, или иными словами: способ $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ осуществляет теорию расходящихся двойных рядов согласно Борелю. Принимая во внимание, что основной проблемой теории расходящихся рядов является, с одной стороны, вопрос умножения численных рядов и, с другой стороны, вопрос дифференцирования степенных рядов, мы можем объединить все относящиеся к этому вопросу основные результаты в две следующие теоремы:

Теорема 1. Пусть ряд $\sum w_{nn_1}$ представляет произведение Коши рядов $\sum u_{nn_1}$ и $\sum v_{nn_1}$, так что

$$w_{nn_1} = \sum_{k, k_1=0}^{n, n_1} u_{kk_1} v_{n-k, n_1-k_1},$$

тогда из равенств

$$B_{\alpha\alpha_1}^{|\lambda\lambda_1|} u_{nn_1} = u, \quad B_{\alpha\alpha_1}^{|\mu\mu_1|} v_{nn_1} = v$$

следует равенство

$$B_{\alpha\alpha_1}^{|\lambda + \mu - \beta, \lambda_1 + \mu_1 - \beta_1|} w_{nn_1} = uv.$$

Теорема 1 действительна и тогда, если один из перемножаемых рядов не абсолютно суммируем, но в этом случае можно говорить только о простой суммируемости ряда-произведения $\sum w_{nn_1}$. В случае неабсолютной суммируемости обоих умножаемых рядов, умножение допустимо лишь тогда, когда ряд-произведение окажется суммируемым некоторого порядка — допустимо в том смысле, что между соответственными суммами u , v , w сохраняется соотношение $w = uv$.

Пусть, наконец, $\sum u_n$ и $\sum v_n$ будут два обыкновенные ряда, суммируемые в смысле Лё-Руа какого-либо порядка⁵, именно

$$B_{\alpha}^{\lambda} u_n = u, \quad B_{\alpha_1}^{\lambda_1} v_{n_1} = v,$$

тогда полученный при почленном умножении этих рядов двойной ряд $\sum u_n v_{n_1}$ будет суммируемым по методу $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$, причём

$$B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1} u_n v_{n_1} = uv.$$

Теорема 2. Если степенной ряд

$$(3) \quad \sum_{n, n_1=0}^{\infty} u_{nn_1} z^n z_1^{n_1}$$

$B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ -ограничен в точке ζ, ζ_1 , тогда он $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ -суммируем и одновременно $B_{\alpha\alpha_1}^{|\lambda-\beta, \lambda_1-\beta_1|}$ -суммируем при тех z, z_1 , где $z \in (0, \zeta)$, $z_1 \in (0, \zeta_1)$, представляя в этой области неограниченно дифференцируемую функцию

$$u(z, z_1) = z^\lambda z_1^{\lambda_1} \int_0^\infty \int_0^\infty e^{-x-x_1} U_{\lambda\lambda_1}(zx^\alpha, z_1x_1^{\alpha_1}) dx dx_1,$$

производные которой можно вычислить, соответственно дифференцируя почленно ряд (3).

Для суммируемости некоторой производной от ряда (3) в крайних точках $z=0, z_1 \in (0, \zeta_1)$ и $z \in (0, \zeta), z_1=0$, необходимо и достаточно, чтобы все строки ряда (3), порядковый индекс которых не превышает порядка производной относительно z , были $B_{\alpha_1}^{\lambda_1}$ -суммируемы в точке z_1 и чтобы все столбцы, порядковый индекс которых не превышает порядка производной относительно z_1 , были B_α^λ -суммируемы в точке z .

В частности, ряд (3) суммируем вместе со всеми своими производными в рассматриваемых крайних точках тогда, и только тогда, если все строки ряда (3) являются $B_{\alpha_1}^{\lambda_1}$ -суммируемыми и столбцы — B_α^λ -суммируемыми. В таком случае мы говорим, что ряд (3) комплетно $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ -суммируем. Ком-

плетная суммируемость сохраняется как при умножении, так и при дифференцировании степенных рядов.

3. Так как, согласно теореме 2, $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ -ограниченность ряда (3) в точке ζ, ζ_1 обуславливает $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ -суммируемость в точках $z \in (0, \zeta), z_1 \in (0, \zeta_1)$, то на каждом двух соответственно из нулевых точек плоскостей переменных z, z_1 исходящих полупрямых

$$\arg z = \theta, \arg z_1 = \theta_1,$$

которые мы в дальнейшем будем называть просто полупрямыми θ, θ_1 , находятся пары точек

$$\zeta_\alpha^\lambda = r_\alpha^\lambda e^{i\theta}, \zeta_{\alpha_1}^{\lambda_1} = r_{\alpha_1}^{\lambda_1} e^{i\theta_1},$$

так что ряд (3) является при $z = r e^{i\theta}, z_1 = r_1 e^{i\theta_1}$ $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ -суммируемым, если $r < r_\alpha^\lambda, r_1 < r_{\alpha_1}^{\lambda_1}$, но не является $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ -суммируемым, если $r > r_\alpha^\lambda, r_1 > r_{\alpha_1}^{\lambda_1}$. Вообще, каждой паре полупрямых θ, θ_1 соответствует бесконечное множество числовых пар $r_\alpha^\lambda, r_{\alpha_1}^{\lambda_1}$, которые назовём парами радиусов суммируемости порядка λ, λ_1 ряда (3).

Можно показать, что принадлежащие к амплитудам θ, θ_1 пары радиусов суммируемости $r_\alpha^\lambda, r_{\alpha_1}^{\lambda_1}$ полностью определены поведением ассоциированной функции $U_{\lambda-\beta, \lambda_1-\beta_1}$ ряда (3) на полупрямых θ, θ_1 . Именно, оказывается, что для $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ -суммируемости степенного ряда условие, чтобы ассоциированная функция $U_{\lambda-\beta, \lambda_1-\beta_1}(\zeta t, \zeta_1 t_1)$ была при $t, t_1 \rightarrow +\infty$ ограниченной и имела пределом нуль, не только необходимо, но и достаточно, если ограничиться теми точками z, z_1 , где $z \in (0, \zeta), z_1 \in (0, \zeta_1)$. Отсюда вытекает следующая теорема:

Теорема 3. Пара чисел $r_\alpha^\lambda, r_{\alpha_1}^{\lambda_1}$ представляет относящуюся к амплитудам θ, θ_1 пару радиусов

суммируемости тогда и только тогда, если для каждого $\varepsilon, \varepsilon_1 > 0$ выполнено условие

$$(4) \quad \log |U_{\lambda-\beta, \lambda_1-\beta_1}(x e^{i\theta}, x_1 e^{i\theta_1})| \begin{cases} < [r_{\alpha}^{\lambda} - \beta + \varepsilon] x^{\beta} + [(r_{\alpha_1}^{\lambda_1}) - \beta_1 + \varepsilon_1] x_1^{\beta_1} \\ > [r_{\alpha}^{\lambda} - \beta - \varepsilon] x^{\beta} + [(r_{\alpha_1}^{\lambda_1}) - \beta_1 - \varepsilon_1] x_1^{\beta_1}, \end{cases}$$

где верхнее неравенство должно удовлетворяться всеми значениями $x, x_1 > 0$, для которых сумма $x+x_1$ достаточно велика, а нижнее неравенство — только известными значениями $x, x_1 > 0$, для которых сумма $x+x_1$ будет произвольно большой.

Пары радиусов суммируемости $r_{\alpha}^{\lambda}, r_{\alpha_1}^{\lambda_1}$ определяют область суммируемости ряда (3), в которой, согласно теоремам 1 и 2, применима теория расходящихся рядов. В частности, если какой-нибудь $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ -суммируемый степенной ряд формально удовлетворяет некоторому алгебраическому дифференциальному уравнению в частных производных

$$F\left(u, \frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial u}{\partial z_1}, \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}, \dots\right) = 0,$$

коэффициентами которого являются разлагаемые в суммируемые степенные ряды функции от z, z_1 , то $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ -сумма этого ряда представляет действительное решение данного дифференциального уравнения в общей части областей суммируемости ряда и коэффициентов дифференциального уравнения.

Отыскивая, например, решение $u(z, z_1)$ дифференциального уравнения

$$z z_1 \frac{\partial u}{\partial z} - u + \frac{1}{1-z} = 0,$$

удовлетворяющее условию $u(0, z_1) = 1$, получим, применяя метод неопределённых коэффициентов, всюду расходящийся степенной ряд

$$\sum_{n, n_1=0}^{\infty} n^{n_1} z^n z_1^{n_1},$$

который окажется при $a=2$, $a_1=1$, $\lambda=0$, $\lambda_1=0$ суммируемым к сумме

$$u(z, z_1) = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} e^{-x-x_1} \operatorname{ch}(x \sqrt{ze^{z_1 x_1}}) dx dx_1 = \\ = \int_0^{\infty} \frac{e^{-x_1} dx_1}{1 - ze^{z_1 x_1}} = \int_0^1 \frac{dt}{1 - zt^{-z_1}}.$$

При этом, например, одной, принадлежащей к амплитудам $\Theta=0$, $\Theta_1=\pi$, парой радиусов суммируемости, где функция $u(z, z_1)$ представляет решение дифференциального уравнения, является пара

$$r_2^0 = 1, \quad r_1^0 = \infty.$$

4. Можно показать, что $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ -сумма ряда (3) $u(z, z_1)$, будучи, согласно теореме 2, неограниченно дифференцируемой на сопряжённых радиусах суммируемости r_{α}^{λ} , $r_{\alpha_1}^{\lambda_1}$, окажется аналитической функцией. Именно, приведём в соответствие каждой точке $\zeta = \rho e^{i\theta}$ замкнутую линию C_{ζ} , проходящую через точку ζ и имеющую уравнение⁶

$$r^{\beta} = \rho^{\beta} \cos \beta(\varphi - \theta) \begin{cases} |\varphi - \theta| \leq \frac{\pi}{2} \alpha, & \text{если } \alpha \leq 2 \\ |\varphi - \theta| \leq \pi, & \text{если } \alpha > 2, \end{cases}$$

где r, φ означают текущие полярные координаты. Обозначив буквой D_{ζ} ограниченную этой линией область, в которой осуществлено в случае $\alpha > 2$ для всюду расходящегося ряда (3) сечение $|\varphi - \theta| = \pi$, сформулируем следующую теорему, которая будет основой применения метода $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ к сходящимся степенным рядам.

Теорема 4. Если степенной ряд (3) $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ -ограничен в точке ζ, ζ_1 , то его $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ -сумма представляет

аналитическую функцию, голоморфную в области $z \in D_\zeta, z_1 \in D_{\zeta_1}$. Наоборот, если степенной ряд (3) представляет аналитическую функцию, голоморфную при $z \in D_\zeta + C_\zeta, z_1 \in D_{\zeta_1} + C_{\zeta_1}$, то этот ряд будет $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ -суммируемым какого угодно порядка λ, λ_1 в точке ζ, ζ_1 .

Принимая во внимание регулярность метода $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$, по теореме 4 следует, что, в случае сходящегося степенного ряда, метод $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ приводит к аналитическому продолжению функции, представленной степенным рядом, вдоль радиусов области суммируемости. Кроме того, в случае сходящегося степенного ряда, пары радиусов суммируемости $r_\alpha^\lambda, r_{\alpha_1}^{\lambda_1}$, принадлежащие к амплитудам θ, θ_1 , будучи независимыми от порядка суммируемости λ, λ_1 , определены условием, чтобы аналитическая функция, представленная степенным рядом, была голоморфной в области $D_{\zeta_\alpha}^\lambda, D_{\zeta_{\alpha_1}}^{\lambda_1}$, где $\zeta_\alpha^\lambda = r_\alpha^\lambda e^{i\theta}$, $\zeta_{\alpha_1}^{\lambda_1} = r_{\alpha_1}^{\lambda_1} e^{i\theta_1}$, и имела по меньшей мере одну особую точку на краю той области. В частности, пара радиусов суммируемости $r_\alpha^\lambda, r_{\alpha_1}^{\lambda_1}$ совпадает с какой-нибудь парой радиусов сходимости тогда, и только тогда, если точка $r_\alpha^\lambda e^{i\theta}, r_{\alpha_1}^{\lambda_1} e^{i\theta_1}$ сама окажется особой.

Как показывает вычисление, функция $U_{\lambda\lambda_1}(t, t_1)$, ассоциированная с сходящимся степенным рядом, представляет целую функцию нормального типа с порядковой парой β, β_1 , при этом, принадлежащие к этой порядковой паре типовые пары σ, σ_1 выражаются через радиусы сходимости R, R_1 степенного ряда следующим образом:

$$(5) \quad \sigma = R^{-\beta}, \quad \sigma_1 = R_1^{-\beta_1}.$$

Приняв в неравенствах (4) $r_\alpha^\lambda = R$, $r_{\alpha_1}^{\lambda_1} = R_1$, сформулируем, опираясь на последние результаты, следующую теорему.

Теорема 5. Точка $Re^{i\theta}$, $R_1e^{i\theta_1}$ пары окружностей сходимости степенного ряда является особой тогда, и только тогда, если числа σ, σ_1 , определённые формулами (5), являются некоторой, принадлежащей к порядковой паре β, β_1 , типовой парой возрастания ассоциированной целой функции данного степенного ряда на полупрямых Θ, Θ_1 ,

Наоборот, те полупрямые, для которых одной типовой парой возрастания целой функции $G(t, t_1) = \sum a_{nn_1} t^n t_1^{n_1}$ нормального типа порядка ϱ, ϱ_1 будет σ, σ_1 , направлены в особые точки степенного ряда

$$\sum |(n - \lambda) a_{n_1} a_{nn_1} z_1^{n_1} z_1^{n_1}| \quad \left(a = \frac{1}{\varrho}, a_1 = \frac{1}{\varrho_1} \right),$$

лежащие на той паре окружностей сходимости, радиусы R, R_1 которых удовлетворяют соотношениям (5). Так как в случае целой функции $G(t) = \sum a_n t^n$ одной переменной t порядка ϱ тип возрастания на полупрямой Θ , исходящей из нулевой точки, задан индикатрисой возрастания⁸

$$h(\Theta) = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\log |G(xe^{i\Theta})|}{x^\varrho},$$

то те значения Θ , при которых индикатриса имеет наибольшие значения, определены полупрямыми, ведущими в особые точки окружности сходимости степенного ряда

$$\sum |(n - \lambda) a_n z^n| \quad \left(a = \frac{1}{\varrho} \right).$$

В частном случае, когда $a = 1$, $\lambda = 0$, получим одну из известных теорем Поля⁹.

5. Сделанное в начале настоящей статьи ограничение относительно порядка суммирования λ, λ_1 , а именно $\lambda < \beta$, $\lambda_1 < \beta_1$, можно отбросить, если:

1° — определить ассоциированную функцию $U_{\lambda\lambda_1}$ ряда (1) следующим образом:

$$U_{\lambda\lambda_1}(t, t_1) = \sum_{n, n_1=p, p_1}^{\infty} \frac{u_{nn_1} t^n - \lambda t_1^{n_1} - \lambda_1}{(n-\lambda)\alpha (n_1-\lambda_1)\alpha_1},$$

где p, p_1 наименьшие неотрицательные целые числа, удовлетворяющие неравенствам $\lambda - p < \beta$, $\lambda_1 - p_1 < \beta_1$;

2° — потребовать, кроме выполнения выдвинутых в отношении интеграла (2) условий, $B_{\alpha_1}^{\lambda_1}$ -суммируемость p первых строк ряда (1) и B_{α}^{λ} -суммируемость p_1 первых столбцов ряда (1);

3° — понимать под $B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ -суммой ряда (1) интеграл

$$\int_0^{\infty} \int_0^{\infty} e^{-x-x_1} U_{\lambda'\lambda'_1}(x^{\alpha}, x_1^{\alpha_1}) dx dx_1,$$

где $\lambda' \leq \lambda$, $\lambda' < \beta$, $\lambda'_1 \leq \lambda_1$, $\lambda'_1 < \beta_1$.

Для расширенного понятия о порядке суммирования применимы без изменения теоремы 2—5, в то время как теорема 1 модифицируется, например для случая $\mu \geq \beta$, λ ; $\lambda_1, \mu_1 < \beta_1$, следующим образом:

из равенств

$$B_{\alpha\alpha_1}^{|\lambda\lambda_1|} u_{nn_1} = u, \quad B_{\alpha\alpha_1}^{|\mu\mu_1|} v_{nn_1} = v$$

следует для произвольного $\varepsilon > 0$ равенство

$$B_{\alpha\alpha_1}^{|\lambda-\varepsilon, \lambda_1+\mu_1-\beta_1|} w_{nn_1} = uv,$$

если только в обоих умножаемых рядах $p+q$ первых строк $B_{\alpha}^{|\lambda|}$ -суммируемы, где p, q наименьшие неотрицательные целые числа, определённые условиями $\lambda - p < \beta$, $\mu - q < \beta$.

Под конец заметим, что выводы настоящей статьи переносимы на какие угодно многократные ряды. Например, тройной ряд

(6)

$$\sum u_{n_1 n_2}$$

назовём $B_{\alpha\alpha_1\alpha_2}^{\lambda\lambda_1\lambda_2}$ -суммируемым, если интеграл

$$\int_0^l \int_0^{l_1} \int_0^{l_2} e^{-x-x_1-x_2} U_{\lambda\lambda_1\lambda_2}(x^\alpha, x_1^{\alpha_1}, x_2^{\alpha_2}) dx dx_1 dx_2$$

при $l, l_1, l_2 \rightarrow +\infty$ ограничен и имеет конечный предел, причём

$$U_{\lambda\lambda_1\lambda_2}(t, t_1, t_2) = \sum_{n, n_1, n_2 = p, p_1, p_2}^{\infty} \frac{u_{nn_1n_2} t^{n-\lambda} t_1^{n_1-\lambda_1} t_2^{n_2-\lambda_2}}{|(n-\lambda)\alpha| |(n_1-\lambda_1)\alpha_1| |(n_2-\lambda_2)\alpha_2|}$$

$$\lambda - p < \frac{1}{\alpha}, \quad \lambda_1 - p_1 < \frac{1}{\alpha_1}, \quad \lambda_2 - p_2 < \frac{1}{\alpha_2},$$

и если в ряде (6) p первых подряд $\sum_{n_1, n_2} u_{nn_1n_2}$

$B_{\alpha_1\alpha_2}^{\lambda_1\lambda_2}$ -суммируемы, p_1 первых подряд $\sum_{n, n_2} u_{nn_1n_2}$

$B_{\alpha\alpha_2}^{\lambda\lambda_2}$ -суммируемы и p_2 первых подряд $\sum_{n, n_1} u_{nn_1n_2}$

$B_{\alpha\alpha_1}^{\lambda\lambda_1}$ -суммируемы.

Цитированная литература:

- 1 É. Le Roy, Annales de la Fac. des Sciences de Toulouse 2 (2), 405 (1900).
- 2 É. Borel, Leçons sur les séries divergentes, 122 (1928).
- 3 B. Riemann, Ges. math. Werke, 362 (1892).
- 4 C. Moore, Summable series and convergence factors, 22 (1938).
- 5 Г. Кангро, Учёные записки Тартуского Гос. Унив. 3 (Мат. науки), 3 (1946).
- 6 G. Kangro, Acta et Comm. Univ. Tartuensis 37 (A), 62 (1942).
- 7 L. Baumgartner, Monatshefte für Math. und Physik 25, 35 (1914).
- 8 E. Phragmén — E. Lindelöf, Acta math. 31, 392 (1908).
- 9 G. Polya, Math. Zeitschrift 29, 587 (1929).

Рассеяние света в атмосфере солнца.

А. Киппер,

действительный член Академии Наук Эстонской ССР.

1. Введение.

Теоретическая астрофизика принуждена зачастую в своих исследованиях изучать проблемы, недоступные прямой проверке путём наблюдения. Вспомним, например, вопросы о внутреннем состоянии звёзд, где существенная часть работы состоит в теоретической обработке отдельных звёздных моделей. Однако, оставаясь на этом уровне, теоретическая астрофизика стала бы бесплодной и выродилась бы в однообразное решение задач для упражнения. Теоретические вычисления необходимо привести в связь с наблюдениями действительности и прийти посредством них к решению вопроса, по какому пути должна следовать дальнейшая работа. Для этого следует использовать все возможности, прежде всего — использовать наблюдения над отдельными небесными телами, поскольку это возможно с учётом возникающих технических затруднений.

Лучше всего доступны прямому наблюдению внешние оболочки небесных тел. Здесь заключается главная точка соприкосновения между параметрами внутренней структуры звезды и данными, вытекающими из наблюдений. Исследование звёздных атмосфер является с этой точки зрения одновременно и изучением краевых условий уравнений, определяющих внутреннее состояние звёзд. Это не узкая, обособленно стоящая область исследования: она составляет одно из звеньев в цепи изучения звезды как целого.

Исследование звёздных атмосфер является работой, базирующейся преимущественно на их спектроскопических характеристиках. Но в одном частном случае, а именно в случае ближайшей к нам неподвижной звезды — Солнца, к этому прибавляются ещё данные относительно распределения яркости на видимом диске этого небесного тела, а также различные наблюдаемые в телескоп и измеримые поверхностные образования и пр. Вдобавок к этому при изучении Солнца, благодаря большой яркости, возможно применять спектрографы с мощной дисперсией, достигая здесь исключительной точности. Изучая Солнце, исследователь располагает максимумом данных для всестороннего изучения его атмосферы.

Характер спектра звёзд и Солнца определяется целым рядом физических параметров, которые описывают структуру атмосферы звезды. Назовём прежде всего температуру, давление, химический состав атмосферы и пр. Располагая теорией возникновения и структуры спектра звезды, мы в состоянии описать более подробно и состояние атмосферы этой звезды. Так, на основании относительной интенсивности спектральных линий, их формы и т. д. получают данные относительно химического состава атмосферного вещества. Упомянутая проблема, имеющая большое астрофизическое и космогоническое значение, была предметом изучения многих видных астрофизиков. Но для определения химического состава солнечной атмосферы по спектральным линиям необходимо основательно знать так называемый механизм непрерывного поглощения излучения. Поэтому, в фундаментальной работе, посвящённой химизму солнечной атмосферы „On the Chemical Composition of the Solar Atmosphere“, автор этой работы, Б. Стремгрен, посвятил особое внимание проблеме коэффициента непрерывного поглощения¹.

Достаточно разрежённый газ, состоящий из какого-нибудь одного элемента, способен, вообще говоря, поглощать излучение, длина волны которого соответствует какой-нибудь спектральной линии этого элемента. Спектральные линии группируются отдельными сериями, причём к каждой серии

примыкает с коротковолнового края так называемый спектральный континуум (например, к бальмеровской серии примыкает бальмеровский континуум). Таким образом, мы можем различать линейчатое поглощение и сплошное поглощение у данного газа. Если мы имеем смесь нескольких газов или если данный газ находится в нескольких энергетических состояниях, то спектральные континуумы покрывают почти сплошь весь спектр, и мы можем в случае газовой смеси говорить в одной и той же части спектра и о сплошном, и о линейчатом поглощении. Второе обуславливает появление спектральных линий, тогда как первое, т. е. сплошное поглощение, определяет структуру фона спектра. При этом структура спектральных линий находится в зависимости от непрерывного поглощения излучения в данной области спектра. Как заметил впервые Э. Милн, контраст спектральных линий тем больше, чем меньше коэффициент непрерывного поглощения². По этой идее возможно из контраста спектральных линий вычислить коэффициент непрерывного поглощения для атмосферы данного небесного тела.

Мощное развитие теории атома за последние десятилетия даёт астрофизикам средства для теоретического вычисления коэффициента непрерывного поглощения. Результаты вычисления показывают, что способность звёздной материи поглощать излучение определяется находящимися в химическом составе этой материи водородом, кислородом и металлами. В условиях солнечной атмосферы не следует принимать во внимание водород в качестве фактора, обуславливающего величину коэффициента поглощения, так как вследствие господствующей относительно низкой температуры, все атомы водорода находятся там на самом низшем энергетическом уровне и лаймановский континуум находится в далёкой ультрафиолетовой части. Металлы, влияющие на величину коэффициента непрерывного поглощения, находятся в атмосфере Солнца в небольшом количестве, тогда как водород является главной составной частью солнечной атмосферы. В зависимости от этого, теоретически вычисленный

коэффициент поглощения оказывается у Солнца относительно малым, что должно выражаться в виде исключительной контрастности спектральных линий. Фактические оценки контрастности спектральных линий показывают обратное. Получается, что теоретически вычисленный коэффициент поглощения приблизительно в 10 раз меньше действительного.

Б. Стремгрен предложил в вышеуказанной работе отнести большую величину коэффициента поглощения в атмосфере Солнца на счёт отрицательных ионов водорода. Он показал, что в условиях солнечной атмосферы число отрицательных ионов водорода достаточно для увеличения коэффициента поглощения до наблюдаемой величины. При этом он был однако принуждён допустить подавляющий перевес водорода в атмосфере Солнца, достигающий 10 000 атомов водорода на каждый атом других элементов.

Без сомнения, гипотеза Б. Стремгрена заслуживает особого внимания, и не следует при вычислении коэффициента непрерывного поглощения упускать из виду роли отрицательных ионов водорода. Однако, найденный Б. Стремгреном подавляющий перевес водорода в атмосфере Солнца может вызвать сомнения, хотя в этом нет ничего невозможного. Это сомнение заставило докладчика искать других факторов, которые обуславливают способность атмосферной материи Солнца поглощать излучение в большей степени, помимо отрицательных ионов водорода. Мы имеем основания полагать, что этот дополнительный фактор найден.

Говоря о спектральных линиях, не имеют в виду, понятно, линий, не имеющих ширины. Кроме ширины спектральной линии, возникающей по чисто инструментальным причинам, так называемые крылья спектральных линий простираются на весь спектр и заполняют промежутки между другими спектральными линиями. Рассмотрим теперь спектр поглощения водорода, который вызывается этим элементом, когда его атомы находятся на самом низшем энергетическом уровне. В видимой части спектра нет в этом случае ни одной спектральной линии. Линии находятся в далёком ультрафиолете, образуя

серию Лаймана. Но крылья всех линий лаймановской серии простираются на видимую область спектра и обуславливают то, что и в этой области атомный водород не вполне прозрачен для излучения. Мы вправе говорить о коэффициенте непрерывного поглощения излучения, обусловленном крыльями спектральных линий. Оценивая его величину путём приближённых вычислений, мы находим, что он сравним в условиях солнечной атмосферы с коэффициентом поглощения, обусловленным отрицательными ионами водорода.

Говоря о непрерывном поглощении излучения, обусловленном крыльями спектральных линий, следует всё-таки подчеркнуть отличие этого процесса от обычного непрерывного поглощения излучения. Пусть поглощение кванта излучения и следующее вслед за этим испускание его происходит в течение времени Δt . Тогда, на основании соотношения неопределённости Гейзенберга, энергетическое состояние атома остаётся неопределённым на величину ΔE , которую мы можем вычислить по формуле:

$$\Delta E \cdot \Delta t = h$$

Значит, атом может в течение этого короткого промежутка времени поглотить и вновь излучить свет, энергия кванта которого не обязательно должна быть точно определена двумя устойчивыми энергетическими состояниями атома. Чем больше времени проходит между излучением и поглощением, тем лучше энергия излучённого и вновь поглощённого кванта должна соответствовать условиям Бора. Если энергия поглощённого кванта практически равна разности энергий двух устойчивых состояний атома, то испускание следует приблизительно через 10^{-8} секунд. В течение этого времени данный атом в солнечной атмосфере успеет, по крайней мере в более глубоких слоях её, столкнуться с другим атомом и превратить свою внутреннюю энергию в кинетическую энергию атомов, что выразится в виде увеличения количества теплоты в газе. Путём этого процесса происходит действительное поглощение лучистой энергии, причём лучистая

энергия превращается в теплоту. В основном, так же обстоит дело и в случае непрерывного поглощения в спектральном континууме.

Если же поглощается квант света, длина волны которого соответствует крылу спектральной линии, то испускание, следующее после этого, должно произойти на основании соотношения Гейзенберга далеко раньше, чем произойдёт столкновение с соседним атомом. Здесь мы имеем дело с типичным процессом рассеяния, который можно удобно проследить при помощи дисперсионной формулы Гейзенберга-Крамерса.

Процесс рассеяния света обладает по сравнению с процессом поглощения многими особенностями, характеризующимися внешним видом. Происходящее после поглощения лучистой энергии испускание имеет по всем направлениям одинаковую интенсивность. Рассеяние же света подчиняется так называемому закону $1 + \cos^2\theta$, который выражает гетерогенность рассеянного света. В зависимости от того, предполагаем ли мы, что в атмосфере Солнца происходит только поглощение излучения или только рассеяние, или предполагаем, что оба процесса происходят наряду друг с другом, формулы, описывающие происходящие в атмосфере процессы излучения, принимают ту или иную форму. Сравнение с данными наблюдений даёт возможность установить сравнительную роль обоих процессов.

Задача настоящего исследования заключается в обработке имеющихся данных наблюдений при помощи соответствующей теории с тем, чтобы решить, происходит ли в атмосфере Солнца процесс рассеяния света или нет. При этом остаётся вначале открытым вопрос о причинах этого процесса. Вышеизложенный вопрос о крыльях спектральных линий и о их влиянии на рассеяние излучения был приведён только в качестве примера для обоснования постановки проблемы.

2. Уравнение переноса излучения.

Уравнение переноса излучения с учётом одновременного поглощения и рассеяния света выведено многими авторами, но в доступной мне литературе это выполнено с игнорированием закона $1 + \cos^2\theta$, с целью, главным образом, получения возможно более простых результатов³. Поставив себе целью учесть все подробности процесса рассеяния, мне пришлось отказаться от этого упрощающего предложения и вывести уравнение, возможно более общее. При этом не была учтена выпуклость солнечной поверхности, так как в пределах данной задачи мы имеем полное основание считать радиус Солнца бесконечно большим.

Рассмотрим в солнечной атмосфере маленький цилиндр с основаниями в 1 см^2 и с высотой dl . Поместим начало полярной системы координат в центр этого цилиндра. В определённой таким образом полярной системе координат будем отсчитывать „зенитные расстояния“ θ от нормали к солнечной поверхности и „азимут“ φ в плоскости солнечной поверхности. Направление оси находящегося в начале координат маленького цилиндра пусть определяется углами

$$\theta, \varphi.$$

Рассмотрим узкий пучёк лучей, направление которого пусть определяется пространственным углом

$$d\Omega = \sin\theta d\theta d\varphi$$

и который, следовательно, проходит через оба основания цилиндра. Пусть интенсивность этого излучения будет

$$I_\lambda(\theta).$$

При прохождении через цилиндр в излучении происходят изменения. Оно теряет ежесекундно энергию:

- 1) путём поглощения,
 - 2) путём рассеяния,
- и получает энергию:
- 3) вследствие излучения энергии материей, находящейся в цилиндре,

4) вследствие притока в цилиндр со всех направлений лучистой энергии, рассеиваемой там по направлению оси цилиндра.

Учтём в отдельности перечисленные факторы.

1) Вследствие поглощения данный пучёк лучей теряет еже- секундно

$$\Delta I_1 = I_\lambda(\Theta) \cdot k \cdot \rho \cdot dl \cdot d\Omega \quad (1)$$

эргов энергии, причём k обозначает коэффициент поглоще- ния на грамм, ρ плотность материи, dl высоту цилиндра и $d\Omega = \sin\theta d\theta d\varphi$ дифференциал пространственного угла, определяющий пучок лучей.

2. Из излучения, проходящего через основания цилиндра, рассеивается ежесекундно по направлению пространственного угла $d\Omega_1 = \sin\theta_1 d\theta_1 d\varphi_1$

$$I_\lambda(\Theta) \cdot s \cdot \rho \cdot \frac{1 + \cos^2\vartheta}{2} \cdot dl \cdot d\Omega d\Omega_1, \quad (2)$$

эргов энергии, причём s обозначает коэффициент рассеяния на грамм вещества, и ϑ угол между направлениями $d\Omega_1$ и $d\Omega$, тогда как остальные обозначения имеют прежнее значение. Чтобы получить всю рассеянную энергию, следует проинте- рировать выражение (2) по $d\Omega_1$:

$$\begin{aligned} \Delta_2 I &= \int I_\lambda(\Theta) \cdot s \cdot \rho \cdot \frac{1 + \cos^2\vartheta}{2} dl \cdot d\Omega \cdot d\Omega_1 = \\ &= I_\lambda(\Theta) \cdot s \cdot \rho \cdot dl \cdot d\Omega \cdot \int_0^\pi d\theta_1 \int_0^{2\pi} \frac{1 + \cos^2\delta}{2} \sin\theta_1 d\varphi_1. \end{aligned} \quad (3)$$

На основании теорем сферической тригонометрии можно показать, что

$$\cos\vartheta = \cos\theta \cos\theta_1 - \sin\theta \sin\theta_1 \cos(\varphi - \varphi_1). \quad (4)$$

Следовательно, интеграл в формуле (3) можно легко вычис- лить и мы получаем:

$$\Delta_2 I = \frac{8\pi}{3} I_\lambda(\Theta) \cdot s \cdot \rho \cdot dl \cdot d\Omega. \quad (5)$$

3) Находящаяся в цилиндре материя излучает каждую секунду в направлении пространственного угла $d\Omega$

$$\Delta_3 I = \varepsilon_\lambda \cdot \rho \cdot d\Omega. \quad (6)$$

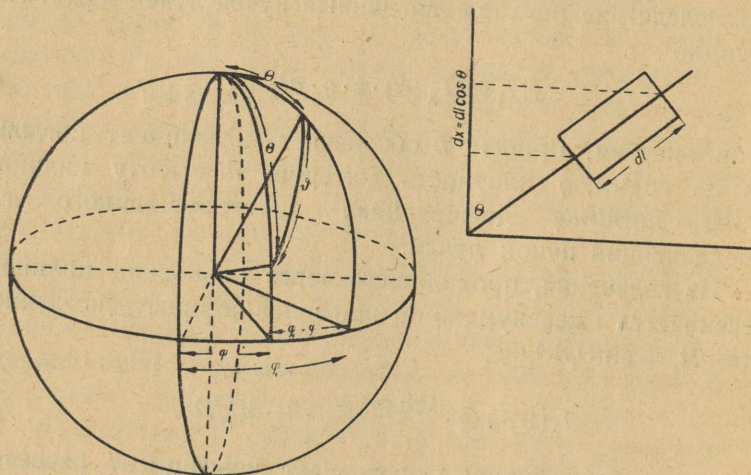


Рис. 1.

эргов энергии, где ε_λ обозначает излучательную способность материи на грамм.

4) Маленький цилиндр пронизывается всесторонним излучением, которое проникает туда не только через основания, но также и через боковую поверхность цилиндра. Из каждого пронизывающего цилиндр узкого пучка лучей рассеивается в цилиндре энергия и по направлению оси цилиндра, т. е. по направлению пространственного угла $d\Omega$.

Пусть узкий пучок лучей, определяемый пространственным углом

$$d\Omega_1 = \sin \theta_1 d\theta_1 d\varphi_1,$$

пронизывает находящийся в начале координат маленький цилиндр. Из этого пучка лучей рассеивается каждую секунду по направлению оси цилиндра

$$I_{\lambda}(\theta_1) \cdot s \cdot \varrho \frac{1 + \cos^2 \theta}{2} dl \cdot d\Omega \cdot d\Omega_1 \quad (7)$$

эргов энергии. Интегрируя (7) по $d\Omega_1$, получим энергию, рассеиваемую по направлению оси цилиндра из всех проникающих в цилиндр пучков лучей

$$\begin{aligned} \Delta_4 I &= \int I_{\lambda}(\theta_1) \cdot s \cdot \varrho \frac{1 + \cos^2 \theta}{2} dl d\Omega d\Omega_1 = \\ &= s \cdot \varrho \cdot dl \cdot d\Omega \int_0^{\pi} d\theta_1 \int_0^{2\pi} I_{\lambda}(\theta_1) \frac{1 + \cos^2 \theta}{2} \sin \theta_1 d\varphi_1. \end{aligned}$$

Принимая во внимание вновь формулу (4) и выполнив целый ряд элементарных преобразований, мы сможем написать:

$$\begin{aligned} \Delta_4 I &= s \cdot \varrho \cdot dl \cdot d\Omega \cdot \frac{\pi}{2} \int_0^{\pi} I_{\lambda}(\theta_1) \left\{ 3 - \cos^2 \theta - \cos^2 \theta_1 + \right. \\ &\quad \left. + 3 \cos^2 \theta \cos^2 \theta_1 \right\} \sin \theta_1 d\theta_1. \end{aligned} \quad (8)$$

Энергетический баланс излучения, входящего в цилиндр через одно из оснований и выходящего из него через другое основание, выражается, как изменение энергии этого пучка лучей. Обозначая обусловленное этим изменение интенсивности через

$$dI_{\lambda}(\theta),$$

мы можем написать:

$$dI_{\lambda}(\theta) \cdot d\Omega = (\Delta_3 I + \Delta_4 I) - (\Delta_1 I + \Delta_2 I), \quad (9)$$

так как $(\Delta_1 I + \Delta_2 I)$ представляет собой энергию, потерянную пучком лучей в течение данного процесса в цилиндре и $(\Delta_3 I + \Delta_4 I)$ энергию, полученную им. Учитывая формулы (1), (5), (6) и (8), мы можем написать:

$$\begin{aligned} dI_{\lambda}(\theta) \cdot d\Omega &= (\Delta_3 I + \Delta_4 I) - (\Delta_1 I + \Delta_2 I) = \\ &= \varepsilon_{\lambda} \cdot \varrho \cdot dl \cdot d\Omega + \frac{\pi}{2} s \cdot \varrho \cdot dl \cdot d\Omega \int_0^{\pi} I_{\lambda}(\theta_1) \left\{ 3 - \cos^2 \theta - \cos^2 \theta_1 + \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + 3\cos^2\Theta \cos^2\Theta_1 \left. \vphantom{\int} \right\} \sin\Theta_1 d\Theta_1 - I_\lambda(\Theta) \cdot k \cdot \rho \cdot dl \cdot d\Omega - \\
 & - \frac{8\pi}{3} I_\lambda(\Theta) \cdot s \cdot \rho \cdot dl \cdot d\Omega.
 \end{aligned} \tag{10}$$

Подставим в последнее уравнение

$$dl = -dx \cdot \sec\Theta,$$

где dx есть длина проекции dl на нормаль к солнечной поверхности. Величина x обозначает геометрическую глубину данной точки, считая от внешней поверхности солнечной атмосферы. Кроме того, воспользуемся, в интересах краткости написания, обозначениями, введёнными в астрофизику Эддингтоном (так называемые средние Эддингтона)

$$J_\lambda = \frac{1}{2} \int_0^\pi I_\lambda(\Theta_1) \sin\Theta_1 d\Theta_1,$$

$$K_\lambda = \frac{1}{2} \int_0^\pi I_\lambda(\Theta_1) \cos^2\Theta_1 \sin\Theta_1 d\Theta_1. \tag{12}$$

Относительно излучательной способности, которую содержит уравнение (10), примем гипотезу, пользующуюся всеобщим признанием в астрофизической литературе:

$$\varepsilon_\lambda = k E_\lambda, \tag{13a}$$

где k обозначает коэффициент поглощения на грамм и E_λ функцию Планка:

$$E_\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\frac{c_2}{\lambda T} - 1} \tag{13b}$$

Эта гипотеза означает, по существу, предположение, что в солнечной атмосфере господствует локальное термическое равновесие.

Учитывая эти обозначения и предложения, можно написать после небольших преобразований уравнение (10) в виде:

$$\begin{aligned} & \frac{d I_{\lambda}(\Theta)}{d x} \cos \Theta - \left(k + \frac{8\pi}{3} s\right) I_{\lambda}(\Theta) = \\ & = -k E_{\lambda} - \pi s (3 J_{\lambda} - K_{\lambda}) + \pi s (J_{\lambda} - 3 K_{\lambda}) \cos^2 \Theta . \end{aligned} \quad (14)$$

При рассмотрении астрофизических уравнений оказалось весьма плодотворным применение понятия так называемой оптической глубины, причём величина её τ определяется формулой:

$$d\tau = \rho \cdot k \cdot dx ,$$

где ρ обозначает плотность материи, k коэффициент поглощения на грамм и x геометрическую глубину. В данном случае, однако, целесообразнее определять оптическую глубину τ посредством соотношения

$$d\tau = \rho \cdot \left(k + \frac{8\pi}{3} s\right) dx , \quad (15)$$

где s обозначает коэффициент рассеяния на грамм. Величину

$$k + \frac{8\pi}{3} s$$

мы будем в дальнейшем называть коэффициентом поглощения-рассеяния.

Вводя определяемую соотношением (15) величину τ в уравнение (14) и обозначая:

$$\alpha = \frac{k}{k + \frac{8\pi}{3} s} , \quad \beta = \frac{\pi s}{k + \frac{8\pi}{3} s} , \quad (16)$$

мы можем написать уравнение переноса излучения в виде, удобном для дальнейшего анализа:

$$\begin{aligned} & \frac{d I_{\lambda}(\tau, \Theta)}{d \tau} \cos \Theta - I_{\lambda}(\tau, \Theta) = \\ & = -\alpha E_{\lambda}(\tau) - \beta [3 J_{\lambda}(\tau) - K_{\lambda}(\tau)] + \beta [J_{\lambda}(\tau) - 3 K_{\lambda}(\tau)] \cos^2 \Theta , \end{aligned} \quad (17)$$

где вместо $I_{\lambda}(\Theta)$ написано $I_{\lambda}(\tau, \Theta)$ для того, чтобы лучше подчеркнуть зависимость I_{λ} не только от Θ , но и от τ . Вели-

чины α , β мы будем называть в дальнейшем относительными коэффициентами поглощения и рассеяния.

Уравнение (17) я вывел весной 1943 г. Вследствие существовавших тогда затруднений в деле публикации мне до сих пор не представлялось возможности опубликовать его, и в настоящем докладе я выступаю с ним впервые. Между тем выяснилось, что той же проблемой занимались и в других местах, особенно в США. Вследствие перебоев в получении иностранной литературы невозможно было проверить это в точности, но из статьи С. Чандрасекара, появившейся в одном из последних номеров „Astrophysical Journal“, можно косвенно заключить, что данное уравнение опубликовано им в начале 1946 г.⁵

3. О решении уравнения переноса излучения в случае суммарного излучения.

В дальнейшем предполагаем, что коэффициенты поглощения и рассеяния k и s не зависят от длины волны излучения λ . Это предположение нельзя считать слишком искусственным или необоснованным, так как, согласно теоретическим вычислениям, по крайней мере s изменяется в видимой области спектра очень мало. Те же результаты даёт и определение коэффициента поглощения по методу Милна на основании контрастности спектральных линий.

Интегрируя обе стороны уравнения (17) по λ от 0 до ∞ и обозначая:

$$I(\tau, \Theta) = \int_0^{\infty} I_{\lambda}(\tau, \Theta) \cdot d\lambda, \quad E(\tau) = \int_0^{\infty} E_{\lambda}(\tau) \cdot d\lambda,$$

$$J(\tau) = \int_0^{\infty} J_{\lambda}(\tau) \cdot d\lambda, \quad K(\tau) = \int_0^{\infty} K_{\lambda}(\tau) \cdot d\lambda,$$

получаем уравнение переноса излучения в случае суммарного излучения:

$$\frac{dI(\tau, \Theta)}{d\tau} \cos \Theta - I(\tau, \Theta) = -\alpha E(\tau) - \beta[3J(\tau) - K(\tau)] + \beta[J(\tau) - 3K(\tau)] \cos^2 \Theta \quad (18)$$

Обозначим по Эддингтону :

$$H = \frac{1}{2} \int_0^{\pi} I(\tau, \Theta) \cos \Theta \sin \Theta d\Theta . \quad (19)$$

Величина H измеряет результирующий перенос излучения из внутренности звезды наружу. В астрофизике принято называть этот перенос энергии нетто-переносом, так как он показывает, какая часть распространяющегося в атмосфере по всем направлениям излучения приходится на транспорт энергии из глубинных слоев к наружным, более холодным слоям и, наконец, за пределы звезды. В атмосфере Солнца нет источников энергии, которые производили бы энергию. Весь нетто-перенос энергии, проходящий через атмосферу, исходит из более глубоких слоев звезды. Поэтому нетто-перенос должен быть здесь равен постоянной величине или

$$\frac{dH}{d\tau} = 0 . \quad (20)$$

Умножая обе стороны уравнения (18) на величину $\sin \Theta d\Theta$, интегрируя затем по Θ от 0 до π , и принимая во внимание формулы (12), (19) и (20), получаем после простых преобразований

$$J = E, \quad (21)$$

причем в преобразованиях следует воспользоваться вытекающим из формулы (16) соотношением :

$$\alpha + \frac{3}{8}\beta = 1 .$$

Подставляя в уравнение (18) вместо величины E её значение из соотношения (21), получаем :

$$\begin{aligned} & \frac{dI(\tau, \Theta)}{d\tau} \cos \Theta - I(\tau, \Theta) = \\ & = -\alpha J - \beta(3J - K) + \beta(J - 3K) \cos^2 \Theta . \end{aligned} \quad (22)$$

Чтобы решить это интегро-дифференциальное уравнение, нужно знать, каким образом величины α и β зависят от оптической глубины τ . Но для этого необходимо создание

особой теории. Чтобы получить хотя бы ориентировочный обзор, сделаем гипотезу, что a и β — постоянные величины. В конце настоящего параграфа увидим, что решение уравнения (22) почти совершенно не зависит от величин a и β ; поэтому, гипотеза относительно этих величин не существенна. Она нужна вначале только для упрощения выкладок.

Принимая во внимание тождество

$$\frac{dI(\tau, \theta)}{d\tau} \cos \theta - I(\tau, \theta) = \frac{e^{\tau \sec \theta}}{\sec \theta} \frac{d}{d\tau} [I(\tau, \theta) e^{-\tau \sec \theta}],$$

можно представить уравнение (22) в виде:

$$\begin{aligned} & \frac{d}{d\tau} [J(\tau, \theta) e^{-\tau \sec \theta}] = \\ & = -a J e^{-\tau \sec \theta} \cdot \sec \theta - \beta (3J - K) e^{-\tau \sec \theta} \cdot \sec \theta + \\ & \quad + \beta (J - 3K) e^{-\tau \sec \theta} \cdot \cos \theta. \end{aligned} \quad (23)$$

При интегрировании этого уравнения необходимо иметь в виду следующие условия:

$$1) \quad I(\tau, \theta) = 0, \text{ при } \tau = 0 \text{ и } \frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi, \quad (24)$$

т. е. на внешней поверхности атмосферы перенос излучения внутрь Солнца равен нулю.

$$2) \quad \lim_{\tau \rightarrow \infty} I(\tau, \theta) \cdot e^{-\tau \sec \theta} = 0, \text{ при } 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}. \quad (25)$$

Согласно этим краевым условиям получаем, интегрируя уравнение (23):

$$\begin{aligned} I(\tau, \theta) &= a \int_{\tau}^{\infty} I(x) \cdot e^{-(x-\tau) \sec \theta} \cdot \sec \theta \cdot dx + \\ &+ \beta \int_{\tau}^{\infty} [3J(x) - K(x)] e^{-(x-\tau) \sec \theta} \cdot \sec \theta \cdot dx - \\ &- \beta \int_{\tau}^{\infty} [J(x) - 3K(x)] \cdot e^{-(x-\tau) \sec \theta} \cdot \cos \theta \cdot dx, \end{aligned}$$

$$\text{при } 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2},$$

$$\begin{aligned}
 I(\tau, \theta) = & -a \int_0^\tau J(x) \cdot e^{-(x-\tau) \sec \theta} \cdot \sec \theta \cdot dx - \\
 & -\beta \int_0^\tau [3J(x) - K(x)] e^{-(x-\tau) \sec \theta} \cdot \sec \theta \cdot dx + \\
 & + \beta \int_0^\tau [J(x) - 3K(x)] e^{-(x-\tau) \sec \theta} \cdot \cos \theta \cdot dx, \\
 & \text{при } \frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi.
 \end{aligned} \tag{26}$$

Формулы (26) позволяют вычислить интенсивность $I(\tau, \theta)$ суммарного излучения, если известны функции $J(x)$ и $K(x)$. Вычисление этих функций связано с решением системы интегральных уравнений, для составления которых будем исходить из формул, определяющих J и K :

$$J = \frac{1}{2} \int_0^\pi I(\tau, \theta) \sin \theta d\theta, \quad K = \frac{1}{2} \int_0^\pi I(\tau, \theta) \cos^2 \theta \sin \theta d\theta,$$

подставляя сюда вместо $I(\tau, \theta)$ выражение этой функции по формуле (26). В результате некоторых довольно длинных преобразований эта подстановка даёт:

$$\begin{aligned}
 J(\tau) = & \frac{1}{2} a \int_0^\infty J(x) \cdot Q_1(|x-\tau|) \cdot dx + \\
 & \frac{1}{2} \beta \int_0^\infty [3J(x) - K(x)] \cdot Q_1(|x-\tau|) \cdot dx - \\
 & - \frac{1}{2} \beta \int_0^\infty [J(x) - 3K(x)] \cdot Q_3(|x-\tau|) \cdot dx,
 \end{aligned} \tag{27a}$$

$$\begin{aligned}
 K(\tau) = & \frac{1}{2} a \int_0^\infty J(x) \cdot Q_3(|x-\tau|) \cdot dx + \\
 & + \frac{1}{2} \beta \int_0^\infty [3J(x) - K(x)] \cdot Q_3(|x-\tau|) \cdot dx - \\
 & - \frac{1}{2} \beta \int_0^\infty [J(x) - 3K(x)] \cdot Q_5(|x-\tau|) \cdot dx,
 \end{aligned} \tag{27б}$$

причём встречающиеся здесь функции $Q_n(x)$ определяются формулой:

$$Q_n(x) = \int_1^{\infty} \frac{e^{-wx}}{w^n} dw.$$

(так называемая показательно-интегральная функция⁶⁾). Знак $|x-\tau|$ обозначает абсолютное значение $x-\tau$.

С другой стороны, умножая обе стороны уравнения (22) на величину

$$\cos \theta \sin \theta d\theta$$

и интегрируя по θ от 0 до π , получаем следующее важное соотношение:

$$\frac{dK}{d\tau} - H = 0, \quad (28)$$

интегрируя которое, находим:

$$K = H\tau + K_0, \quad (29)$$

так как H постоянная величина. Найденное в виде формулы (29) выражение для K позволяет преобразовать интегральные уравнения (27). Исключая из них K , получаем:

$$\begin{aligned} J(\tau) &= \frac{1}{2} \alpha \int_0^{\infty} J(x) \cdot Q_1(|x-\tau|) \cdot dx + \\ &+ \beta \int_0^{\infty} 3J(x) \cdot Q_1(|x-\tau|) dx - \frac{1}{2} \beta \int_0^{\infty} J(x) \cdot Q_3(|x-\tau|) \cdot dx - \\ &- \frac{1}{2} \beta H \cdot [Q_3(\tau) - 3Q_5(\tau)] + \frac{1}{2} \beta K_0 \cdot [Q_2(\tau) - 3Q_4(\tau)] \quad (30a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H\tau + K_0 &= \frac{1}{2} \alpha \int_0^{\infty} J(x) \cdot Q_3(|x-\tau|) \cdot dx + \\ &+ \frac{1}{2} \beta \int_0^{\infty} 3J(x) \cdot Q_3(|x-\tau|) dx - \frac{1}{2} \beta \int_0^{\infty} J(x) \cdot Q_5(|x-\tau|) dx - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -\frac{1}{2}\beta \cdot H \cdot \left[-\frac{8}{15}\tau + Q_5(\tau) - 3Q_7(\tau) \right] + \\
 & + \frac{1}{2}\beta K_0 \cdot \left[\frac{8}{15} + Q_4(\tau) - 3Q_6(\tau) \right]. \quad (30б)
 \end{aligned}$$

При исключении и следующем после него преобразовании применены соотношения:

$$\begin{aligned}
 & \int_0^{\infty} Q_n(|x-\tau|) dx = \frac{2}{n} - Q_{n+1}(\tau), \\
 & \int_0^{\infty} x \cdot Q_n(|x-\tau|) dx = \frac{2}{n}\tau + Q_{n+2}(\tau). \quad (31)
 \end{aligned}$$

В целях большей простоты полезно исключить величину α из интегральных уравнений (30) при помощи соотношения

$$\alpha = 1 - \frac{8}{3}\beta$$

и написать их в виде:

$$\begin{aligned}
 J(\tau) &= \frac{1}{2} \int_0^{\infty} J(x) \cdot Q_1(|x-\tau|) \cdot dx + \\
 &+ \frac{1}{2} \beta \int_0^{\infty} J(x) \cdot [Q_1(|x-\tau|) - Q_3(|x-\tau|)] dx - \\
 &- \frac{1}{2} \beta \cdot H \cdot [Q_3(\tau) - 3Q_5(\tau)] + \frac{1}{2} \beta \cdot K_0 \cdot [Q_2(\tau) - 3Q_4(\tau)], \quad (32a)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H\tau + K_0 &= \frac{1}{2} \int_0^{\infty} J(x) Q_3(|x-\tau|) \cdot dx + \\
 &+ \frac{1}{2} \beta \int_0^{\infty} J(x) \cdot \left[\frac{1}{3} Q_3(|x-\tau|) - Q_5(|x-\tau|) \right] dx - \\
 &- \frac{1}{2} \beta \cdot H \cdot \left[-\frac{8}{15}\tau + Q_5(\tau) - 3Q_7(\tau) \right] + \\
 &+ \frac{1}{2} \beta K_0 \cdot \left[\frac{8}{15} + Q_4(\tau) - 3Q_6(\tau) \right]. \quad (32б)
 \end{aligned}$$

Интегральное уравнение (32а) определяет в качестве своего решения искомую функцию $J(\tau)$. Интегральное соотношение (32б) связывает друг с другом постоянные интегрирования H и K_0 . Уравнения (32а) и (32б) не противоречат друг другу, несмотря на то, что оба содержат одну и ту же искомую функцию J . В этом можно убедиться, дифференцируя уравнение (32б) дважды по τ . В результате получается интегральное уравнение (32а). Если $\beta = 0$, т. е. в том случае, если в атмосфере Солнца не происходило бы рассеяния света, уравнение (32а) приводится к известному интегральному уравнению Шварцшильда-Милна⁷.

$$J(\tau) = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} J(x) \cdot Q_1(|x-\tau|) dx. \quad (33)$$

Связь с интегральным уравнением Шварцшильда-Милна наводит на мысль воспользоваться для решения интегрального уравнения (32а) теми же приёмами, которые применяются в случае интегрального уравнения (33). Следуя указанному приёму, напишем в качестве первого приближённого решения:

$$J = 3(H\tau + K_0), \quad (34)$$

так как

$$2K \equiv \int_0^{\pi} J(\tau, \Theta) \cdot \cos^2 \Theta \cdot \sin \Theta d\Theta \approx \frac{1}{3} \int_0^{\pi} J(\tau, \Theta) \cdot \sin \Theta d\Theta \equiv \frac{1}{3}(2J).$$

Подставляя первое приближение (34) для J в правую часть уравнения (32), получаем второе, т. е. лучшее приближение:

$$J(\tau) = 3(H\tau + K_0) + \frac{3}{2}H \cdot Q_3(\tau) - \frac{2}{3}K_0 \cdot Q_2(\tau). \quad (35)$$

Чтобы найти связь между H и K_0 потребуем, чтобы полученное выражение J удовлетворяло интегральному соотношению (32б). Соответствующая подстановка даёт:

$$\begin{aligned} & \frac{3}{2}H \cdot Q_5(\tau) - \frac{2}{3}K_0 \cdot Q_4(\tau) + \frac{3}{4}H \cdot P_{33}(\tau) - \frac{3}{4}K_0 \cdot P_{23}(\tau) + \\ & + \frac{1}{4}H\beta \cdot P_{33}(\tau) - \frac{1}{4}\beta K_0 \cdot P_{23}(\tau) - \frac{3}{4}\beta H \cdot P_{35}(\tau) + \\ & + \frac{3}{4}\beta K_0 \cdot P_{25}(\tau) = 0, \end{aligned} \quad (36)$$

причём

$$P_{mn} = \int_0^{\infty} Q_m(x) \cdot Q_n(|x-\tau|) \cdot dx.$$

Соотношение (36) не удовлетворяется при постоянных значениях H и K_0 для всех возможных значений τ (за исключением, конечно, тривиального случая $H = 0$ и $K_0 = 0$). Это обусловлено тем, что мы воспользовались не точным, а приближённым значением J . Но мы замечаем, что соотношение (36) удовлетворяется тем лучше, чем больше τ , так как функции $P_{mn}(\tau)$ и $Q_n(\tau)$ стремятся тогда к нулю. Представляется целесообразным выбрать H и K_0 так, чтобы требование (36) выполнялось точно при $\tau = 0$, тогда как при больших значениях τ оно выполняется более или менее само собой. Подставляя в соотношение (36) $\tau = 0$ и вычисляя значения $P_{mn}(0)$ и $Q_n(0)$, получаем:

$$H \cdot (0,4329 - 0,0132\beta) - K_0 \cdot (0,5938 - 0,0208\beta) = 0$$

или

$$K_0 = \frac{0,4329 - 0,0132\beta}{0,5938 - 0,0208\beta} H = \kappa H, \quad (37)$$

где

$$\kappa = \frac{0,4329 - 0,0132\beta}{0,5938 - 0,0208\beta} \quad (38)$$

Величина κ зависит от β довольно слабо, как видно из таблицы 1, вычисленной по формуле (38).

Таблица 1.

β :	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
κ :	0,729	0,729	0,729	0,730	0,730	0,730	0,730

Мы можем считать, что κ практически не зависит от β и написать с достаточной, с точки зрения настоящего исследования, точностью

$$\kappa = 0,729,$$

и принять в качестве приближённого решения для J :

$$J = 3H \cdot [\tau + 0,729 + 0,500 Q_3(\tau) - 0,365 Q_2(\tau)], \quad (39a)$$

$$K = H \cdot [\tau + 0,729]. \quad (39b)$$

Заслуживает внимания то обстоятельство, что J и K не зависят от величины β .

Формулы (39) дают возможность, применяя формулы (26), вычислить интенсивность $I(\tau, \Theta)$ суммарного излучения для всех значений Θ и τ . Но нас интересует в первую очередь $I(\tau, \Theta)$ в том случае, когда $\tau=0$, так как это доступно наблюдениям. $I(0, \Theta)$ является интенсивностью суммарного излучения, испускаемого из верхнего слоя солнечной атмосферы, и зависимость её от угла выхода Θ проявляется, как распределение яркости на видимом диске Солнца. Питая на основании изложенного интерес к этому частному случаю, подставим в формулы (26) $\tau=0$ и тогда получим:

$$\begin{aligned}
 I(0, \Theta) = & \int_0^{\infty} J(x) \cdot e^{-x \sec \Theta} \cdot \sec \Theta dx + \\
 & + \frac{\beta}{3} \int_0^{\infty} [J(x) - 3K(x)] \cdot e^{-x \sec \Theta} \cdot \sec \Theta dx - \\
 & - \beta \int_0^{\infty} [J(x) - 3K(x)] \cdot e^{-x \sec \Theta} \cdot \cos \Theta dx, \quad (40)
 \end{aligned}$$

причём при преобразованиях применено соотношение:

$$a = 1 - \frac{3}{8} \beta.$$

Подставляя вместо J и K их выражения, даваемые формулами (39), получаем в результате продолжительных выкладок, состоящих преимущественно в вычислении целого ряда определённых интегралов, следующую формулу:

$$I(0, \Theta) = M(\cos \Theta) + \beta \cdot N(\cos \Theta), \quad (41a)$$

где

$$\begin{aligned}
 M(\cos \Theta) = & 0,615 + 0,500 \cdot \cos \Theta + 0,365 \cdot \cos \Theta \cdot \ln(1 + \sec \Theta) + \\
 & + 0,500 \cdot \cos^2 \Theta \cdot \ln(1 + \sec \Theta), \quad (41b)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N(\cos \Theta) = & -0,115 - 0,500 \cdot \cos \Theta + \\
 & + 0,365 \cdot \cos \Theta \cdot \left(\frac{1}{3} - \cos^2 \Theta\right) \cdot \ln(1 + \sec \Theta) + \\
 & + 0,500 \cdot \cos^2 \Theta \cdot \left(\frac{1}{3} - \cos^2 \Theta\right) \cdot \ln(1 + \sec \Theta). \quad (41b)
 \end{aligned}$$

Таблица 2 даёт численные значения $M(\cos \Theta)$ и $N(\cos \Theta)$.

Таблица 2.

$\cos \Theta$	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40
$M(\cos \Theta)$	0,615	0,699	0,764	0,824	0,881	0,991	1,097
$N(\cos \Theta)$	-0,038	-0,027	-0,021	-0,017	-0,014	-0,009	-0,006
$M(\cos \Theta)$	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	
$N(\cos \Theta)$	1,202	1,306	1,408	1,511	1,612	1,714	
$N(\cos \Theta)$	-0,002	+0,001	+0,003	+0,006	+0,008	+0,010	

Принимая во внимание, что наибольшее значение β по формуле

$$\beta = \frac{\pi s}{k + \frac{8\pi}{3}s}$$

равно $\beta_{\max} = \frac{3}{8} = 0,375$, мы видим, что на основании формулы (41a) и таблицы 2 рассеяние света играет в случае суммарного излучения крайне скромную роль в образовании распределения яркости на видимом диске Солнца. В случае максимального значения β член $\beta \cdot N(\cos \Theta)$ в формуле (41a) изменяется от $-0,014$ до $0,004$, что составляет только 2% от изменения первого, существенного члена $M(\cos \Theta)$ той же формулы (от 0,615 до 1,714). Результаты, выведенные из наблюдений над распределением яркости на видимом диске Солнца, отягчены примерно такой же относительной погрешностью. Итак, эффект, вызванный рассеянием света, остаётся за пределами точности наблюдений, и поэтому не может быть обнаружен.

Этот результат, отрицательный в известной степени с точки зрения настоящей работы, обусловлен тем обстоятельством, что решение уравнения переноса излучения в случае суммарного излучения практически не зависит от величины относительного коэффициента рассеяния β . Но косвенно, через коэффициент поглощения-рассеяния, коэффициент рассеяния излучения содержится всё-таки и в формулах суммарного излучения, хотя вследствие формулы (15) только в скрытом виде, в численном значении оптической глубины τ .

4. О методе вычисления относительного коэффициента рассеяния β из наблюдаемого спектрального излучения.

Нам удалось решить уравнение (17) в случае суммарного излучения, главным образом, потому, что в этом случае решение не зависит от того, учитывается ли процесс рассеяния излучения или нет. Но в случае спектрального излучения положение не столь просто. Здесь на решение оказывают чувствительное влияние содержащиеся в уравнении (17) величины a и β . Однако, прежде чем приступить к вопросам, связанным с решением уравнения (17), отметим, что это уравнение позволяет изучать проблему рассеяния излучения в атмосфере Солнца, даже не находя решений уравнения (17). Эта возможность выводится следующим образом.

Если подставить в уравнение (17)

$$\cos \Theta = 0, \quad \tau = 0,$$

то получим:

$$I_{\lambda} \left(0, \frac{\pi}{2} \right) \equiv I_{\lambda} \left(\frac{\pi}{2} \right) = a E_{\lambda} + \beta (3J_{\lambda} - K_{\lambda}), \quad (42)$$

или, подставляя $a = 1 - \frac{8}{3}\beta$,

$$I_{\lambda} \left(\frac{\pi}{2} \right) = E_{\lambda} + \beta \cdot (3J_{\lambda} - K_{\lambda} - \frac{8}{3} E_{\lambda}) = E_{\lambda} + \frac{8}{3}\beta \cdot (A_{\lambda} - E_{\lambda}), \quad (43)$$

где $A_{\lambda} = \frac{3}{8}(3J_{\lambda} - K_{\lambda})$.

Если $\beta = 0$, т. е. если в атмосфере Солнца не происходило бы рассеяния излучения, то распределение энергии в спектре края видимого диска Солнца было бы дано на основании формулы (43) функцией Планка

$$J_{\lambda} \left(\frac{\pi}{2} \right) = E_{\lambda} \equiv \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1},$$

т. е. оно было бы таким же, как в спектре абсолютно чёрного тела. Наличие же процесса рассеяния обуславливает искажение спектра в сравнении со спектром чёрного тела,

причём член, соответствующий этому искажению, содержится в формуле (43), как часть, которую следует прибавить к численному значению функции Планка E_λ . Следовательно, если известна из наблюдений интенсивность солнечного излучения $I_\lambda(\Theta)$ для всех значений λ и для всех значений Θ , и если известна температура T внешних слоёв атмосферы, то можно вычислить E_λ и, при помощи формул (12) J_λ и K_λ и прочие величины, необходимые для того, чтобы найти по формуле (43)

$$\beta = \frac{3}{8} \frac{I_\lambda\left(\frac{\pi}{2}\right) - E_\lambda}{A_\lambda - E_\lambda}. \quad (45)$$

Наблюдения дают следующие данные:

1) распределение интенсивности в спектре середины солнечного диска

$$I_\lambda(0), \quad (46a)$$

2) распределение яркости на диске Солнца

$$\Gamma_\lambda(\Theta) = \frac{I_\lambda(\Theta)}{I_\lambda(0)}. \quad (46b)$$

Из последнего соотношения следует, что

$$I_\lambda\left(\frac{\pi}{2}\right) = I_\lambda(0) \cdot \Gamma_\lambda\left(\frac{\pi}{2}\right), \quad (47)$$

и что

$$\begin{aligned} A_\lambda &= \frac{3}{8}(3J_\lambda - K_\lambda) = \frac{3}{16} \left\{ 3 \int_0^{\frac{\pi}{2}} J_\lambda(\Theta) \sin \Theta d\Theta - \int_0^{\frac{\pi}{2}} J_\lambda(\Theta) \cos^2 \Theta \sin \Theta d\Theta \right\} = \\ &= \frac{3}{16} I_\lambda(0) \cdot \left\{ \int_0^{\frac{\pi}{2}} \Gamma_\lambda(\Theta) \cdot [3 - \cos^2 \Theta] \cdot \sin \Theta d\Theta \right\} = I_\lambda(0) D_\lambda, \quad (48) \end{aligned}$$

где

$$D_\lambda = \frac{3}{16} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \Gamma_\lambda(\Theta) \cdot [3 - \cos^2 \Theta] \cdot \sin \Theta \cdot d\Theta. \quad (49)$$

Подставляя в формулу (45) вместо величины $I_\lambda(\frac{\pi}{2})$ и A_λ их выражения (47) и (48), получаем:

$$\beta = \frac{3}{8} \frac{I_\lambda(0) \cdot \Gamma_\lambda(\frac{\pi}{2}) - E_\lambda}{I_\lambda(0) \cdot D_\lambda - E_\lambda}. \quad (50)$$

Так как $I_\lambda(0)$ и $\Gamma_\lambda(\theta)$ даны наблюдениями, остаётся вычислить в последней формуле ещё E_λ . Для этого нужно знать температуру T_0 внешнего слоя солнечной атмосферы. Эта температура следует из формулы (50) автоматически. Данные наблюдений показывают, что существует такое значение $\lambda = \lambda_0$, при котором

$$\Gamma_{\lambda_0}(\frac{\pi}{2}) = D_{\lambda_0}. \quad (51)$$

тогда как при $\lambda < \lambda_0$ будет и $\Gamma_\lambda(\frac{\pi}{2}) < D_\lambda$,

$$(52)$$

а при $\lambda > \lambda_0$ будет и $\Gamma_\lambda(\frac{\pi}{2}) > D_\lambda$.

$$(53)$$

Предположим теперь, что

$$I_\lambda(0) \cdot \Gamma_\lambda(\frac{\pi}{2}) - E_\lambda > 0 \quad (54a)$$

было бы справедливо для всех λ без исключения. Тогда должно быть также

$$I_\lambda(0) \cdot D_\lambda - E_\lambda > 0, \quad (54b)$$

так как величина β , определяемая формулой (50), должна быть положительной и конечной. Пусть будет в рассматриваемом случае

$$\lambda > \lambda_0.$$

Тогда, принимая во внимание (53), (54a) и (54b), должно выполняться неравенство

$$I_\lambda \cdot \Gamma_\lambda(\frac{\pi}{2}) E_\lambda > I_\lambda(0) \cdot D_\lambda - E_\lambda. \quad (55)$$

Отсюда следует на основании (50):

$$\beta = \frac{3}{8} \frac{I_\lambda(0) \cdot \Gamma_\lambda(\frac{\pi}{2}) - E_\lambda}{I_\lambda(0) \cdot D_\lambda - E_\lambda} > \frac{3}{8},$$

что невозможно, так как на основании равенства

$$\beta = \frac{\pi s}{k + \frac{8\pi}{3} s}$$

β может быть максимально $\beta = \frac{3}{8}$

Подобным образом можно показать, что неравенства

$$I_{\lambda}(O) \cdot \Gamma_{\lambda}\left(\frac{\pi}{2}\right) \cdot E_{\lambda} > 0, \quad I_{\lambda}(O) \cdot D_{\lambda} - E_{\lambda} < 0$$

не могут выполняться при всех значениях λ .

Из доказанного следует, что величины, определяемые выражениями

$$I_{\lambda}(O) \cdot \Gamma_{\lambda}\left(\frac{\pi}{2}\right) - E_{\lambda}, \quad I_{\lambda}(O) \cdot D_{\lambda} - E_{\lambda}$$

должны менять знак и что должно существовать такое значение λ , при котором обе они одновременно равны нулю потому, что в противном случае β становилось бы на основании формулы (50) при некотором значении λ бесконечно большим. Этим значением λ может быть только вышеопределённое $\lambda = \lambda_0$, потому что тогда

$$\Gamma_{\lambda_0}\left(\frac{\pi}{2}\right) = D_{\lambda_0},$$

и как отсюда следует,

$$I_{\lambda}(O) \cdot \Gamma_{\lambda_0}\left(\frac{\pi}{2}\right) - E_{\lambda_0} = I_{\lambda_0}(O) \cdot D_{\lambda_0} - E_{\lambda_0} = 0 \quad (56)$$

Итак при значении $\lambda = \lambda_0$ имеют место соотношения:

$$E_{\lambda_0} = I_{\lambda_0}(O) \cdot \Gamma_{\lambda_0}\left(\frac{\pi}{2}\right) = I_{\lambda_0}(O) \cdot D_{\lambda_0} \quad (57)$$

Но отсюда мы можем непосредственно вычислить температуру, так как $I_{\lambda_0}(O)$, $\Gamma_{\lambda_0}\left(\frac{\pi}{2}\right)$ и D_{λ_0} известны из наблюдений, следовательно, известно на основании (57) и значение функции Планка E_{λ} для длины волны $\lambda = \lambda_0$. Вычисление температуры отсюда является уже чисто технической задачей.

На основании вышеизложенного, результаты наблюдений дают все необходимые величины для применения формулы (50) к вычислению относительного коэффициента рассеяния β .

5. О рассеянии света в солнечной атмосфере.

Проанализируем данные наблюдений, необходимые для применения формулы (50).

Функция распределения энергии.

Нахождение распределения энергии в сплошном спектре Солнца является труднейшей задачей практической астрофизики. Вызываемое земной атмосферой селективное поглощение и рассеяние солнечного излучения основательно искажает действительное распределение интенсивности в спектре. Особенно сильное мешающее действие производит в ультрафиолетовой части атмосферный озон, а в инфракрасной части находящийся в атмосфере водяной пар и углекислый газ. Поскольку между полосами поглощения, вызванными в спектре водяным паром и углекислым газом, имеются области, где фон спектра не нарушен, имеется возможность найти путём интерполирования интенсивность фона спектра во всей красной и инфракрасной части целиком. Гораздо труднее обстоит дело в ультрафиолете, так как там в области поглощения озона не встречается в спектре ни одного окошка. Вдобавок к этому уже в фиолетовой части спектра нельзя точно учесть влияния атмосферного поглощения на спектр. Вызываемое земной атмосферой поглощение и рассеяние света быстро растёт с уменьшением длины волны. Поэтому метеорологические изменения в верхних слоях земной атмосферы оказывают не поддающееся учёту влияние на распределение интенсивности спектра в его ультрафиолетовой и фиолетовой части. Уже в фиолетовой части наши знания крайне недостаточны, а об ультрафиолетовой части и говорить не приходится. Докладчику кажется, что интенсивность солнечного спектра в фиолетовой

и ультрафиолетовой части обычно сильно недооценивается, а в инфракрасной части переоценивается.

Предметом настоящего исследования в области солнечного спектра является его сплошной фон. Но этот сплошной фон пронизывается тёмными фраунгоферовыми линиями, местами гуще, местами реже. В спектрографах с умеренной дисперсией близко расположенные спектральные линии сливаются в спектральную полосу, а более слабые из них вообще не выступают заметно на сплошном фоне. Поэтому в том случае, если не применяется достаточно сильная дисперсия для получения чистого фона между спектральными линиями, следует учитывать влияние фраунгоферовых линий при введении поправок в измерения интенсивности спектра.

Принимая во внимание то большое количество различных факторов, отчасти даже не поддающимся контролю образом оказывающих влияние на наблюдённую интенсивность солнечного спектра, становятся вполне понятными различия между отдельными сериями измерений⁸. Мульдерс взял на себя подведение итогов и критическую обработку результатов измерений. Данные им результаты относительно интенсивности сплошного фона солнечного спектра следует считать в настоящее время наиболее точными и достоверными.

Таблица 3.

Интенсивность сплошного фона солнечного спектра для середины видимого диска Солнца по Мульдерсу

λ Å	$I_{\lambda}(0) \cdot 10^{-14}$ эрг/см ² . сек.	λ	$I_{\lambda}(0)$	λ	$I_{\lambda}(0)$
3000	1,70	5600	3,63	8500	1,67
3500	2,90	5800	3,47	9000	1,43
4000	4,40	6000	3,31	9500	1,28
4200	4,60	6200	3,16	10000	1,17
4400	4,61	6400	3,00	11000	0,97
4600	4,52	6600	2,85	12000	0,82
4800	4,35	6800	2,71	13000	0,68
5000	4,16	7000	2,56	14000	0,55
5200	3,98	7500	2,20	15000	0,46
5400	3,80	8000	1,90	16000	0,40

Функция $\Gamma_\lambda(\theta)$.

Наиболее точные и систематические измерения распределения яркости на видимом диске Солнца для различных длин волн принадлежит Абботу¹⁰. Он опубликовал свои измерения в 1913 и 1922 гг. Первая серия измерений охватывает длины волн от 3239 Å до 20970 Å и доведена до $\cos \theta = 0,312$. Измерения, опубликованные в 1922 г., произведены только в семи областях спектра от 3727 Å до 10080 Å, но точность измерений повидимому выше, и они доходят до $\cos \theta = 0,243$. Из числа измерений, произведённых в более позднее время, следует прежде всего назвать измерения Рауденбуша¹¹ и ряд других более мелких серий измерений. По внутренней согласованности можно оценить относительную погрешность всех упомянутых серий измерений в 1%.

С точки зрения настоящего исследования важно знать распределение яркости на диске Солнца по возможности в пределах всего диска, но прежде всего как раз на краю диска, где $\cos \theta = 0$. Однако, преимущественно вследствие причин технического характера, было невозможно произвести измерения для значений θ , превышающих $\theta = 80^\circ$. Препятствием для продвижения в направлении ещё больших θ ставит диффузный свет, вызванный земной атмосферой и оптикой прибора, которая никогда не может быть идеальна. Неизбежно мы принуждены заполнить пробел от $\theta = 80^\circ$ до $\theta = 90^\circ$ путём экстраполяции. В данном случае наиболее подходящим оказался следующий метод экстраполяции. На основании данных наблюдений была составлена эмпирическая формула для $\Gamma_\lambda(\theta)$ в промежутке от $\theta = 0^\circ$ до $\theta = 80^\circ$. Дальше этого предела эта эмпирическая формула дала бы значения для $\Gamma_\lambda(\theta)$ автоматически.

После довольно долгих проб и испытаний оказалось, что $\Gamma_\lambda(\theta)$ можно предоставить в промежутке от $\theta = 0^\circ$ до $\theta = 80^\circ$ следующей формулой:

$$\Gamma_\lambda(\theta) = \Gamma_\lambda\left(\frac{\pi}{2}\right) + [1 - \Gamma_\lambda\left(\frac{\pi}{2}\right) - 2a_\lambda] \cdot \cos \theta + 3a_\lambda \cos^2 \theta - a_\lambda \cos^3 \theta. \quad (58)$$

Эта эмпирическая формула содержит только две постоянных:

$$\Gamma_{\lambda} \left(\frac{\pi}{2} \right), \quad a_{\lambda},$$

первая из которых является одновременно и экстраполированным значением $\Gamma_{\lambda}(\Theta)$ при значении $\Theta = \frac{\pi}{2}$.

Пользуясь формулой (48) находим с помощью (58) также и D_{λ} , что также необходимо для применения формулы (50):

$$D_{\lambda} = \frac{15}{64} + \frac{17}{64} \Gamma_{\lambda} \left(\frac{\pi}{2} \right) - \frac{51}{320} a_{\lambda}, \quad (59)$$

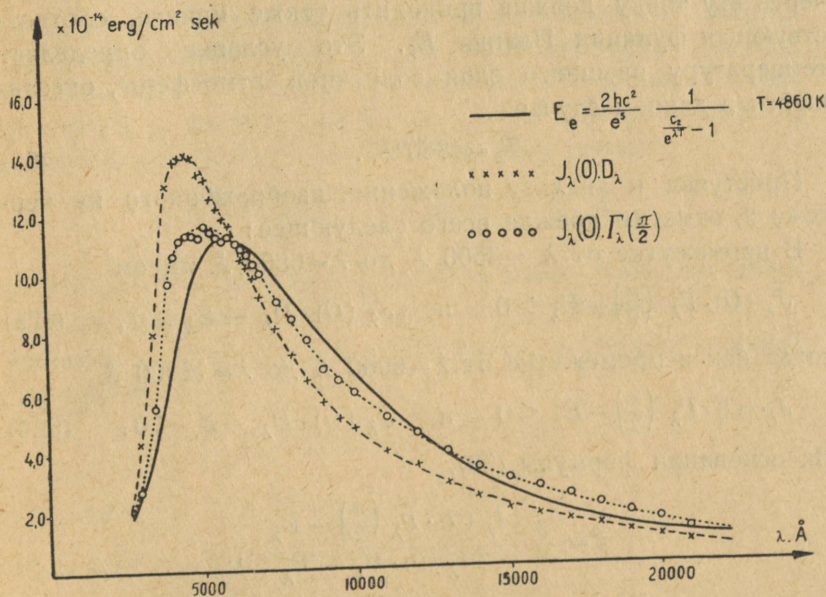


Рис. 2.

Зависимость величин $\Gamma_{\lambda} \left(\frac{\pi}{2} \right)$ и D_{λ} от длины волны даётся таблицей 4 на странице 176.

Имея все данные для вычисления относительного коэффициента рассеяния β , следует поступать для применения

формулы (50) согласно правилам, данным в параграфе четвёртом. Наиболее удобным приёмом для решения данной задачи является пользование графиком. Начертив кривые, представляющие зависимость величин $I_\lambda(O) \cdot \Gamma_\lambda\left(\frac{\pi}{2}\right)$ и $I_\lambda(O) \cdot D_\lambda$ от длины волны λ , найдём точки пересечения этих кривых. Из чертежа 2 явствует, что эта точка пересечения находится там, где

$$\lambda_0 = 6000 \text{ \AA}. \quad (60)$$

На основании теории, развитой в предыдущем параграфе, через эту точку должна проходить также кривая, соответствующая функции Планка E_λ . Это условие определяет температуру внешнего слоя солнечной атмосферы, оказавшейся в данном случае

$$T_0 = 4860^\circ \text{K}. \quad (61)$$

Приступая к анализу положения, изображённого на чертеже 2, отметим прежде всего следующее:

В промежутке от $\lambda = 3500 \text{ \AA}$ до $\lambda = 6000 \text{ \AA}$ имеем

$$J_\lambda(O) \cdot \Gamma_\lambda\left(\frac{\pi}{2}\right) - E_\lambda > 0 \quad \text{и} \quad J_\lambda(O) \cdot D_\lambda - E_\lambda > 0, \quad (62a)$$

тогда как в промежутке от $\lambda = 6000 \text{ \AA}$ до $\lambda = 12000 \text{ \AA}$

$$J_\lambda(O) \cdot \Gamma_\lambda\left(\frac{\pi}{2}\right) - E_\lambda < 0 \quad \text{и} \quad J_\lambda(O) \cdot D_\lambda - E_\lambda < 0. \quad (62b)$$

На основании формулы (50),

$$\beta = \frac{3}{8} \frac{I_\lambda(O) \cdot \Gamma_\lambda\left(\frac{\pi}{2}\right) - E_\lambda}{I_\lambda(O) \cdot D_\lambda - E_\lambda},$$

неравенства (62) означают, что относительный коэффициент рассеяния β в промежутке от $\lambda = 3500 \text{ \AA}$ до $\lambda = 12000 \text{ \AA}$ отличен от нуля, положителен и конечен. Данные наблюдений, будучи в полном согласии с теорией, развитой в параграфе четвёртом, показывают, что в солнечной атмосфере происходит наряду с поглощением излучения также и рассеяние излучения. Некоторую опору для этого заключения даёт

также результат относительно температуры наружного слоя солнечной атмосферы, которую мы нашли равной $T_0 = 4860^\circ K$ и которая превышает принятую в литературе температуру $T_0 = 4830^\circ K$ только на $30^\circ K$, несмотря на то, что в настоящем исследовании для вычисления этой температуры использованы особый метод и другие исходные данные. (Принятая повсюду в литературе, как основная, температура наружного слоя солнечной атмосферы $T_0 = 4380^\circ K$ вычисляется из эффективной температуры Солнца, которая, в свою очередь, выводится из суммарного излучения Солнца. Найденная в настоящем исследовании температура наружного слоя солнечной атмосферы $T_0 = 4860^\circ K$ вычислена из интенсивности спектра и из распределения яркости на видимом диске Солнца). Интересно ещё отметить, что максимум функции Планка приходится в данном случае на длину волны $\lambda = 6000 \text{ \AA}$, соответствующую точке пересечения трёх кривых:

$$I_\lambda(O) \cdot \Gamma_\lambda\left(\frac{\pi}{2}\right), \quad I_\lambda(O) \cdot D_\lambda \quad \text{и} \quad E_\lambda.$$

Это обстоятельство необязательно должно быть случайно; оно может указывать на известную закономерность.

Начиная с длины волны $\lambda = 12000 \text{ \AA}$ в сторону длинных волн, имеем:

$$I_\lambda(O) \cdot \Gamma_\lambda\left(\frac{\pi}{2}\right) - E_\lambda > 0,$$

тогда как
$$I_\lambda(O) \cdot D_\lambda - E_\lambda < 0.$$

Согласно формуле (50) это означало бы, что

$$\beta < 0,$$

что лишено физического смысла. Вполне вероятно, что этот противоречивый результат обусловлен неточностью данных наблюдений. Интенсивность солнечного спектра при длинах волн $\lambda > 12000 \text{ \AA}$, по всей вероятности, переоценивается. Уменьшение интенсивности примерно на 20% восстановило бы полностью согласованность между теорией и наблюдением.

Таблица 4.

$\lambda \text{ \AA}$	$I_{\lambda}(0) \cdot 10^{-13}$ эрг / см ² · сек	$I_{\lambda} \left(\frac{\pi}{2} \right)$	D_{λ}	$I_{\lambda}(0) \cdot I_{\lambda} \left(\frac{\pi}{2} \right) \cdot 10^{-13}$ эрг / см ² · сек	$I_{\lambda}(0) \cdot D_{\lambda} \cdot 10^{-13}$ эрг / см ² · сек	$E_{\lambda} = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1} \cdot 10^{-13}$	$\frac{8}{3} \beta = \frac{I_{\lambda}(0) \cdot I_{\lambda} \left(\frac{\pi}{2} \right) - E_{\lambda}}{I_{\lambda}(0) \cdot D_{\lambda} - E_{\lambda}}$
1	2	3	4	5	6	7	8
3000	17,0	0,16	0,25	2,7	4,3	2,6	0,06
3500	29,0	0,19	0,27	5,5	8,0	5,1	0,14
4000	44,0	0,22	0,29	9,7	13,0	6,7	0,43
4200	46,0	0,23	0,30	10,6	13,8	7,4	0,50
4400	46,1	0,24	0,30	11,1	13,9	8,4	0,45
4600	45,2	0,25	0,31	11,3	14,0	9,4	0,41
4800	43,5	0,26	0,32	11,3	13,9	9,9	0,35
5000	41,6	0,27	0,32	11,2	13,3	10,4	0,28
5200	39,8	0,29	0,33	11,6	13,2	10,7	0,36
5400	38,0	0,30	0,33	11,4	12,5	11,0	0,27
5600	36,3	0,31	0,34	11,2	12,4	11,2	—
5800	34,7	0,32	0,34	11,1	11,8	11,2	—
6000	33,1	0,34	0,35	11,2	11,6	11,3	—
6200	31,6	0,35	0,35	11,0	11,2	11,2	—
6400	30,0	0,36	0,35	10,8	10,5	11,1	—
6600	28,5	0,37	0,36	10,6	10,2	11,0	0,50
6800	27,1	0,38	0,36	10,3	9,8	10,9	0,54
7000	25,6	0,39	0,36	10,0	9,2	10,7	0,46
7500	22,0	0,41	0,37	9,0	8,1	10,0	0,52
8000	19,0	0,44	0,38	8,4	7,2	9,2	0,40
8500	16,7	0,46	0,38	7,7	6,3	8,4	0,33
9000	14,3	0,47	0,39	6,7	5,6	7,8	0,50
9500	12,8	0,49	0,39	6,3	5,0	7,2	0,24
10000	11,7	0,50	0,40	5,9	4,7	6,6	0,36
11000	9,7	0,52	0,40	5,0	3,9	5,4	0,27
12000	8,2	0,55	0,41	4,5	3,4	4,5	0,00
13000	6,8	0,58	0,41	3,9	2,8	3,7	-0,22
14000	5,5	0,60	0,42	3,3	2,3	3,1	-0,25
15000	4,6	0,62	0,42	2,9	1,9	2,6	-0,43
16000	4,0	0,64	0,42	2,6	1,7	2,2	-0,80
17000	3,5	0,65	0,42	2,3	1,5	1,9	-1,00
18000	3,0	0,66	0,42	2,0	1,3	1,6	-0,75
19000	2,6	0,67	0,43	1,7	1,1	1,3	-0,50
20000	2,2	0,67	0,43	1,5	0,9	1,1	-0,50
21000	1,6	0,68	0,43	1,1	0,7	1,0	-0,33

Обратное положение, повидимому, в фиолетовой части спектра. Здесь интенсивность солнечного спектра недооценивается, так как, например, кривые для $I_\lambda(O) \cdot \Gamma_\lambda\left(\frac{\pi}{2}\right)$ и $I_\lambda(O) \cdot D_\lambda$, представленные на чертеже 2, падают на фиолетовой стороне после максимума неестественно круто и приближаются непропорционально к кривой для E_λ . Такое положение приводит к отрицательному значению β .

Данные наблюдений, взятые в основу настоящего исследования, недостаточны для количественного изучения проблемы. Особенно большая неопределённость и возможные ошибки обуславливаются экстраполированием $\Gamma_\lambda(\Theta)$ до $\Theta = 90^\circ$. По этим причинам не имеет смысла точно вычислять относительный коэффициент рассеяния β . Мы могли бы лишь оценить порядок величины этого коэффициента. Попытку сделать это представляет таблица 4, из которой явствует также и ход вычисления величины β .

По данным таблицы 4 имеем

$$\beta \approx 0,1. \tag{63}$$

Принимая во внимание формулу, определяющую β :

$$\beta = \frac{\pi s}{k + \frac{8\pi}{3}s}$$

находим, что

$$\frac{8\pi}{3} \frac{s}{k} = 0,4. \tag{64}$$

Итак, в полном коэффициенте поглощения-рассеяния

$$k + \frac{8\pi}{3}s$$

член $\frac{8\pi}{3}s$, связанный с рассеянием, составляет почти 40% от члена k , определяющего поглощение. По степени эффективности, как поглощение, так и рассеяние излучения в солнечной атмосфере являются в происхождении структуры солнечной атмосферы компонентами равного действия.

Для количественного рассмотрения проблемы необходимо, в первую очередь, расширить измерения $\Gamma_\lambda(\Theta)$ до $\Theta = 90^\circ$. Несмотря на большие затруднения технического характера, смеем полагать, что здесь ещё не использованы все возможности. Вспомним хотя бы предложение К. Шварцшильда измерять $\Gamma_\lambda(\Theta)$ на краю диска Солнца во время солнечного затмения. Не применялся, вероятно, до сих пор для измерения $\Gamma_\lambda(\Theta)$ и коронограф Лию, который должен бы дать точные и неискажённые диффузным светом результаты.

6. Вопросы, связанные с уравнением переноса излучения (17) в случае спектрального излучения.

На основе теории, развитой в параграфе четвёртом, мы имеем возможность изучать проблему рассеяния-излучения в атмосфере Солнца, не решая уравнения (17), а пользуясь лишь общими связями, непосредственно вытекающими из этого уравнения. Поэтому не возникает и тот вопрос, каким образом относительный коэффициент рассеяния β зависит от оптической глубины τ . Но зато, применяя этот метод, мы должны знать функцию $\Gamma_\lambda(\Theta)$, определяющую распределение яркости на видимом диске Солнца, для всех Θ от 0 до $\frac{\pi}{2}$. Вследствие пробелов в наблюдениях мы были принуждены покрыть путём экстраполирования те области, которые недоступны измерениям по техническим причинам. Но этот приём не обеспечивает достаточной точности.

Мы освободимся от неопределённости экстраполирования, если воспользуемся для изучения проблемы решениями уравнения (17). При нахождении этих решений возникает, однако, другое затруднение, состоящее в отсутствии данных о связи относительного коэффициента рассеяния β с оптической глубиной τ . Можно показать, что оба затруднения эквивалентны, т. е. что если мы знаем $\Gamma_\lambda(\Theta)$ для всех Θ от 0 до $\frac{\pi}{2}$, то этим определяется и зависимость β от τ , и наоборот.

Чтобы показать это, подставим в уравнение переноса излучения (17)

$$\frac{dI(\tau, \Theta)}{d\tau} \cos \Theta - I(\tau, \Theta) = -aE - \beta(3J - K) + \beta(J - 3K) \cdot \cos^2 \Theta \quad (65)$$

для краткости

$$aE + \beta(3J - K) = f, \quad \beta(J - 3K) = \psi. \quad (66)$$

Уравнение переноса излучения (65) примет тогда следующий вид:

$$\frac{dI(\tau, \Theta)}{d\tau} \cos \Theta - I(\tau, \Theta) = -f(\tau) + \psi(\tau) \cdot \cos^2 \Theta, \quad (67)$$

причём мы опускаем для простоты везде индекс λ . Попробуем решить уравнение (67) подстановкой:

$$J(\tau, \Theta) = \left(\frac{d}{d\tau} f \right) \cos \Theta + f + \int_{\tau}^{\infty} F(x) e^{-(x-\tau) \sec \Theta} \cdot \cos \Theta dx$$

при $0 < \Theta < \frac{\pi}{2}$ (68a)

$$J(\tau, \Theta) = \left(\frac{d}{d\tau} f \right) \cos \Theta + f - \int_0^{\tau} F(x) e^{-(x-\tau) \sec \Theta} \cdot \cos \Theta dx - \left[\left(\frac{df}{d\tau} \right)_0 \cos \Theta + f_0 \right] e^{\tau \sec \Theta} \quad \text{при } \frac{\pi}{2} < \Theta < \pi \quad (68b)$$

причём $\left(\frac{df}{d\tau} \right)_0$ и f_0 означают значения $\frac{df}{d\tau}$ и f при $\tau=0$. Функция $F(x)$, пусть остается пока неопределённой. Подставим выражение (68) для $I(\tau, \Theta)$ в уравнение (67). После целого ряда преобразований получаем условие для $F(\tau)$:

$$F(\tau) = \frac{d^2 f}{d\tau^2} - \psi. \quad (69)$$

Кроме того, из соотношения (68) (или из уравнения (67)) следует, что

$$I(\tau, \frac{\pi}{2}) = f, \quad \left[\frac{\partial J(\tau, \Theta)}{\partial \Theta} \right]_{\Theta = \frac{\pi}{2}} = - \frac{df}{d\tau}. \quad (70)$$

При $\tau = 0$, соотношения (68) и (70) дают:

$$I(0, \theta) = \left(\frac{df}{d\tau}\right)_0 \cos \theta + f_0 + \int_0^{\infty} F(x) e^{-x \operatorname{ces} \theta} \cos \theta dx \quad (71a)$$

$$I(0, \frac{\pi}{2}) = f_0, \left[\frac{\partial J(0, \theta)}{\partial \theta} \right]_{\theta = \frac{\pi}{2}} = - \left(\frac{df}{d\tau}\right)_0 \quad (71b)$$

Согласно условию, нам известно из наблюдений распределение яркости на диске Солнца, т. е. мы имеем

$$I(0, \theta) \equiv I(\theta)$$

для всех θ от 0 до $\frac{\pi}{2}$. По формулам (71b) нам известны тогда f_0 и $\left(\frac{df}{d\tau}\right)_0$.

Уравнение (71a), которое напишется в виде

$$I(\theta) - \left(\frac{df}{d\tau}\right)_0 \cos \theta - f_0 = \int_0^{\infty} F(x) \cdot e^{-x \sec \theta} \cdot \cos \theta \cdot dx, \quad (72)$$

может рассматриваться как интегральное уравнение, определяющее $F(x)$. Итак, функция $F(x)$ нам известна.

Предположим теперь, что мы нашли при помощи метода, изложенного в параграфе четвёртом, относительный коэффициент рассеяния β_0 и температуру T_0 верхнего слоя солнечной атмосферы (где $\tau = 0$). Для вычисления этих величин мы нашли также

$$J_0 \text{ и } K_0$$

(индекс 0 означает, что соответствующие величины взяты при значении $\tau = 0$. Кроме того, J_0 , K_0 и $J(\theta)$ зависят ещё, конечно, от длины волны λ).

Далее, из (71b) известны и

$$f_0 \text{ и } \left(\frac{df}{d\tau}\right)_0$$

и так как β_0 , J_0 и K_0 вычислены, то известно и

$$\psi_0 = \beta_0 (J_0 - 3K_0).$$

$F(\tau)$ даётся, как решение интегрального уравнения (72). Следовательно, формула (69) позволяет вычислить:

$$\left(\frac{d^2f}{d\tau^2}\right)_0 = F_0 - \psi_0 = F_0 - \beta_0(I_0 - 3K_0) \quad (73)$$

По изложенной схеме вычисляются три величины:

$$f_0, \left(\frac{df}{d\tau}\right)_0, \left(\frac{d^2f}{d\tau^2}\right)_0.$$

Рассмотрим теперь слой, оптическая глубина которого $\tau = \Delta\tau$, где $\Delta\tau$ мало. Мы можем написать:

$$f_{\Delta\tau} = f_0 + \left(\frac{df}{d\tau}\right)_0 \Delta\tau, \quad \left(\frac{df}{d\tau}\right)_{\Delta\tau} = \left(\frac{df}{d\tau}\right)_0 + \left(\frac{d^2f}{d\tau^2}\right)_0 \Delta\tau, \quad (74)$$

где индекс $\Delta\tau$ означает опять-таки то, что соответствующие величины следует взять при значении $\tau = \Delta\tau$.

При помощи формул (68) мы можем теперь вычислить $I(\Delta\tau, \Theta)$ и, таким образом, имеем для слоя солнечной атмосферы $\tau = \Delta\tau$ всё то, что мы знаем для слоя $\tau = 0$. Применяя описанный метод повторно, найдём $\beta_{\Delta\tau}$, $T_{\Delta\tau}$ и все другие необходимые величины. Отсюда сможем перейти к слою $\tau = 2\Delta\tau$, оттуда дальше к слою $\tau = 3\Delta\tau$ и т. д. Таким образом, мы можем, по крайней мере в принципе, вычислить для любого места в солнечной атмосфере относительный коэффициент рассеяния β , температуру T и другие важные параметры.

Приведённый анализ показывает, что, зная полностью распределение яркости на видимом диске Солнца для всех Θ и для всех длин волн λ , мы можем вычислить зависимость относительного коэффициента рассеяния β , температуры T и других величин от оптической глубины τ . Наоборот, всякая гипотеза относительно зависимости β от τ определяет распределение яркости на видимом диске Солнца. При этом, конечно, предполагается, что относительный коэффициент рассеяния не зависит от длины волны.

Этот результат заслуживает в рамках настоящего исследования подчёркивания по той причине, что он лишний раз

показывает, какое значение следует придавать измерениям распределения яркости на диске Солнца, в особенности на краю.

Настоящее исследование, пытаясь подойти к изучению структуры солнечной атмосферы новыми методами, базируется на данных наблюдений, которые позволяют сделать только качественные заключения. Поэтому мы принуждены ограничиться только рассмотрением внешних слоёв солнечной атмосферы. Проникновение вглубь атмосферы с помощью метода, развитого в настоящем параграфе, требует гораздо более полных результатов наблюдений. Но едва ли мы можем рассчитывать в ближайшее время на измерения, которые существенно превосходили бы прежние по объёму и по точности. Поэтому необходимо продолжать теоретическое исследование вопроса с целью найти методы, не связывающие вопроса с неудобным и неопределённым экстраполированием $I_{\lambda}(\theta)$. Эту задачу предстоит выполнить путём дальнейших исследований.

1. B. Strömgren. On the Chemical Composition of the Solar Atmosphere. Festschrift für Elis Strömgren.
2. Phil. Trans. Roy. Soc. A 228, 421, 1929. Bakerian Lecture.
3. A. S. Eddington. M. N. 89, 620, 1929.
4. S. Rosseland. Astrophysik auf Atomtheoretischer Grundlage, lk. 156, 1931.
5. Schandrasekhar. On the Radiative Equilibrium of a Stellar Atmosphere XII. Ap. J. 104, 2, 1946.
6. A. Unsöld. Physik der Sternatmosphären. Eriti leheküljed 88 kuni 103.
7. A. Unsöld. Physik der Sternatmosphären, lk. 467.
8. A. Unsöld. Physik der Sternatmosphären, lk. 98.
9. Mulders. Diss. Utrecht. 1934.
10. Abbot. Smitson. Ann. 3, 154, 1913. ja 4, 221, 1922.
11. Raudenbusch, A. N. 266, 301, 1938.

IV.

Raman'i efekti rakendamisest anorgaanilises ja orgaanilises keemias.

Ó. Kirret.

Üks viljakamaid füüsikalise uurimise meetodeid keemias on Raman'i spektroskoopia.

Raman'i spektroskoopia alal on viimase üheksateistkümne aasta jooksul tehtud arvukas hulk töid, millede arv küünib ligikaudu kahe tuhandeni.

Raman'i efekti alalt on avaldatud mitu head monograafiat, millest võib esile tõsta Kohlrausch'i ja James Hibben'i omi.

Oma avastuse esitas C. V. Raman 16. märtsil 1928. aastal South Indian Science Association'ile Bangalore's Indias. Selgus, et C. V. Raman'il ja tema kaastöölisel K. S. Krishnan'il ja S. Venkatesvaran'il oli õnnestunud terve rea ainete hajuspektrite uurimistel primaarsete spektraaljoonte kõrval spektrograafiliselt uusi jooni kindlaks teha. Need hindude uurimistulemused ilmusid kohe „Nature'is”.

Samal ajal, täiesti sõltumatult hindudest, avastasid sama nähtuse Nõukogude Liidu füüsikud Mandelstamm ja Landsberg, kellele järgi Nõukogude Liidu kirjanduses nimetatakse seda valguse hajutamise nähtust keemiliste ühendite ja molekulide poolt „kombineeritud valguse hajumiseks” ja vastavaid sekundaarseid spektraaljooni „hajunud valguse joonteks”. Muukeelses, eeskätt inglise ja saksa kirjanduses tuntakse Raman'i efekti ja vastavalt sellele Raman'i jooni jne.

Uurijate tulemused ei olnud juhuslikud, vaid aastaid kestnud töö vili.

K. R. Ramanathan ja hiljem ka K. S. Krishnan panid tolmu-
vabade vedelikkude polarisatsiooni uurides tähele, et need teata-
vat senitundmatut fluorestsentsi esile kutsuvad.

Juba Compton'i avastus näitas, et röntgeni- ja γ -kiirgus
elektronidega kokku põrgates põhjustas võnkesageduse muutusi.
See omakorda viis Raman'i mõttele, et see Krishnan'i poolt tähe-
lepanud nõrk fluorestsents tegelikult pole midagi muud kui täiesti
uus liik sekundaarset kiirgust. Raman ja Krishnan asusid uutele
katsetustele. Algul kasutasid nad ainete valgustamisel monokro-
maatilist filtritud valgust (päikese- ja hiljem elavhõbedaauru-lampi)
ning silm asendati spektrograafiga.

Valgust kujutletakse koosnevat üksikutest korpuskulitest,
nn. footonitest. Need footonid (valguskvandid) omavad vastavalt
valguse lainepikkustele mitmesuguseid energiasid. Ühe sellise val-
guskvandi energia ε on pöördvõrdeline valguslainepikkusele λ .
 h on Planck'i universaalne konstant $= 6,55 \cdot 10^{-25}$ absoluutühi-
kut.

λ on pöördvõrdeline võnkesagedusele (frekventsile) ν .

Seega $\varepsilon_{\text{valguskvandi footonienergia}} = h\nu_{\text{võnkesagedus}}$

Siit järgneb, et ühe valguskvandi energia lühilainelises osas
(sinises — kõrgema võnkesagedusega osas) on suurem kui pika-
lainelises punases osas.

Järgnevalt jälgime valguskiirt, mis koosneb ainult ühe
lainepikkusega valgusest, s. o. monokromaatilist valgust, näit.
naatrium- või filtritud elavhõbedaauru-lambi valgust.

Kui säärane valguskiir langeb läbipaistvale selgele ainele —
vedelikule, siis põrkavad valguskvandid vedeliku molekulidega
kokku. Valguskvandi mass on väike:

$$m_{\text{valguskvant}} = \frac{\varepsilon}{C^2}, \text{ kus}$$

C on valguse kiirus $=$ ca 300 000 km/sek
ehk $3 \cdot 10^{10}$ cm/sek.

Kui kujutleme vedeliku molekule piljardikuulidena, valgus-
kvante aga väikeste kergete kuulikestena, siis võib ette kujutada,

et molekuli translatoorne energia väga vähe muutub või peaaegu üldse ei muutu. Küll aga võib valguskvandi energiat suuresti mõjustada. Kui vedelikule (ainele) langeb monokromaatiline valgus, siis tekib nihutamatu hajuvkiirguse — Rayleigh' kiirguse kõrval nn. Raman'i kiirgus, mis ei ole määratud pealelangeva valguse võnkesagedusega ν_1 ega ka molekuli omavõnkesagedusega ν , vaid, nagu Raman suutis tõestada, on kombineeritud neist kahest.

$$\nu_{\text{Ramani kiirguse võnkesagedus}} = \nu_1 \pm \nu_{\text{molekuli omavõnkesagedus}}$$

Spektris näeme siis peale ergastaja valguse primaarjoonte (Rayleigh' kiirgus) veel Raman'i kiirgusest tingitud nn. nihutatud jooni.

Hajutatud valguse frekventsid on antud retsiprooksetes cm-tes (cm^{-1}). Nii suutis Raman näidata, et spektrogrammis on peale ergastaja valguse spektraaljoonte veel teisi jooni, millede arv, kaugus ja intensiivsus on varieeruvad, kui varieerida hajutatavat ainet.

Valguskvanditeooria järgi võib seda Raman'i efekti teket seletada järgmiselt.

Kui valguskvant, s. t. foton energiaga $h\nu$, tabab molekuli energia olekus E_m ja selle molekuli energia olekusse E_n tõukab, siis kiirgab foton oma ülejäänud energiaga $h \cdot \nu_{Ra}$, mis on nähtav ka järgmistest energiabilanssidest:

$$h\nu_1 + E_m = h \cdot \nu_{Ra} + E_n,$$

$$\nu_{Ra} = \nu_1 + \frac{E_m + E_n}{h} = \nu_1 + \nu_{\text{molekuli omavõnkesagedus}}$$

On tõsiasi, et E võib endast kujutada kõrgemat kui ka madalamat energia nivood.

Siit järgneb:

$$\nu_{Ra} = \nu_1 \pm \nu_{\text{mol. omavõnkesagedus}}$$

Siit järgneb, et ν omavõnkesagedus on primaarsageduse ja Raman'i võnkesageduse diferents:

$$\nu_{\text{omavõnkesagedus}} = \nu_1 - \nu_{Ra}$$

võivad omavõnkesageduse kohta võis Raman näidata, et see on identne ultrapunase spektroskoopiast tuntud aatomite omavõnkumisega molekulis.

Aatomid võnguvad nagu viulikeelgi kindlalt oma tooniga, s. t. olemasoleva molekuli omafrekventsiga, kusjuures ülem- ehk kombinatsioontoonide intensiivsused enamasti ei tule esile, nii et Raman'i efektis on praktiliselt tegemist põhivõngetega. On selge, et energia, mis ergastab aatomite ostsillaatsiooni molekulis, on olenev aatomitevahelistest tungidest, aatomite massidest ja ruumilisest korraldusest. Iga aine võtab footoniga kokkupõrkel niipalju energiat, kuipalju tema molekulaarseteks omavõngeteks on hädavajalik. (Jääkkiirgus on aineliselt karakterne.) Aine võnkespekter aitab määrata ruumilist ülesehitust, tungi sidemeid ja aatomite massi.

Mida tugevam on side (vedru) aatomite vahel, seda nõrgem on omavõnkesagedus (tuumavõnkesagedus), kuna võnkuvate masside kasvamine võnkesagedust vähendab.

Mõnda mõõtemetoodikast ja mõõteandmete kasutamisest.

Raman'i spektroskoopiat on võimalik kasutada aine kolme faasi puhul. Praktiliselt on kõige enam kasutamist leidnud vedela faasi spektrite uurimine. Tarvitatakse erilist Raman'i kambrit, mis kujutab endast õõnsat elliptilist peeglit, mille ühes tulitāpis asetseb elavhõbedaauru-lamp, teises klaasist erilise ehitusega küvett valgustatava ainega.

Vedelikule langev valgus hajutatakse ja see pääseb siis läbi kitsa pilu spektrograafi, milles homogeenne, monokromaatiline valgus lahutatakse üksikuteks spektraaljoonteks, mida registreerib fotoplaat. Elavhõbedalambi kaare pikkus on 12 cm ja ka pikem ning intensiivsus 3000 HK.

Spektrograafidena kasutatakse suuri Baush-Lomb'i, Carl Zeiss'i, Steinheil'i ja Hilger'i E_2 kvantitatiivse spektraalanalüüsi aparate. Vastavalt sellele, millist Hg-joont ergastajana soovi-

takse kasutada, filtritakse ebasoovitavad vastavate filtritega, mis asetsevad Raman'i kambris elavhõbedalambi ja küveti vahel.

Edasi mõõdetakse Raman'i joonte kaugused komparaatoriga

$\frac{1}{1000}$ mm täpsusega ergastavast Hg-joonest.

Vastavate spektrograafide kompensatsioonitabelitest arvutatakse leitud kaugused ümber vastavate Raman'i joonte lainepikkusteks, edasi lainepikkused võnkesagedusteks.

Nii $Hg\lambda = 4358,3 \text{ \AA}$; $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$,
sellele vastav $\nu = 22\,938 \text{ cm}^{-1}$.

Nüüd lahutatakse ergastava Hg_o joone võnkesagedusest määratava Raman'i joone võnkesagedus ja diferents annabki otsitava Raman'i joone $\Delta\nu \text{ cm}^{-1}$ -tes. Mida suurem on $\Delta\nu$, seda kaugemal asetseb ta ergastavast Hg-joonest fotoplaadil.

Raman'i efekti rakendamine anorgaanilises keemias.

Alustame meile kõigile igapäevasest elust tuntud 100%-liste hapnikhapetega, et kindlaks teha, kas nad onioon- või pseudo-kujus. See küsimus on täiesti lahendatav Raman'i efekti abil. Nii on Dadiou-Kohlrausch ja Simon veevaba HNO_3 spektris leidnud intensiivseid Raman'i jooni, mis kuuluvad nitriteist ja nitrorühmadest tuntud NO_2 -rühmale, ja ühe võõdi 3500 cm^{-1} , mis kuulub OH-rühmale. Lahjendamisel aga kaovad NO_2 -frekventsidsid, andes ruumi NO_3 omadele.

Selle järgi võib otsustada, et veevabas HNO_3 -s on meil tege- mist $NO_2 \cdot OH$ molekulidega (pseudohape), mis lahjendamisel H^+ (NO_3^-) aci-kujuks ümber moodustub. Täiesti analoogiline on lugu ka veevaba H_2SO_4 puhul, kus esinevad vedela SO_2 juures määratud frekventsidsid, mille kõrval veel võib leida OH-võõte, kuna aga sulfaatide juures leitud jooned puuduvad. Need ilmuvad alles veevaba happe lahjendamisel (SO_4 -st tingitud jooned).

Paraja lahjenduse puhul võib kindlaks teha kahte väävel- happe dissotsiatsiooniaset.

Väävelhape kui ka lämmastikhape on veevabad pseudo- happed.

Kõik senised väljendused põhinevad kahel reegil: ioon-
sidemed Raman'i efekti on inaktiivsed (ei anna R-jooni), kuna
kindlatele rühmadele vastavad omad teatud frekventsid.

Järgnevalt asume veevaba H_3PO_4 vaatlemisele.

Veevaba ortofosforhappe H_3PO_4 puhul on meil tegemist
4 Raman'i joonega, mis näitab selle happe väga sümmeetrilist
ehitust. Tähelepanuvääriv on siin, et OH-rühmale vastav frek-
vents ei tule esile, see tähendab, et H_3PO_4 peab olema aci-kujus.

Kui vesinik on ionogeenselt seotud, siis kuulub spekter
 PO_4 -rühmale. See vastab ka tõsioludele, sest fosforhappe Raman'i
spekter ei muutu happe lahendamisel ja happe spekter on seega
väga sarnane soolade spektriga. 5-aatomilisele rühmale, nagu
seda on PO_4 , on omane tetraedriline ruumiline korrastus.

Tetraedri raskuspunktis asetseb fosfor — P.

Placzek'i valikureegli järgi on tetraedri puhul ülimalt
oodata 4 joont, sealhulgas üks väga intensiivne, mis vastab
totaalsümmeetrilisele võnkele ($P \rightarrow O$).

Niisiis on ortofosforhappe aci-hape.

(H_3AsO_4 ja D_3AsO_4 pseudohapped.)

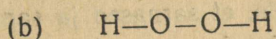
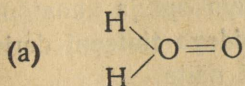
Veevabade hapete struktuuri jälgides oleks huvitav seda
teha veel tugevama happe, s. o. $HClO_4$ puhul.

Näeme, et 100%-lise happe puhul esinev OH-frekvents
 3500 cm^{-1} $H(ClO_4)$ = aci-kuju analoogiliselt H_3PO_4 -le laseks
oodata ruumiliselt tetraedri kuju. Joonte arv 6 (ilma OH-vöö-
dita), OH-vööt $\sim 3400\text{ cm}^{-1}$, niisiis homöopolaarselt seotud H-ga,
tõestab pseudokuju. 6 joont on omased kõrgema sümmeetriaga
püramiidile (klooriga raskuskeskmes ja H-ga Cl — O-telje piken-
dusel).

Molekul $ClO_3 \cdot OH$ omab püramidaalse struktuuri ning C_{3v}
sümmeetria ja on seega pseudohape.

Lahendamisel läheb hape aci-kujusse üle ja kujutab tetra-
eeder-molekuli, kusjuures algul tekivad molekuli segud vastavalt
 $OH \cdot ClO_3$ ja $H(ClO_4)$. Need mõlemad kujud ja üleminekud ükstei-
sesse on hästi nähtavad fotomeeterkurvidest.

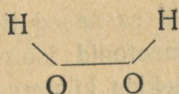
Geib ja Harteck uurisid vesinikülihapendit madalail temperatuuridel ja andsid sellele kaks kuju:



100%-list vesinikülihapendit ramanspektroskoopiliselt temperatuuril -50°C uurides näitavad Raman'i spektrid, et tegemist võib olla ainult (b) - k u j u g a.

Peale OH-vöödi leiame Raman'i spektris intensiivsema O—O-sidemele vastava joone 877 cm^{-1} , kuna O=O (kaksikside) frekventsi on oodata 1500 cm^{-1} juures, kuid seda siiski ei esine.

Nii ramanspektroskoopiliste uurimiste kui ka dipoolmomentide arvutamisel on leitud H_2O_2 molekuli ruumiliseks mudeliks järgmine kuju:



Neist vähestest, kuid kujukatest näidetest selgub, kui võrd paljude anorgaanilise keemia eriküsimuste lahendamisel, kus teised meetodid ei ole võimelised selgust tooma, on Raman'i spektroskoopia suure eduga rakendatav.

Raman'i efekti rakendamine orgaanilises keemias.

Nagu eeltoodust selgus, on Raman'i spektroskoopia eduga rakendatav paljude anorgaanilise keemia struktuuriuurimiste puhul.

Veel suurem ja mitmekülgsem on Raman'i efekti rakendamine orgaanilises keemias — ühendite struktuuri ja isomeeride mitmekesiste süsinikuühendite määramisel ja paljude muude eriküsimuste lahendamisel.

Järgnevalt peatugem veidi pikemalt konkreetse juhu vaatlemisel ja nimelt tiofeeni ja tema halogeenderivaatide struktuuri uurimise küsimusel.

Tiofeeni ja tema halogeenderivaatide ramanspektroskoopilisest uurimisest¹.

Uurides tiofeenirea ühendeid panid Steinkopf ja kaastöölised tähele, et sarnased ja samade sulamistäppidega tiofeeni derivaadid isegi segus sulamistäpi depressiooni ei näita.

Esmalt märgati seda mõlema trikloortiofeeni broomderivaatide puhul, kuid see nähtus ei piirdunud üksnes viimatimainituga, vaid ilmnis ka mõlemail tribroomtiofeeni ketoonidel, samuti ka mõlemail trikloortiofeeni atseetotienoonidel ja edasi kaheväärse elavhõbeda kloriidi derivaatidel.

Üldiselt oli teada, et sulamistäppide arvuliste suuruste sarnasus esineb tri- ja tetrahalogeeneritud tiofeenide puhul.

Nende isomeeride ühesugune käitumine oli eriliselt märgatav, nii et Steinkopf pidas neid esialgu identseteks aineteks, mis tema arvates erinevaist lähteaineist hoolimata asendumisel niiviisi ümber asetused, et tekkisid sarnased tiofeeni derivaadid.

Et kõik ülejäänud meetodid isomeeride iseloomustamiseks polnud kasutatavad, siis tekkis küsimus, kas probleemi ei saaks lahendada nende ainete Raman'i spektrite kaudu. Tuli selgitada, kas vastav asendus S-aatomi suhtes toimub α - või β -asendisse. Kohlrausch'i ja tema kaastööliste, samuti ka Bonino töödest oli teada, et α -asendused teatud rühmavõnkeid oluliselt enam tugevdavad kui β -asendused.

Seetõttu püstitati küsimus, kas tiofeeni derivaatismeere on Raman'i efekti abil võimalik eraldada ja identifitseerida, kusjuures saaks registreerida teatud erinevust α - ja β -asendusel.

Et Bonino, Kohlrausch'i ja Reitz'i poolt juba varem on viieliikmeliste heteroringide konstitutsiooni käsitletud, siis pidid teostatavad uurimised selle probleemi lahendamiseks teataval määral uuemaid andmeid tooma.

¹ Ette kantud Tallinna Polütehnilise Instituudi teaduslikul sessioonil 16. sept. 1945. a. Trükis ilmunud 1946. a. vene keeles Eesti NSV Tööstuse Teadusliku Uurimise Keskinstituudi Toimetustes nr. 6: „Раман-спектроскопическое исследование структуры тиофена и его галойдопроизводных“.

Senini olid määratud puhta tiofeeni 2-metüültiofeeni, 2,5-dibroomtiofeeni, samuti ka 2, 3, 5-trikloortiofeeni Raman'i spektrid. Seetõttu oli oluliselt tähtis koos teiste eespoolmainitud ainetega uurimise alla võtta veel 2-broomtiofeen, samuti ka tetrakloortiofeen.

Uuritud ainete valmistamisel me siinkohal ei peatu, küll aga võib mainida, et optiliselt puhaste ainete saamine nõudis erilist hoolt ja püsivust.

Valmistati:

- 1) tiofeeni, k.-t. $93,9-84,1^{\circ}/760$ mm.
- 2) 2-broomtiofeeni, k.-t. $151^{\circ}/760$ mm.
- 3) 2,5-dibroomtiofeeni, k.-t. $210,5-211^{\circ} C/760$ mm.
- 4) 2, 3, 5-tribroomtiofeeni, k.-t. $259-260^{\circ}/760$ mm (või $128^{\circ}/15$ mm).
- 5) 2, 3, 4-tribroomtiofeeni, k.-t. 257° (s.-t. $43-46^{\circ} C$).
- 6) tetrakloortiofeeni, s.-t. $36^{\circ} C$.

2. Aparatuur ja meetodika.

Spektrite ülesvõtted toimusid „Steinheil G. H.”-spektrograafiga, mille dispersioon $20 \text{ \AA}/\text{mm}$ sinises osas (3 prismat). Ergastavaks jooneks oli Hg_e joon $= 4358,3 \text{ \AA}$ ($= 22\,938,3 \text{ cm}^{-1}$).

Teisi optilisi andmeid: kollimaatorobjektiiv $f = 650$ mm; valgusjõud 1 : 10, kaameraobjektiiv $f = 250$ mm; valgusjõud 1 : 3,5 jne.,

plaadid: „Agfa isochrom” $\frac{18^{\circ}}{10}$ Din.

Tiofeeni, 2-broomtiofeeni, 2,5-dibroomtiofeeni, 2, 3, 4-tribroomtiofeeni, 2, 3, 5-tribroomtiofeeni ja tetrakloortiofeeni valgustamine toimus Raman'i eri-valgustuskambriga „Zeiss”.

Nagu eelkatsed näitasid, oli siin tegemist äärmiselt valgustundlike ainetega. Ka puhas tiofeen näitas 5-tunnisel valgustamisel plaadi tugevat tagapõhja. Kui tiofeeni broomderivaatide valgustamisele asuti, toimus juba lühikeste valgustusaegade järel

ainete intensiivne pruunistumine (broomi eraldumine). Et seda segavat takistust vältida, filtriti elavhõbeda kaarvalgus jeena sinifiltriga C_1 , mis laseb läbi ainult Hg ergastavat joont 4358,3 Å ja ultravioletti absorbeerib.

Nüüd võidi tiofeeni juba 10—20 tundi valgustada ja seejuures saadi ülesvõtteid, kus Raman'i jooned olid hästi mõõdetavad.

2-broomtiofeeni, mida samuti kui tiofeenigi saadi suures puhtuses, võidi 10 tundi valgustada. Enam kui 10-tunnistel valgustusaegadel tuli valgustatavat ainet värske ainega vahetada, et vältida ainete pruunistumist.

Et tegemist oli võrdlemisi haruldaste ainetega, pealegi veel vähestes hulkades, siis tuli konstrueerida erilisi väikesi 0,5—2,0 ml suurusi küvette.

Tahkeid aineid, nagu 2, 3, 5-, 2, 3, 4- ja tetrakloortiofeeni tuli valgustusaja vältel hoida vedelas olekus. Tribroomtiofeeni isomeeride valgustamisel võis tähele panna, et 2, 3, 4-tribroomtiofeen on palju valgustundlikum kui 2, 3, 5-tribroomtiofeen. 20 tundi kestnud valgustamisel oli 2, 3, 5-tribroomtiofeen vaevalt kollaseks värvunud, kuna 2, 3, 4-tribroomtiofeen oli selle aja jooksul tugevasti pruunistunud; plaadil oli tugev tagapõhi.

Et saada 2, 3, 4-tribroomtiofeeni mõõdetavaid Raman'i spektreid, selleks tuli kasutada lühemaid valgustusaegu.

3. Plaatide mõõtmisi.

Plaatide mõõtmiseks kasutati väikest Abbe komparaatorit (firma „Zeiss”). Algul mõõdeti elavhõbeda joont Hg_d (sest et see eriti terav oli) ja määrati Hg sinise asukoht:

$$Hg_{roheline} - Hg_{sinine} = 15,754 \text{ mm.}$$

Siis määrati komparaatoriga joone asukoht millimeetrites. Nii saadud väärtustest tuli ergastava joone väärtus lahutada ja vastavast tabelist leiti Raman'i joone lainepikkus Å-des.

Selle tabeli aluseks olid raua ja elavhõbeda spektrid. Nii saadud lainepikkused arvutati Kayser'i tabeli alusel ümber lainearvuks (-sageduseks).

Edasi lahutati ergastava joone lainearvust Raman'i joonte lainearv.

Diferents andis Raman'i joone $\Delta\nu$ väärtuse.

Järgnevalt on toodud $\Delta\nu$ väärtused (cm^{-1}). Sulgudes olevad arvud annavad joonte intensiivsused, kusjuures 5 — intensiivsem ja 0 — nõrgim joon on d-difuussed (hajunud), l. d. = lai difuusne.

Tiofeen.

453(1½), 482(½), 607(3½), 658(½), 698(½), 750(2), 833(5), 841(½), 1033(5), 1081(5), 1358(5), 1405(5), 2992(½), 3073(d. 2½), 3107(l. d. 3).

2-broomtiofeen.

199(d. 1½), 212(d. 2), 333(4), 633(4), 741(2), 842(2½), 1045(2), 1085(2), 1221(2), 1342(3), 1401(5), 3092(d. 2).

2,5-dibroomtiofeen.

241(1), 648(4), 724(1), 1056(1), 1204(1½), 1306(2), 1394(d. 1½), 1408(d. 5), 3105(l. d. 1½).

2, 3, 4-tribroomtiofeen.

226(3½), 299(3), 362(5), 834(1), 880(1½), 966(1), 1005(1½), 1128(1½), 1307(1½), 1400(4), 1508(½), 1584(0).

2, 3, 5-tribroomtiofeen.

229(4), 336(3), 488(1), 538(½), 6706(3½), 818(1), 992(1), 1130(1½), 1207(½), 1248(1½), 1285(1½), 1405(5), 1512(1), 1608(0).

Tetrakloortiofeen.

166(d. 5), 354(d. 4), 394(2), 442(4), 498(1), 557(1), 643(½), 798(1), 1008(1), 1123(½), 1245(1), 1309(4), 1374(d. 1), 1422(d. 3), 1439(d. 4), 1512(½).

Katseliste tulemuste tõlgitsus.

Algul püstitatud probleemile, kas Raman'i efekti abil on võimalik 2, 3, 4- ja 2, 3, 5-trihalogeentiofeene eraldada, annavad uurimised mõlema vastava broomderivaadi kohta selgust.

Nii on 2, 3, 4-tribroomtiofeeni alal kuni 600 cm^{-1} 3 tugevat joont, kuna 2, 3, 5-tribroomtiofeenil samas sageduspiirkonnas on 5 joont, nende hulgas 2 tugevat.

Muidu esineb peaaegu kõikide tiofeeni derivaatide puhul 600 ja 700 cm^{-1} vahel tugev sagedus, mis aga 2, 3, 4-tribroomtiofeenil (samuti ka tetrakloortiofeenil) puudub, kuna ta 2, 3, 5-tribroomtiofeenil on olemas.

800 ja 1400 cm^{-1} vahel asetsevate nõrkade joonte võnkesageduste korral pole erilist erinevust märgata.

Üldiselt on aga nende mõlemate isomeeride spektrid väga erinevad. Niisiis pole enam mingit kahtlust, et siin on tegemist kahe erineva ainega.

Raman'i efekt registreerib seega α - ja β -asenduste erinevust, mis on tingitud kolmandast halogeeni aatomist.

Vastavalt pürrooli ja furaani puhul saadud andmetele võib ka tiofeeni puhul öelda, et kõik selle C—H-sidemed on aromaatsel laadi, sest kõik nad asetsevad 3000 cm^{-1} -st kaugemal.

See on ka kooskõlas tiofeeni omadustega, mille kohta Victor Meyer juba 1888. a. kirjutas: „Ma ei kahtle selles, et tiofeeni, mis kujutab endast üht aromaatselt põhiainet, ja tema derivaate, mis keemiliselt ja füüsikaliselt on bensoolist vaevalt eraldatavad, võib pidada ehtsaks aromaatseliseks aineiks.”

Kui α -asendi vesinik asendada metüülrühmaga, siis võib täheldada alifaatseid C—H-võnkeid (2862 ja 2922 cm^{-1}). Halogeenasendus seevastu võimaldab täheldada aromaatseliseid sagedusi (frekventse). Kui aga kaks vesiniku aatomit halogeeniga asendada, siis võib näit. Bonino või referendi poolt määratud 2,5-dibroomtiofeeni spektrist näha, et C—H-võnked 2 joone asemel esitavad ühte nõrka.

Üllatav on aga C—H-võngete puudumine trihalogeneeritud tiofeenides, mida kinnitavad meie 2, 3, 4- ja 2, 3, 5-tribroomtio-

feenide spektrid, samuti ka Bonino poolt määratud 2, 3, 5-tri-klooriofeenid.

Lähem selgitus oleks, et halogeenasenduste tõttu muutub C—H-side polaarsemaks ja et trihalogeneeritud produkti juures üks C—H-side näib olevat kaotanud oma homöopolaarse iseloomu ning niivõrd ionogeenseks muutunud, et ta enam ei allu Raman'i efektile.

Muide ionogeensed sidemed ei allu Raman'i efektile. See võiks tähendada seda, et viimane vesinik on omandanud happelisi omadusi, mis aga pole keemilise iseloomuga kooskõlas.

Th. Förster'i ja E. Hückel'i uurimistest on teada, et mõnikord, kui ülejäämine side on kaksikside, võib toimuda C—H-sideme dissotsiatsioonienergia vähenemine juhul, kui üks tekkivatest radikaalidest kvantmehaanilise resonantsi tõttu stabiliseerub. Dissotsieerumata molekulide tasakaaluseisu läheduses pole viimane nähtus märgatav, seega pole ka molekulvõnked registreeritavad. Nii pole enamikul juhtudest lagunemisel tekkivaid homöopolaarselt seotud aatomeid (mitte ioone), nii nagu see on atsetüleenis vesinikkude puhul, spektreist näha.

Nüüd aga on trihalogeneeritud tiofeenide puhul vahekorrad sootuks teised.

Spektri kohaselt on olemasolev C—H-side nii polaarseks muutunud, et ta on Raman'i efekti suhtes inaktiivne.

See peab samuti väljenduma keemilistes omadustes. Ja Steinkopf'i poolt ongi tähele pandud, et α -asendi klooriaatomid võivad β -asendi joodiaatomeid lõdvendada, nii et õnnestub viimaste karboniseerimine 2,5-dikloor- 3, 4-triofeendikarboonhappeks. Kas see lõdvendus põhineb sellel, et β -asendi joodiaatomi side on polaarsem, see tähendab, on liikuvamaks muutunud, pole otsekohe järeldatav.

Igal juhul on halogeeniaatomi mõju naabersüsiniku välissidemele katseliselt tõestatav.

Ka allpool diskuteeritav α - ja β -süsinikuaatomi elektriline mitte-ekvivalentsus ei selgita seda asjaolu. Võiks oodata, et positiivsed α -süsinikuaatomid C—H-sideme polariteedi poolest

käituvad teisiti kui negatiivsed süsinikuaatomid. Side võiks ühel juhul olla niivõrd heteropolaarne, et C—H-võnked täiesti maha surutakse.

Tegelikult puudub C—H-võnge nii 2, 3, 4- kui ka 2, 3, 5-tribroomtiofeeni puhul.

Olemasolevate katseliste andmete põhjal pole selle kohta võimalik rahuldavat selgitust anda.

Tõsiasi tõttu, et vähemalt 2 C—H-sagedust (2 tugevat — 3073 ja 2106 cm^{-1} ja üks nõrk — 2992 cm^{-1}) tiofeenis nähtavale tulevad, muutub analoogia bensooli, furaani ja pürrooliga seetõttu mõistetavaks, et siin on C—H-sideme jaoks võimalikud 2 võnkeliiki: üks tiofeenringi tasapinnal ja teine sellega risti.

Teatavasti on joon 3080 cm^{-1} juures täielikult depolariseeritud. Ta ei saa seetõttu ühelegi sümmeetrilisele võnkele vastata.

Joone 3110 cm^{-1} depolarisatsiooniate on oluliselt väiksem kui 6:7, ta vastab seega vesiniku tuuma sümmeetrilisele võnkele.

Reitz'i uurimiste kohaselt omab tiofeen tõenäoliselt sümmeetria C_{2v} , s. t. ühe sümmeetriatasapinna, mis läbib heteroatomi ja ühe sümmeetriatelje.

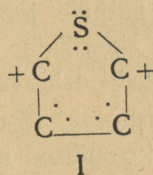
Selle asjaolu tõttu on ka võimalus arvata, et α - ja β -asendi vesiniku aatomid on erinevad.

Teatavasti on α - ja β -asendi keemilised erinevused tiofeeni puhul väga suured. Nii reageerib tsüaanbromiid kergesti tiofeeniga, välja arvatud juhtudel, kui α või α' on varem halogeenitud.

Samuti kui tiofeeni α - ja α' -vesinikud on asendatud juba alküülradikaalidega, saadakse väga väikese saagisena β - ja β' -halogeenasendatud tiofeene.

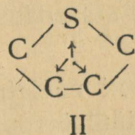
Sellest selgub, et „tiofeeni α -asendi vesiniku aatom on reaktsioonivõimelisem β -asendi vesiniku omast”. Bonino järgi on tiofeeni β -asendi süsinikud α -asendi süsinikest erinevad. Seejuures on α -asendi süsinik positiivne ja β -asendi süsinik negatiivne, nagu seda selgesti näitavad vastavad elektronkonfiguratsioonid.

Tiofeeni tuuma jaoks võiks seega kujutleda konstitutsiooni, kus kaksikpunktid kujutavad endast elektronide paare anti-paralleelsete spinnidega. Bonino oletab, et analoogiliselt pürroolile on β -asendi süsiniku ja heteroaatomi (S) vahel olemas teatud vastastikune mõju:



S-elektronid on antiparalleelsete spinnidega, millel kvant-mehhaaniliste arvestuste kohaselt on võimalus teatavat mõju avaldada.

See on väljendatud tavalise noolsümboliga:



Et see sideme-energia on märgatavalt väiksem kui kolme harilikku C—C-sideme oma, siis võib I ja II kuju vahel resonantsi oodata. Sellest resonantsist on tiofeeni aromaatne iseloom mõistetav.

β -süsinikuaatomi ja S-aatomi vahelisele vastastikusele mõjule tuleks Bonino järgi võtta 1400 cm^{-1} juures asuv joon. Muidugi on siis loomulikult mõistetav, et α - ja β -asendi süsinikuaatomite erinevad elektronide arhitektuurid annavad erinevaid, C—H-sidemetele vastavaid võngete liike.

α -asendi C—H-side tekiks süsiniku $2s$ -elektroniga ja võiks olla lineaarne kombinatsioon s - ja p -elektronide eneste funktsioonidest, kuna aga β -asendi süsinikuaatom vesinikuga oleks õige p -elektronide funktsioon. Sellega saaks seletada α - ja β -vesinikuaatomite erinevat käitumist.

Et väävliaatomi kaks elektroni tuumas esinevad, saab mõistetavaks tiofeensulfoonide mitteolemasolu ja tiofeeni väävlirefraktsiooni vähenemine.

Samuti saab selgust joonte kuuluvuse kohta, mille sagedus on suurem kui 2800 cm^{-1} . Nende teket põhjustavad C—H valentsvõnked, kusjuures paljude joonte teke väga tõenäoliselt on põhjustatud võngete steeriliste erinevuste kui ka α - ja β -süsinikuaatomi elektroniliste erinevuste poolt.

Steerilised diferentseerumised üksinda põhjustavad 2 C—H-sagedust, steerilised ja elektronilised aga 4 C—H-sagedust.

C—H-sageduste muutumist väljaspool tuuma toimuvate asenduste tõttu puudutame allpool koos ringpingega.

Siinkohal veel mõni sõna α - ja β -vesiniku asenduste mõjust ülejäänud tiofeeni sagedustele.

Bonino oma uurimistes pürrooli ja ta asendusproduktide kohta püstitas reegli, et üks α -asendus (substitutsioon) ei mõjusta ringsagedust.

Tõeliselt on Bonino poolt näidatud ringsagedus 1460 cm^{-1} ka metüülpürrooli ja N-atsetüülpürrooli juures muutumatuks jäänud. Opsopürrooli (β -metüül- β -etüülpürrooli) β -asenduste puhul pandi tähele nihet 1460 cm^{-1} -lt 1530 cm^{-1} -le. Teisiti on vahekorrad tiofeeni puhul. Siin arvatakse sagedust 1400 cm^{-1} ringi poolt põhjustatuks. α -asendi vesiniku asendamisel metüülrühmaga võib märgata sageduse tõusu 1440 cm^{-1} -le, kuna α -asendusel broomiga joont 1400 cm^{-1} vähe mõjustatakse, küll aga muutub sagedus 1360 cm^{-1} -lt 1340 cm^{-1} -le ja $\alpha\alpha'$ -dibroomtiofeeni puhul koguni 1310 cm^{-1} -le. Seega me näeme, et tiofeeni puhul on α -asendusel mõju teatavaile joontele.

On ebatõenäoline, et seda põhjustavad asendavate ainete aatomite erinevad massid, sest sageduse alanemine 1360 cm^{-1} -le on nii kloori kui ka broomi puhul sama. Halogeen võib põhjustada naabersidemete C—S ja C—C sageduste muutumist.

Üllatav on veel tiofeeni puhul Raman'i spektris sageduse 1600 cm^{-1} puudumine. Viimane kuulub C=C-sidemele.

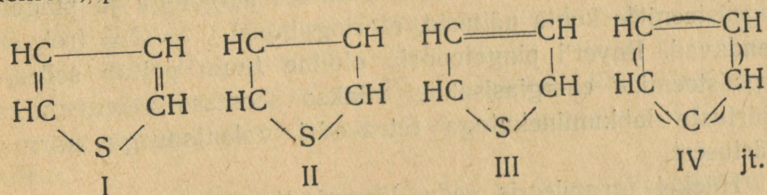
See tähelepanek viib järeldusele, et tiofeen ei oma ühtki kaksiksidet. Võib veel viidata sellele, et tiofeen omab puht-aromaatset iseloomu.

Bensooli puhul on teada, et puht-olefiinset $C=C$ -kaksiksidet ei lokaliseerita resonantsist.

Puht-aromaatne resonantsvorm võib ka siin olefiinse kaksiksideme puudumist põhjustada ja mõistetavaks teha vastavate 1600 cm^{-1} juures asuvate sageduste puudumise Raman'i efektis. Sellega on kooskõlas Stern'i ja Klebs'i andmed, kes pürrooli termokeemilistel uurimistel võisid näidata, et saadud väärtused on kooskõlas ainult $C-C$ -lihtsidemetega. Seda järeldust kinnitavad Barchewitz'i ja Garach'i vaatlused, kes uurisid ultrapunaseid absorptsioonspektreid alal $0,6-1\ \mu$ ja ühe vöödi puudumisest $0,97$ juures järeldavad, et tiofeenis on ainult üks etüleenkaksiksise.

Nende autorite uuringuist selgub, et α - ja β -asendi puhul on asendused energeetilisest seisukohast tugevasti erinevad. α -asendus nõrgendab lühilainelise vöödi intensiivsust, mis $\alpha\alpha'$ -asendusel koguni kaob, kuna β -asendus (substitutsioon) kõrgendab pikalainelist vööti, mille intensiivsus $\beta\beta'$ -asendusel muutub 0-ks.

Kui arvestada Raman'i spektreid, pürrooli puhul toimetatud termokeemilisi mõõtmisi ja tiofeeni ultrapunase absorptsiooni, siis tuleb seniseid valemeid, mis kujutasid normaalseid kaksiksidemedeid, pidada ebatõenäolisteks.



Selle järgi võiks arutleda vaid Steinkopf'i ja Bamberger'i valemeid. Steinkopf ei kujuta tiofeeni mitte tsüklilise küllastamatu sulfiidina (nagu I valem), vaid niisama küllastatud ühendina kui bensooligi. Tema valem võiks kujutada täielikku liht- ja kaksiksideme resonantsi, mis tegelikele tõsiasjadele näib kind-

lasti kõige lähem olevat. Steinkopf (IV valemi kohaselt) ei väljenda täielikku kaksiksidemete puudumist, ta põhjendab α -asendi vesiniku suuremat reaktsioonivõimelisust sellega, et „inaktiivne kaksikside süsiniku ja väävli vahel on nõrgem kui süsiniku ja süsiniku vahel”. Tema ja Bamberger'i valemid väljendavad erinevust tsüklilise alifaatse sulfiidi ja tiofeeni vahel. Faktiliselt ei omagi tiofeen alifaatse sulfiidi omadusi, näit. lõhna, omadust alküülhalogeene liita, sulfoksüüde ja sulfoone anda.

Tiofeeni omadus sulfoone mitte anda on kooskõlas sellega, et vähemalt kaks väävli valentsi on seotud tuumaga, mida väljendab ainult Bamberger'i valem.

Bamberger'i valem ei selgita suurt tiofeeni α - ja β -asendi keemilist erinevust, mida juba ülal puudutati.

Raskused kõrvalduvad, kui α -asendi süsiniku aatomit ei peeta elektriliselt β -asendi süsinikuga ekvivalentseks, nagu seda väitis Bonino, samuti ka, kui β -süsinikuaatomi ja heteroaatomi vahel valitsevad teatud tungid (mõjud) vastavalt valemile:



See on kooskõlas ka kõigi keemiliste omadustega, kuid vastuolus Kohlrausch'i uuemate uurimistega.

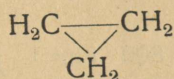
Nagu mainitud Reitz'i tiofeeni polarisatsioonmõõtmiste puhul, ei oma tiofeen kõrgemat sümmeetriat kui C_{2v} . See lubaks aga siiski oletada kaksiksidemeid, kuid sellele räägib vastu sageduse 1600 cm^{-1} puudumine.

Kohlrausch ja Seka oma uurimistes pingetega ja pingeteta ringsüsteemide kohta näitasid, et ringpinged $C=C=C$ frekvensi alandavad. Bayer'i pingeteooria oluline tuum peitub selles, et ringsüsteemide energiasaldus viiakse seosesse valentsnurkade väärtuste lahkuminekutega tetraeedri valentsnurga normaalväärtusest.

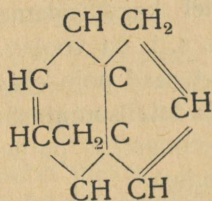
Hückel formuleeris seda järgmiselt: mitmeist võimalikest naabruses asetsevaist süsinikuaatomite asendeist on eelistatum tetraeedersümmeetriline asend kui energaetiliselt stabiilsem. Erinevused sellest asendist nõuavad suuremat energiasaldust.

Nende järeldustega on kõige paremas kooskõlas järgmised tõsiasiad. Esiteks: pingutatud tsüklopropani põlemissoojus on

suurem kui arvutusel saadud vastava arvu metüleenrühmade põlemissoojus.



Teiseks: mõlematest ditsüklopentadieni HC = CH-rühmadest säilitab vähemat hüdrearimissoojust see, mis asetseb molekuli suurema pingega ringsüsteemis (bitsüklohepteen-ring): see on ka suurema energiasaldusega.



Väga väärtuslikku lisa võiks omalt poolt anda deuteriumtiofeeni Raman'i spektrite uurimine.

Kohlrausch ja ta kaastöölised pidasid tiofeeni joont vastavaks 1410 cm^{-1} δ (C = C) võnkele ja 1360 cm^{-1} ν (C = C) võnkele. Seda võis seosesse viia ringpingest tingitud sageduste muutumisega.

Dibroomtiofeeni puhul on δ (C = H) oletatav joon 1410 cm^{-1} 2 sageduseks jagunenud, samuti intensiivse frekventsi ilmutisel 1400 cm^{-1} juures trihalogeenderivaatides; nende puhul ν (C = H) puudumine teeb Kohlrausch'i eelnimetatud jt. väite küsitavaks, seda enam, et tetrakloortiofeeni puhul esinevad 1400 ja 1440 cm^{-1} 2 tugevat frekventsi, mis mingil tingimusel ei saa olla δ (C = H) võnked.

Neid viimaseid võiks pidada C—Cl sagedusteks ja 1300 cm^{-1} juures olevat frekventsi arvata vastavaks C = C kaksiksidadele, kui arvestada Steinkopf'i tähelepanekut, et halogeeniaatomid (α -asendis) β -asendi liiteid liikuvamaks teevad, mis tähendaks tiofeeni frekventsi 1360 cm^{-1} alandamist 1310 cm^{-1} -le tetrakloortiofeenis.

Tekib küsimus, kas 1300 cm^{-1} ümbruses asetsevad frekventsid ei kuulu C—S-sidemeile, mis tavaliselt esinevad sellistes suurustes.

Liht- C—C-sidemed 800 cm^{-1} juures, mis 2,5-dibroomtiofeeni kui ka 2, 3, 4- ja 2, 3, 5-tribroomtiofeeni, samuti tetra-kloortiofeeni puhul erinevad, pole täiesti kindlad, sest et nad mõnede halogeenderivaatide puhul osaliselt puuduvad või esinevad väikese intensiivsusega.

Kokkuvõttes võib öelda, et saadud spektrite alusel on tiofeen aromaadne ühend, millel kaksiksidemed tõenäoliselt esinevad ainult resonantsvormina, s. t. on voolavad. Nad ei ole nagu bensoolis lokaliseerunud, s. t. nad pole ehtsad etüleensidemed.

Eeltoodud üldistest ja detailsematest näidetest selgub Raman'i efekti eriti laialdane rakendamine paljude teoreetiliste molekuli-struktuuri määramiste puhul.

Hea eduga on Raman'i spektroskoopiat rakendatud ka paljude praktiliste ülesannete lahendamisel, näit. mitmesuguste süsivesinike segudes üksikute süsivesinike määramiseks, millel tänapäeval on suur tähtsus, näit. sünteetiliste kütteainete koostise kindlakstegemisel.

О применении Раман-эффекта в неорганической и органической химии.

О. Киррет.

Резюме.

Одним из наиболее плодотворных методов физического исследования в химии является Раман-спектроскопия.

Этот эффект светорассеяния был открыт в один и тот же год индусским физиком Раманом и советскими физиками Мандельштамом и Ландсбергом.

Раман-эффект применяется с успехом как в неорганической, так и в органической химии при исследовании структуры химических соединений. В первой части доклада рассмотрены проблемы определения структуры некоторых важных неорганических кислот (серной, фосфорной и азотной) и перекиси водорода посредством Раман-спектроскопии.

Вторая часть доклада посвящена применению Раман-спектроскопии в случае органических соединений; особенно детально изложены результаты исследований тиофена и его галоидопроизводных, опубликованные в выпуске Центрального Научно-Исследовательского Института Промышленности № 6, 1946 г.: О. Киррет, „Раман-спектроскопическое исследование структуры тиофена и его галоидопроизводных“.

Hapestest ühenditest põlevkiviõlis.

H. Raudsepp,

keemiateaduste kandidaat.

Jälgides keemiatööstuse arengut viimaseil aastakümneil, võib tähele panna eriti suurt tõusu orgaaniliste, eriti aga alifaatsete ühendite tootmise alal. See on tingitud asjaolust, et sellele keemiatööstuse sektorile on tekkinud uus lai baas toorainete alal. Selleks baasiks on õlitööstus oma saadustega. Kui veel paar-kümmend aastat tagasi maaõli kui ka tema saadusi hinnati ainult kütteinete seisukohalt, on maaõli õli tootvates maades praegu üheks tähtsaks toorainete baasiks keemiatööstustele. Maa-gaasid kui ka utte- ja krakkimistehaste gaasid leiavad laialdast kasutamist mitmesuguste solventide, alkoholide, estrite ja sünteetilise kautšuki tootmiseks. Tööstuse kõrvalsaadusi, rafinat-sioonijääke, kasutatakse mitmesuguste plastiliste masside valmis-tamisel jne. Alifaatsed süsivesinikud on muutunud tooraineks keemia rasketööstusele. Näiteid pole raske leida. Võib vaid mär-kida, et möödunud sõja ajal toodeti sünteetilist kautšukit kogu-ses, mis moodustab 90% ennesõjaaegsest üldisest kautšukitoodan-gust. Bensiniist väljafraktsioonitud heksaan ja heptaan on lähte-aineks sünteetilise bensooli ja toluooli tootmisel, millede toodang sõja ajal ületas mitmekordselt sõjaeelse koksitööstuse baasil raja-neva bensooli- ja toluoolitoodangu. Laiaulatuslik lõhkeainete toodang möödunud sõja ajal oli võimalik ainult selle tõttu, et oli lahendatud toluooli tootmine maaõli saaduste baasil.

Põlevkivi, Eesti NSV suurim loodusvara, peab tulevikus kujunema ka baasiks meie tärvavale keemiatööstusele. Põlevkivi uttegaasid võivad lähteaineks olla alkoholide ja teiste solventide tootmisel, utteveest eraldatakse atsetooni ja teisi ketoone, põlev-

kivi fenoolid peavad moodustama baasi meie plastmasside ja süntaanide tööstusele.

Siinkohal peatume põlevkiviõlis esinevail happestel ühenditel, mis õlide rafineerimisel eraldatakse leelise lahusega põlevkiviõli fraktsioonidest ja mis moodustavad küllalt tähelepanuväärse osa õlifraktsioonidest.

Tabelis 1 on esitatud happeste osiste % üksikutes õlifraktsioonides. Andmed on toodud Kohtla õlitechase toorõli kohta.

Tabel 1.

„Leelises lahustuvate” hulk Kohtla õlitechase toorõlis.

Õlifrakts. piirid °C	Frakts. % toorõlist	Happeste ühendite % fraktsioonis
Kuni 150°	8,5	2,0
150—175°	5,4	2,8
175—200°	5,5	5,0
200—225°	6,2	7,2
225—250°	5,3	9,7
250—275°	6,4	19,8
275—300°	9,3	29,2
Kokku	46,6	

Tabelist nähtub, et happeste ühendite % madalamates fraktsioonides on väike, edaspidi aga tõuseb ja juba fraktsioonist 275—300° C moodustab 30%. Sellest nähtub, et happeste ühendite kasutamise probleem on ulatuslikum, kui seda esialgu sageli ehk arvatakse, ja alles happeste ühendite õige ning otsustarbekohase kasutamise puhul võime rääkida põlevkiviõli ratsionaalsest kasutamisest.

Kasutamisprobleemide juurde asudes tuleb kõigepealt lahendada küsimus, millistest ühenditest koosnevad õlis leiduvad happesed osad. On ekslik arvata, et keemilise koostise selgitamine on teisejärguline küsimus ja et eelkõige on tarvis leida teid praktiliseks kasutamiseks. Sellise suhtumisega ei jõuta kunagi

üllesseatud probleemi õigele ja ratsionaalsele lahendusele, sest puudub ülevaade esinevate ühendite kohta ning pole võimalust sihikindlalt ja teaduslikult uurimistööd juhtida ja planeerida.

Põlevkiviõli fraktsioonides esinevad happesed ühendid eraldatakse õli fraktsioonide rafineerimisel leeliselahuse abil nn. fenolaadina. Millest koosneb fenolaat, fenolaati läinud õliosa? Fenolaat ja selles esinevad ühendid on olnud mitmete uurijate tööobjektiks. Nimetatagu siin esijoones prof. P. Kogerman'i (1), kes oma kaastöolistega juba üle 20 a. tagasi andis küllaltki selge üldülevaate põlevkiviõli happetest ühenditest. Prof. Kogerman ja ta kaastöölised näitasid, et põlevkiviõlis esinevaist happetest ühenditest moodustavad peasa mitmesugused fenoolid. Tal läks korda isoleerida ja identifitseerida 7 ühendit: o-, m- ja p-kresooli, kolme ksüleenooli ja pürokatehiini. Peale fenoolide esinevad fenolaadis karboonhapped, moodustades üksikutes fraktsioonides kuni 15% happetest ühenditest. Prof. Kogerman annab ka karboonhapete üld-iseloomustuse, märkides nende küllastatud ja küllastamata iseloomu ning fraktsioonide ekvivalent- ja molekulaale. Edasi märgib prof. Kogerman fenolaadis neutraalõli esinemist, mis nõuab eraldamist fenoolide kasutamisel.

Hiljem on mitmed uurijad fenoolide ja karboonhapete probleeme käsitlenud, ilma et nad oleksid seni toodud süsteemi olulist muudatust toonud. Identifitseeritud ühendite hulk on tõusnud 9-ni. Nendest uurijatest nimetatagu Leningradi uurijate rühma esotsas prof. Braun'iga (2), kes, uurides 1934. a. Oudova põlevkiviõli fenole, lisas varem toodud ühendeile p-etiüülfenooli, ja NSV Liidu Teaduste Akadeemia töötajaid esotsas prof. Lanin'iga (3), kes identifitseerisid Kohtla-Järve krakitud õli fenoolides dimeetüülhüdrokinooni. Karboonhapete osas oletab Braun elementaaranalüüside põhjal happeid 7, 8 ja 9 C-aatomiga molekulis, ilma et ta kindlaid andmeid tooks ühendite identifitseerimise kohta.

Millest on tingitud raskused põlevkiviõli fenoolide uurimisel? Üks põhilisi raskusi on põlevkiviõli fenoolide komplitseeritud koostis. Põlevkivist õli tootmine kuulub nn. madalatemperatuuriliste utteprotsesside hulka. Seetõttu sisaldabki põlevkivi uttetõrv üle

20% happesi ühendeid, mis omavad väga komplitseeritud koostist. Selles mõttes erinevad põlevkiviõli happesed ühendid tunduvalt nn. kõrgetemperatuuriliste utteprotsesside abil saadud kivi-
søetõrvas esinevaist happetest ühendeist ega võimalda kasutada neid kogemusi, mida omame koksiahjude ja gaasitehaste tõrva fenoolide kohta. Uuemad uurimised orgaaniliste ühendite pürogeensete reaktsioonide alal on utteprotsesside kemismi palju selgust toonud. On selgunud, et teatavad ühendite rühmad on püsivad ainult teatavas temperatuurivahemikus. Seetõttu domineerivad ka eri temperatuuridel utmisel erinevad reaktsioonisaadused, ehkki lähteaine on samane, samuti vastupidi — sama uttetemperatuuri ja -režiimi juures töötamisel tekivad peaaegu sarnased reaktsiooniproduktid ka erinevaist lähteaineist. Neist põhjustest ongi tingitud suhteliselt vähene fenoolide esinemine kõrgetemperatuuriliste utteprotsesside tõrvades ja nende tugev esinemine madalatemperatuuriliste protsesside tõrvades, olenematult sellest, kas utmisel on kasutatud kivisütt või põlevkivi. Seejuures on tähelepanuväärne, et happeste ühendite vähenemine toimub peamiselt fenoolide kõrgemate homologide arvel, mistõttu toorfenoolis pääsevad domineerima madalama moolkaaluga ühendid ja moodustavad isegi kuni 75% happeste ühendite üldkogusest. Sellest tingituna on esinevate keemiliste ühendite hulk ka kõrgetemperatuuriliste protsesside tõrvades väiksem ja segu iseloom lihtsam, kuna juba fenool, kresoolid ja ksüleenoolid moodustavad peaosa „fenoolide” üldhulgast. Vastandina sellele esineb fenoolide madalamaid homologe madalatemperatuuriliste protsesside tõrvades suhteliselt vähe, seevastu koosneb peamass fenoolide rühma kõrgematest homologidest, kusjuures võimalike keemiliste ühendite arv võib tõusta üle 500.

See on põhjuseks, miks kõrgetemperatuuriliste protsesside tõrv on paremini ja täpsemalt uuritud ning iseloomustatud, kuna aga madalatemperatuuriliste protsesside tõrvade fenoolide suhtes omame üldiselt ainult vähe andmeid.

Viimasel ajal nii valitsuse kui ka partei poolt fenoolide küsimusele osustatud suure tähelepanu tõttu on põlevkiviõli fenoolide

probleem uuesti päevakorda võetud. Fenoolide ja karboonhapete alal on teostatud nii Teaduste Akadeemia Tööstusprobleemide Instituudis kui ka Tallinna Polütehnilises Instituudis suuremaid uurimistöid. Nende tulemusena on selgunud juba mitmedki küsimused ja on loota fenoolide probleemide lõplikku lahendust.

Millest koosneb põlevkiviõli happene osa, mis põlevkiviõli rafineerimisel õlist NaOH-lahusega eraldatakse? Lõhustades happega fenolaati, saame õlika vedeliku, mille erikaal kui ka viskoosus on suuremad kui lähteõlil. Saadud nn. toorfenoolid koosnevad peamiselt fenoolirea mitmesugustest homologidest. Nimetamisväärselt esineb saadud segus ka karboonhappeid ja ca 25% segust moodustab fenolaadis lahustunud neutraalõli, millel ei ole happelisi omadusi.

Vaatleme esiteks neutraalõli, mis ei evi küll happelisi omadusi, kuid siiski esineb fenolaadis alalise komponendina happeste ühendite kõrval ja raskendab paljudel juhtudel fenoolide

Tabel 2.

Aromaatsete süsivesinike lahustuvus 100 ml-s seebilahuses.

	Na palmitaadi 10%-line lahus	Na stearaadi 10%-line lahus	Na stearaadi 10%-line lahus + 10 ml fenooli
Bensool	1,8 ml	1,6	9,2
Toluool	1,3	1,5	13,9
Ksülool	1,4	1,0	37,0

kui ka karboonhapete kasutamist. Sellest seisukohast lähtudes omab neutraalõli osa toorfenoolis küllalt suurt tähtsust selleks, et teda lähemalt tundma õppida. Neutraalõli esinemine happeste ühendite kõrval leeliselahuses on tingitud nn. kaaslahustuvuse ehk solubilisatsiooni nähtusest, millele tõepärase teoreetilise seletuse on andnud McBain (4) ja tema kaastöölised. Paljud maaõli uurijad on täheldanud vees lahustumatute süsivesinikkude lahustuvust rasvhapete soolade vesilahustes. Juba Engler ja Dieckhoff (5) leidsid 1892. a., et karboonhapete vesilahused võivad lahustada nimetamisväärsed hulgal vees lahustumatuid süsivesinikke.

Lahustuvus suureneb eriti järsult, kui karboonhapete lahustele lisada fenooli. Tabelis 2 on toodud Engler'i ja Dieckhoff'i järgi süsivesinike lahustuvus seebilahustes.

Varem seletati seda nähtust emulgeerumisega, s. o. oletati vees lahustumatu süsivesiniku emulgeerumist seebi vesilahuses. McBain ja tema kaastöölised näitasid, et pole tegemist lahustumatu süsivesiniku emulgeerumisega vesilahuses, vaid omapärase lahustuvusnähtusega ja et alles süsivesiniku teatava kontsentratsiooni ületamise puhul võib lahustunud õli kõrval esineda emulgeerunud õli. Niisugust iseloomu peab omama ka neutraalõli lahustumine fenolaadis, sest siin esinevad kaaslahustumiseks kõik vajalikud elemendid — karboonhapete soolade lahus fenoolide lisandiga, mis on vajalikud süsivesinike lahustumiseks vesifaasis. Seda kinnitavad ka autori poolt Tallinna Polütehnilises Instituudis teostatud katsed neutraalõli ekstraheerimise alal fenolaadist solventide abil. Need katsed tõendavad, et neutraalõli pole fenolaadis emulgeerunud (välja arvatud üliküllastuse juhud), vaid lahustunud. Seda asjaolu pole neutraalõli fenolaadist eraldamisel varem arvestatud, mis on põhjustanud pettumusi isegi tööstuslike seadmete rakendamisel. Mis puutub neutraalõli keemilisse koostisse, siis puuduvad selle kohta lähemad andmed. Ka puuduvad andmed selle kohta, kui võrd süsivesinike kõrval esinevad mitmesugused neutraalsed hapnikühendid, millede lahustuvus võiks loogiliselt suurem olla süsivesinike lahustuvusest ja mis seetõttu võiksid kontsentreeruda fenolaati. „Lahustuvust” on senini vaadeldud emulgeerumisena, mille puhul selekteerimist polnud põhjust oletada.

Teise rühma ühendeist moodustavad karboonhapped. Kui võtta vaatluse alla piirkond keemispäiriga kuni 300°C , siis võiksid teoreetiliselt esineda kõik küllastunud ja küllastumata alifaatsed karboonhapped $\text{C}_5\text{—C}_{13}$, alitsükliilised karboonhapped $\text{C}_5\text{—C}_{12}$, aromaatsetest karboonhapetest bensoehappest kuni happeni C_{10} ja vähene arv oksü- ja ketohappeid. Võimalike ühendite hulk on eriti suur küllastunud ja küllastumata alifaatsete hapete reas, kus juba üksi happeid $\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$, s. o. dekaan-

happeid, võiks esineda üle 6000 isomeeri. Seega juba võimalike küllastunud ja küllastumata karboonhapete hulk peaks ületama mitmekümnetuhandelise arvu. Võimalike alitsükliliste kui ka aromaatsete hapete hulk oleks tunduvalt väiksem, eriti aromaatsete hapete oma, kus võimalike ühendite arv ei ulatu üle paarikümne. See on muidugi maksimaalselt võimalik hulk. Arvestades aga mitmesuguste karboonhapete stabiilsust põlevkivi uttemperatuuril, on selge, et tegelikult võib esineda ainult murdosa sellest suurest arvust. Nagu varem mainitud, puudusid viimase ajani lähemad andmed esinevate karboonhapete kohta. Uurimised, mis teostati 1946. a. Teaduste Akadeemia Tööstusprobleemide Instituudis Orgaanilise Keemia ja Tehnoloogia Laboratooriumis (6), võimaldasid sellele tundmatule alale pilku heita, nii et praegu võib karboonhapete koostise probleemi lahendamaks pidada. Peatugem seepärast mainitud uurimistööd pikemalt.

Fenolaadist, millest süsihappega olid sadestatud fenoolid, sadestati väävelhappega karboonhapped. Uurimise alla võeti 1946. a. plaani kohaselt karboonhapped, keemispriirides kuni 260° C. Karboonhappeid fraktsioneeriti selleks otstarbeks eriti konstrueeritud fraktsioonikolonniga 10 mm Hg rõhul. Fraktsioonid võeti 1—3° piirides. Saadud fraktsioonidel määrati erikaal, murdumisnäitaja, happearv ja joodarv Margosches'i järgi.

Analüüsides määratud konstantide väärtuste muutumist üksikute fraktsioonide järgi, võib teha huvitavaid järeldusi. Võib tähele panna, et üksikute fraktsioonide konstandid ei tõuse (ega lange) pidevalt keemistäpi tõusuga, vaid et teatavate fraktsioonide kohal nii füüsikalised kui ka keemilised näitajad maksimume või miinimume omavad. Happeid iseloomustavaks konstandiks on happearv, mille maksimume võis tähele panna fraktsioonides 53,5—69,5⁰, 82,5—84,1⁰, 97,9—98,2⁰, 111,2—112,7⁰, 124,1—124,7⁰, 135,0—136,0⁰ (10 mm Hg rõhul).

Mainitud fraktsioonide keemistäppide võrdlus rasvarea hapete keemistäppidega osutas normaalseile küllastunud hapetele alates butaanhapest kuni nonaanhappeni. Üksikute fraktsioonide hapetest valmistatud happeamiidide sulamistäppide mää-

ramine võimaldas kindlalt identifitseerida järgmisi happeid: butaanhape-1 (norm. võihape), pentaanhape-1 (norm. palderjanhape), heksaanhape-1 (norm. kaproonhape), heptaanhape-1 (norm. önanthape), oktaanhape-1 (norm. kaprüülhape), nonaanhape-1 (norm. pelargoonhape). Seega tõusis põlevkiviõlis identifitseeritud ühendite hulk 6 üksuse võrra. Arvestades normaalsete rasvhapete süsteemikindlat esinemist, võib oletusi teha senini veel uurimata osade kohta keemistemperatuuri piirides 260° C ülespoole kuni 300—350° C. Siin peaksid esinema normaalsed, küllastunud rasvarea happed kuni C₁₅. Madalamad happed võihapest allapoole peaksid aga esinema karboonhapete sadestamisel järelejäänud emalahuses, arvestades nende hapete suurt lahustuvust vees ja põlevkivi uttevees.

Näib, et karboonhappe probleem on põhijoontes lahendatud, kuigi osa fraktsioone on veel uurimata. Peamise osa karboonhapetest moodustavad küllastunud normaalsed rasvarea karboonhapped. See annab aga ka vastuse põlevkiviõli karboonhapete kasutamise võimaluste kohta. Nii võiksid karboonhapete madalamad fraktsioonid kasutamist leida estritena, keskmised tekstiilseepide ja emulgaatorite valmistamisel, kõrgemad aga seebitööstuses.

Konstantide analüüs võimaldab aga veel teisi järeldusi teha. Happearvu andmete järgi võiksime näiteks hapete hulka arvutada. Suurt huvi võib aga pakkuda teiste konstantide analüüsimine. Kui võrrelda üksikute fraktsioonide happearve murdumisnäitajatega, siis võib tähele panna, et kõrgele happearvule vastab madal murdumisnäitaja ja vastupidi. Et karboonhapete murdumisnäitajad n_D^{20} paiknevad ~ 1,42—1,45 piirides, fenoolide murdumisnäitajad n_D^{20} aga ~ 1,53—1,54 piirides, siis peab järeldama, et vastavates fraktsioonides fenoolid on kuhjunud. Sedasama tõendab ka erikaalude andmete analüüs. Fenoolide erikaalud on karboonhapete erikaaludest tunduvalt erinevad ja kõrgemad. Huvi võib pakkuda fraktsioonide 69,5—72,2 ja 72,2—74,1 (10 mm Hg) analüüs. Need fraktsioonid peaksid oletuste kohaselt sisaldama fenooli (oksübensooli), mida senini põlevkivi-

fenoolides pole identifitseeritud. Varasemad uurijad otsisid asjatult fenooli fenoolide osas, kuna ta hea lahustuvuse tõttu esineb karboonhapete Na-soolade lahuses karboonhapete juures. Teisest küljest osutavad aga käesoleva uurimistöö andmed sellele, et kasutatud fenoolide ja karboonhapete eraldamine süsihappegaasiga ei võimalda fenoolide ja karboonhappeid üksteisest eraldada, kuigi näiteks karboonhapete ja fenoolide dissotsiatsioonikonstantidest lähtudes peaks see võimalik olema. Tuleb arvestada fenoolide kaaslahustuvust karboonhapete lahustes, mida seni pole tehtud.

Uurimistöö teostamise praeguses faasis jääb veel lahtiseks küllastumata karboonhapete esinemise küsimus. Joodarvu maksimumid esinevad happearvude miinimumide ja karboonhapete vahefraktsioonide kohtadel. See laseb oletada, et joodarvud pole põhjustatud mitte küllastumata karboonhapetest, vaid lisaiainetest (saastainetest), millestena käesoleval juhul esinevad fenoolid. Seda asjaolu ei ole eelnevad uurijad arvestanud, kirjutades saadud joodarve lihtsalt küllastumatuse arvele.

Joodarvu kasutamine küllastumatuse väljendamiseks on välja kujunenud rasvade uurimisel, mis koosnevad küllastunud ja küllastumata rasvhapete glütseriididest. Et siin puuduvad joodiga reageerivad saastained, siis on joodarv tõelikuks küllastumatuse väljendajaks. Teiste süsteemide puhul ei tohi aga joodarvu küllastumatuse väljendamiseks rakendada, kui pole arvestatud substitutsiooniks ja teisteks reaktsioonideks kasutatud joodihulka. Üldiselt on teada, et fenoolid võivad reageerida joodiga eriti vesikeskkonnas, kus jood veega reageerides moodustab HOJ, mis fenoolidega reageerides moodustab substitutsiooni- kui ka oksüdatsiooniprodukte. Oksüdatsiooniproduktide moodustumine esineb eriti difenoolide puhul, mis võivad saastainena esineda üle 240° C keevates fraktsioonides. Seetõttu võiks oletada, et küllastumata happed üldse puuduvad. Autor keeldub siiski seda järeldust tegemast, kuni seda lähemad uurimised pole tõestanud. Eriti oktaan- ja nonaanhapete fraktsioonide konstantide kompleksi analüüs ei võimalda seda järeldust veel teha.

Edasi vaatleme suurimat ühendite rühma põlevkiviõlides esinevaist happestest ühenditest — fenoolide. Kui võtta vaatluse alla kuni 300° C keevate fenoolide piirkond, siis võiksid siin esineda kõik fenoolid alates monohüdroksübensoolist ja lõpetades fenoolidega C_{13} — C_{14} , s. o. fenoolidega, mis omavad üks või mitu kõrvalahelat, kokku kuni 7—8 C-aatomiga, edasi naftoolid, metüleeritud naftoolid ja vähesel arvul dimetüül- (trimetüül-) naftoolid. Samuti võiksid esineda veel mõned hüdroksüdifenüülid. Kokku võiks mainitud piirkonnas esineda ca 400 keemilist ühendit.

Võrreldes põlevkivifenoolide üksikute fraktsioonide erikaale vastavalt keevate fenoolihomoloogide erikaaludega, peame kindlasti järeldama, et põlevkiviõli-fenoolid sisaldavad veel dihüdroksübensoole, pürokatehiini, resortsiini, hüdrokiinoni ja nende lihtsamaid homolooge — metüül-, dimetüül- ja etüül- derivaate, kokku ca 30 ühendit, peale selle veel C_6 — C_{10} difenoolide pool-etteid. Kokku võiks nimetatud piirkonnas esineda ca 500 ühendit. See on maksimaalne teoreetiline võimalus. Praktiline võimalus peab olema tunduvalt väiksem. Nendest teoreetiliselt võimalikest ühenditest on senini identifitseeritud järgmised: o-, m-, p-kresoolid, p-etüülfenool, 1,4-dimetüül-2-hüdroksübensool, 1,3-dimetüül-4-hüdroksübensool, 1,2-dimetüül-4-hüdroksübensool, 1,3-dimetüül-2,5-dihüdroksübensool. Tõrvaveest on isoleeritud pürokatehiin, kogusummas 9 keemilist ühendit võimalikust 500-st, peamiselt lihtsamatest homoloogidest.

Analoogilise ühendite rea moodustavad tiotenoolid. Väavli-protsendi järgi arvutades ei tohi nende % olla üle 5, seepärast jätame need vaatluse alt välja.

Missugused perspektiivid on praegu fenoolide koostise selgitamisel? Olukord pole praegusel momendil nii vähe lootustäratav, kui ta seda oli 20 aastat tagasi. Moodsa teaduse ja laboratooriumitehnika otstarbekohane rakendamine annab kindlaid lootusi probleemi lahendamiseks. Autoril on praegu käsil suure eraldamisvõimega kõrgvaakuum-fraktsioonikolonne konstrueerimine. Teiseks on Tallinna Polütehnilises Instituudis juba üle

paari aasta toimunud fenoolide määramise ja identifitseerimise meetodite uurimine, mis võimaldab kindlasti üksikutesse fraktsioonidesse koondunud keemilisi ühendeid identifitseerida. Eeltoid on teostatud juba pikemat aega kava- ja sihikindlalt, mistõttu on kindlaid lootusi fenoolide koostise probleemi lahendamiseks lähemas tulevikus.

Teaduse moodsad teoreetilised kui ka praktilised saavutused annavad meile probleemide lahendamiseks võimsa ja vaheda relva, mida me peame oskama kasutada oma sotsialistliku kodumaa ja rahva hüvanguks.

Kirjandus.

1. Когерман, Р. Tartu Ülikooli orgaanilise keemia laboratooriumi uurimistööd põlevkivi alal (äratrükk „Loodusest“). 1924.
Journ. of the Soc. of Chem. Ind. Vol. XLVI. N. 14. 138—143. (1927).
2. Броун, А. С. и Цейтлин, А. С. Хим. тв. топлива VII, вып. 2, 136, 1936.
3. Ланин, В. А. и Горохомолинская, М. С. Ж.П.Х. 16, 47, 1943.
4. McVain. Advances in Colloid Science. Vol. I. 1942.
5. Engler ja Dieckhoff. Arch. Pharm. u. Ber. Deutsch. pharm. Ges. 230, 561. 1892.
6. Raudsepp, H., ja Valdek, R. Karboonhappeist põlevkiviõli kergemais fraktsioones. ENSV TA Tööstusprobleemide Instituut. 1946. a. teemat. uurimistöö.

О кислотных соединениях смолы горючего сланца.

Х. Раудсепп,

кандидат химических наук.

Резюме.

Кислотные соединения смолы горючих сланцев составляют значительную часть отдельных фракций сланцевой смолы. Рациональное комплексное использование сланцевой смолы возможно только при полном использовании всех компонентов, в том числе и кислых компонентов фракции сланцевой смолы.

Часть, которая отделяется при рафинировании отдельных фракций сланцевых масел щёлочью, т. е. которая переходит в фенолят, состоит из фенолов, органических кислот и нейтрального масла.

Присутствие нейтрального масла в феноляте неправильно объясняют эмульгированием масел в феноляте. Нейтральные масла находятся в растворенном виде в водном растворе солей карбоновых кислот и фенолов.

Карбоновые кислоты сланцевой смолы, по последним исследованиям (Институт Промышленных Проблем АН ЭССР), состоят в главной массе из предельных кислот алифатического ряда. Из них идентифицированы шесть нормальных предельных кислот жирного ряда (н. масляная, н. валерианогая, н. капроновая, н. эвнатоновая, н. каприловая и н. пеларгоновая).

Исследование состава фенолов является трудной задачей ввиду сложности состава сланцевых фенолов. Из них идентифицировано до сих пор разными исследователями 9 соединений. В настоящее время в Таллинском Политехническом Институте разрабатываются специальные методы отделения и идентифицирования фенолов, что даёт возможность приступить к исследованию состава фенольной части кислых соединений сланцевой смолы.

Метод дифференциальных спектров в инфракрасной области от $0,6 \mu$ до 10μ .

Академик А. Теренин и Н. Ярославский.

Разработанный в лаборатории фотохимии Гос. Оптического Института метод дифференциальных спектров в инфракрасной области ($0,6-10 \mu$) [1], [2] позволяет с большой

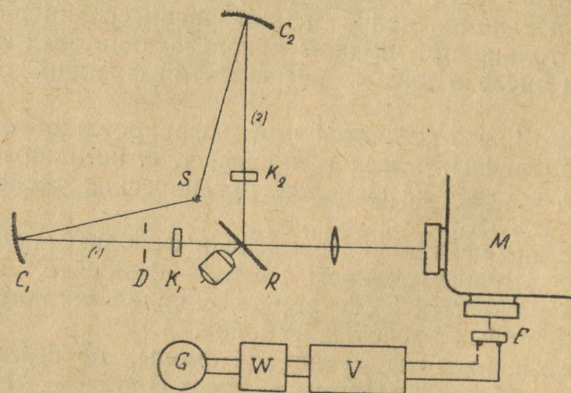


Рис. 1.

чувствительностью производить: 1) регистрацию спектра поглощения данного объекта в виде острых „пиков“ на нулевой горизонтальной линии, соответствующих полосам поглощения исследуемого вещества (запись кривой распределения энергии по спектру при этом исключается), 2) выявление и запись спектра поглощения слабой компоненты в присутствии сильнопоглощающих компонент путём исключения (компенсации) спектров поглощения последних, 3) обнаружение незначительных изменений в интенсивности и положении по-

лос поглощения двух веществ в результате их междумолекулярного взаимодействия.

Сущность метода заключается в том, что от источника света S (рис. 1) сферическими зеркалами C_1 и C_2 ответвляются два пучка (1) и (2), которые отдельно проходят через две кюветы K_1 и K_2 , затем сходятся и по одному направлению

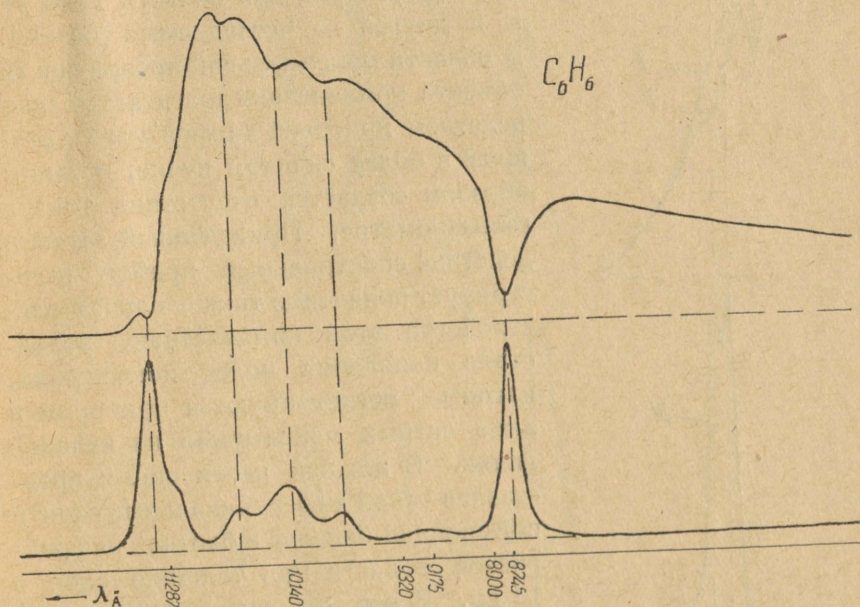


Рис. 2.

входят в монохроматор M , за выходной щелью которого помещён безинерционный приёмник инфракрасной радиации F , соединённый с усилителем переменного тока V , выпрямителем W и записывающим гальванометром G . Вращением зеркального диска с вырезами R достигается попеременное освещение приёмника спектрально разложенным светом, прошедшим через различные кюветы. Гальванометр даёт отклонения только в том случае, если при движении спектра вдоль выходной щели монохроматора нарушается равенство

интенсивностей двух монохроматических пучков. Это произойдет, когда в кюветы K_1 и K_2 помещены вещества, различно поглощающие свет.

При обычном использовании схемы в одной из кювет помещается прозрачное для исследуемой области вещество (например четыреххлористый углерод или сероуглерод для области до 6μ), а в другой — исследуемый объект. В области максимальной прозрачности объекта компенсация достигается посредством ирисовой диафрагмы D , стоящей в более сильном пучке, и таким образом создается отсутствие тока в гальванометре. Приведенный затем в действие спектральный прибор регистрирует появление тока в случае расстройств этой компенсации, вследствие появления полос поглощения, которые регистрируются прибором в виде острых максимумов на нулевой линии. В нижней части рис. 2 представлен такой дифференциальный спектр поглощения бензола в близкой инфракрасной области при толщине слоя в 10 см . В верхней части рисунка приведена запись обычного спектра пропускания бензола, полученная при полном закрытии второго (компенсирующего) пучка света дифференциальной схемы.

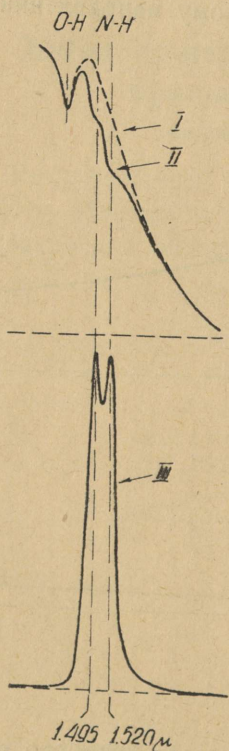


Рис. 3.

Таким же образом, поместив в одну из кювет один растворитель, а в другую — раствор, можно полностью скомпенсировать спектр растворителя и выделить только спектр поглощения растворенного вещества. Так, кривые I и II рис. 3 дают в области у $1,5 \mu$ пропускание раствора уксусной кислоты в CCl_4 (I) и пропускание раствора уксусной

кислоты в CCl_4 с 3% содержанием анилина (II). Кривая (III) в нижней части рисунка представляет собой дифференциаль-

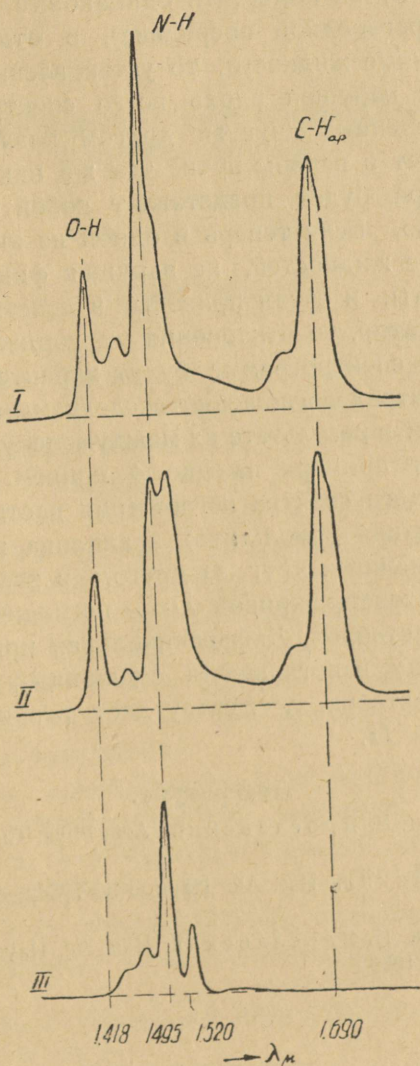


Рис. 4.

ный спектр анилина в растворе с исключением поглощения растворителя — уксусной кислоты.

Если в оба пучка поместить одинаковые двойные кюветы (кюветы с перегородкой посередине), в отделения которых налить различные жидкости, то установленный световой баланс не будет нарушен вдоль всего спектрального интервала — помещённые друг за другом различные вещества поглощают свет в первом пучке так же, как и во втором, и запись прибора будет представлять собой горизонтальную нулевую линию. Если теперь в одной из кювет произвести перемешивание жидкостей, не нарушая фиксированного положения кюветы, и затем привести в действие записывающий монохроматор, то отклонения от горизонтальной нулевой линии на спектрограмме будут характеризовать те изменения в спектрах поглощения исследуемых веществ, которые произошли в результате их межмолекулярного взаимодействия. Для примера на рис. 4 кривой *I* представлена запись суммарного спектра поглощения растворов фенола в CCl_4 (концентрация 2 мол/литр) и анилина в CCl_4 (1:30 по объему), помещённых друг за другом в различных отделениях двойной кюветы, кривой *II* — поглощение тех же перемешанных растворов. Дифференциальная кривая *III* характеризует разницу в поглощении смешанных и разделённых компонентов раствора, т. е. сразу даёт разницу между кривой *I* и кривой *II*.

Литература.

- [1] А. Теренин и Н. Ярославский, Acta Phys. Chim. URSS **17**, 240 (1942).
- Ю. А. Корсуновский, Изв. Ак. Наук СССР, Сер. физ. V (№2-3), 128 (1941).
- [2] А. Теренин и Н. Ярославский, Изв. Ак. Наук СССР, Сер. физ. IX (№ 3), 203, (1945).

Bituumeni puhumine Kiviõli tunnelahju raskeõlist hapniku ja õhuga.

J. Usk,
keemiateaduste kandidaat.

I. Sissejuhatus.

Varasemad andmed asfaltbituumeni tarvitamise kohta ulatuvad 5000—4500 aastasse tagasi. Senini leitud ja säilinud märkide järgi on olnud esimesed asfaltbituumeni tarvitajad babüloonlaste eelkäijad Eufрати orus — sumerlased. Nad olevat tarvitanud asfaltbituumeni kivist kujudele ilustiste kinnitamiseks¹. Samuti on säilinud andmeid asfaltbituumeni tarvitamise kohta muistsete pärslaste ja egiptlaste poolt.

Babüloonlased olevat tarvitanud asfaltbituumeni sideainena niihästi ehitusel kui ka teede tegemiseks aastat 2500 tagasi.

Kuid hiljem, kuni XIX sajandini, vaibus asfaltbituumeni kasutamine ehituste ja teede tegemise otstarbel, välja arvatud Peruu, kus inkad olevat veel XVI sajandil kasutanud asfaltbituumeni teede tegemiseks².

Eelnimetatud asfaltbituumen oli looduslikku päritolu.

Esimesed katsed valmistada kunstlikult asfaltbituumeni kivisöetõrvast ja maaõli jääkidest kuuluvad möödunud sajandi lõppu ja need katsed on seotud De Smedt'i³ nimega, kes oksüdeeris kivisöetõrva ning maaõli jääke kaaliumpermanganaadiga 149° C t⁰-l, ja Byerley⁴ omaga, kes imes õhku läbi maaõli jääkide

¹ H. Abraham, *Asphalts and Allied Substances*, 1929, lk. 4.

² Sealsamas, lk. 11, 16.

³ USA patendid 237662 ja 239466, 1881.

⁴ USA patent 524130, 1894.

204—316^o C t^o-l ja olenevalt õhu läbiimemise kestusest sai sealjuures erinevate pehmenemistäppidega produkte.

Kuid alles 1910. ja 1920. a. vahel kujunevad välja asfaltbituumeni tööstuslikud valmistamisviisid maaõlijääkidest ⁵.

Nõukogude Liidus organiseeriti asfaltbituumeni valmistamine happejääkidest Bakuus a. 1912. A. 1914 hakati tootma asfaltbituumenit Groznõi masuudist õhuga puhumise teel, kuid, nagu kirjutab M. M. Faingar ⁶, tuleb lugeda asfaltbituumeni tootmise alguseks võimsas suurtööstuslikus ulatuses 1925/26. aastat.

Eestis kerkis põlevkivi-asfaltbituumeni valmistamine päevakorda ühes õlivabrikute asutamisega. Esimesed põlevkivi-asfaltbituumeni valmistamise katsed teostati eesmärgiga muuta põlevkivi orgaaniline osa asfaldiks koos mineraalosaga. Näiteks R. Mayer'i ja Jacoby ⁷ keemiavabriku menetluse järgi saadakse ainult asfalt. Hilisemais taotlustes täheti peale asfaldi saada ka õli, nagu nähtub R. Mayer'i ja Trampedach'i keemiavabriku ⁸ patendikirjeldusest. Sama eesmärki taotleb ka dr. Klever ⁹. Dr. J. Kopville ¹⁰ andis menetluse põlevkivi otsese hüdreerimise jäägi kasutamiseks asfaldina, kusjuures esiteks destilleeriti hüdreeritud massist välja bensiin ja siis raskemad õlid vaakuumis, kuna jääk moodustas asfaldi.

Need on üksikud katkendid töödest, mis tehti põlevkivi-asfaltbituumeni valmistamise võimaluste selgitamiseks väljaspool põlevkivitööstusi. Suure töö põlevkivi-asfaltbituumeni valmistamise võimaluste selgitamiseks on teinud põlevkivitööstused ise, kuid kahjuks ei ole see töö kogu ulatuses avalikkusele teatavaks saanud.

⁵ H. B. Pullar, The Science of Petroleum, vol. IV, lk. 2702.

⁶ М. М. Файнгар, Обзор состояния асфальтового дела в СССР.

⁷ Eesti patent 471, 1925.

⁸ Eesti patent 570, 1925.

⁹ Eesti patent 617, 1925.

¹⁰ Dr. J. Kopville, habilitatsioonitöö.

Esimeses Eesti Põlevkivitööstuses Kohtla-Järvel tehtud uurimistööd põlevkivi-asfaltbituumeni ja asfaldi alal on kokku võetud Puksov'i¹¹ doktoriväitekirjas. Töös on käsitletud asfaldi valmistamist otsesel teel põlevkivist, asfaltbituumeni valmistamist toorõlist õhuga puhumisel ja asfaltbituumenit, mis saadi destillatsioonijärgist. Töö sisaldab analüütilisi andmeid, s. o. elementaaranalüüse, moolkaale, joodarve jne., kuid seal puudub asfaltbituumenite tehniline analüüs, samuti on jäänud töö teostamisel tähelepanematuks õhuga puhumise protsessil õhu hulga ja temperatuuri mõju saadud asfaltbituumenite omadustele.

Eesti põlevkivi-asfaltbituumenite tehnilise analüüsi annab prof. K. A. Hoepfner¹².

Et saada ülevaadet eesti põlevkivi-asfaltbituumenitest, selleks toome prof. Hoepfner'i tööst iseloomustavamad määrämised tabelis 1.

Nagu tabelis esitatud andmetest nähtub, kõikusid estobituumenite lenduvuskaod 1,6—8,6%-ni ja lenduvuskatsetest tingitud pehmenemistäppide tõusud olid 18—28° C.

Kehtivate asfaltbituumenite normide järgi ei tohi aga lenduvuskadu ületada 2% ja lenduvuskatsest tingitud pehmenemistäpi tõus peab olema alla 10° C.

Vaadeldes analüüsides tulemusi näeme, et estobituumenid on väga kaugel asfaltbituumenite jaoks ülesseatud normidest ja vastavalt sellele paigutab prof. Hoepfner estobituumenid eriliiki ning soovib teha estobituumenitele lenduvuskatse 123° C t⁰-l 163° C asemel, põhjendades seda sellega, et estobituumenid omavad 123° C t⁰-l küllaldase viskoossuse.

Nagu näeme tabelis esitatud andmetest, on estobituumenite lenduvuskaod ka 123° C t⁰-l 0,4—3,2% ja lenduvuskatsetest tingitud pehmenemistäppide tõusud 4—12,5° C.

¹¹ A. Puksov, Asfalt põlevkivist.

¹² K. A. Hoepfner, Über die Untersuchung von estnischen Brennschiefer-Asphalten unter Anwendung einiger neuartiger Verfahren, 1932.

T a b e l 1.

Eesti põlevkivi asfaltbituumenite ja raskeõli analüüsid prof. Hoepfner'i järgi.

	Raskeõlid		Estobituumenid			
	B	C	A	B	C	D
Pehmenemistäpp Krämer-Sarnov'i järgi °C	5,5	9,5	14,5	25,0	37,0	54,0
" rõngas-kuuli " " " "	15,5	20,5	24,5	35,5	49,5	66,5
Lenduvuskadu %:50 g ainet, vaskkauss ø 128 mm 5 tundi 163° C	8,64	7,64	8,6	5,1	6,0	1,6
Lenduvuskadu %:50 g ainet, vaskkauss ø 128 mm 5 tundi 123° C	3,9	3,3	3,2	1,5	1,7	0,4
Pehmenemistäpp peale lenduvuskatset 163° C Krä- mer-Sarnov'i järgi	29,5	31,5	40,0	44,0	62,5	71,0
Pehmenemistäpp peale lenduvuskatset rõngas-kuuli järgi °C	42,5	44,0	52,0	57,0	77,5	84,5
Krämer-Sarnov'i tõus lenduvuskatsetel °C	24,0	22,0	25,5	19,0	25,5	17,0
Rõngas-kuuli " " " " " "	27,0	23,5	27,5	21,5	28,0	18,0
Pehmenemistäpp peale lenduvuskatset 123° C Krä- mer-Sarnov'i järgi °C	15,5	18,5	24,5	31,5	45	58,5
Pehmenemistäpp peale lenduvuskatset 123° C rön- gas-kuuli järgi °C	26,5	30,5	36,5	44,0	36,5	70,5
Krämer-Sarnov'i tõus, tingitud lenduvuskatsest °C .	10,0	9,0	10,0	6,5	8,0	4,5
Rõngas-kuuli " " " " " "	11,0	10,0	12,5	8,5	7,0	4,0

Sellisele tasemele jäi põlevkivi-asfaltbituumenite kvaliteet püsima kuni praeguseni, välja arvatud võib-olla mõned üksikud erandid.

Kui lenduvuskatse näitaks ainult asfaltbituumeni aurutamiskao protsenti ja viskoossuse või pehmenemistäpi suurenemist, mis on tingitud aurutamise või lenduvuskao protsendist, siis võiks sellega leppida, et teha lenduvuskatse 123^o C t⁰-1; näiteks 1%-lise aurutamise või lenduvuskao tõttu tõuseb asfaltbituumeni pehmenemistäpp 0,9—1,5^o C, olenemata sellest, kas teeme lenduvuskatse 163^o C või 123^o C t⁰-1. Kuid lenduvuskatsest tingitud pehmenemistäpi tõus koosneb: lenduvuskaost tingitud pehmenemistäpi tõus + pehmenemistäpi tõus, mis on tingitud asfaltbituumeni polümerisatsioonist ja oksüdatsioonist. Oksüdatsioonist ja polümerisatsioonist tingitud pehmenemistäpi tõus suureneb äga ühes temperatuuri tõusuga ja seega näitab lenduvuskatse teataval temperatuuril ka asfaltbituumeni stabiilsust temperatuuri suhtes, s. o. mida väiksem on antud asfaltbituumeni pehmenemistäpi tõus lenduvuskatse tagajärjel, seda parema stabiilsusega on asfaltbituumen.

Lähtudes eeltoodust ei tohi me põlevkivi-asfaltbituumenile nõutada erinorme, vaid peame valmistama sellise kvaliteediga põlevkivi-asfaltbituumeni, mis omadustelt vastaks üldiselt kehtivatele asfaltbituumenite normidele, et põlevkivi-asfaltbituumen võiks kvaliteedilt samaväärsena seista teiste asfaltbituumenite nomenklatuuris.

Alljärgnevas töös on tarvitatud põlevkivi-asfaltbituumeni asemel sõna „bituumen”.

Hapnikuga bituumeni puhumise katsete korraldamise algatasid Eesti NSV Ministrite Nõukogu aseesimees sm. Kress ning Põlevkivi- ja Keemiatööstuse Ministeerium.

Lisaks hapnikuga bituumeni puhumise katsetele tehti rööbiti ka bituumeni puhumise katseid õhuga, puhudes läbi 0,75 l kuni 20 l õhku minutis 1 kg puhutava õli kohta. Katseteks tarvitati

Kiviõli tunnelahjude raskeõli, kusjuures bituumeni puhumise katsete teostati 150° C t⁰-1.

Töö tehti Tallinna Polütehnilise Instituudi Õlikivide Uurimise Laboratooriumis Põlevkivi- ja Keemiatööstuse Ministeeriumi Teadusliku Uurimise ja Projekteerimise Instituudi töötaja keemiateaduste kandidaadi J. Usk'i poolt, kusjuures kaastöötajateks olid E. Villberg ja ajutiselt ka L. Viidik.

Töö läbiviimisega ühenduses tuleb eriti rõhutada suurt vastutulekut ja abi Tallinna Polütehnilise Instituudi Õlikivide Uurimise Laboratooriumi juhataja prof. H. Raudsepa ja samuti ENSV Teaduste Akadeemia tegevliikme prof. P. Kogerman'i poolt.

II. Kiviõli tunnelahjude raskeõli analüüs.

Bituumeni puhumise katseteks saadi Kiviõlist üks vaat alljärgnevate omadustega raskeõli:

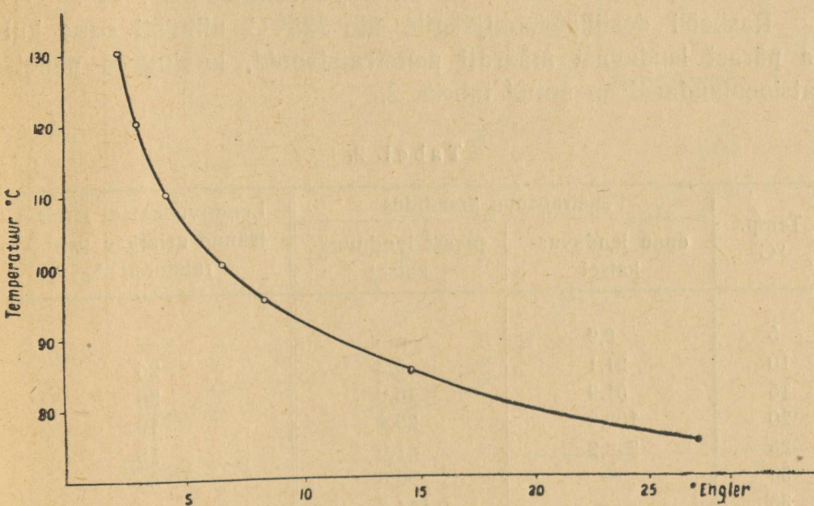
1. Erikaal 20° C.	1,061.	
2. Viskoossus 75° C	27,3 ⁰	Engler'i j.
85 „	14,6	„
95 „	8,2	„
100 „	6,5	„
110 „	4,3	„
120 „	3,1	„
130 „	2,4	„

Saadud andmete varal joonistati viskoossuse kõver (vt. joon. 1).

3. Pehmenemistäpp Krämer-Sarnov'i järgi 1,2° C.
4. Tuhasisaldus 0,06%.
5. Lenduvuskadu 5 tunni jooksul 163° C vaskkaasis Ø 128 mm 3,98%.
6. Pehmenemistäpp Krämer-Sarnov'i järgi pärast lenduvuskatset 17,1° C.
7. Pehmenemistäpi tõus, tingitud lenduvuskatsest . . . 15,9° C.
8. Leektäpp Marcusson'i järgi 198° C.

9. Destillatsioon harilikul rõhul:

kuni 250° C	1,4%	Vol.
275 „	2,5	„
300 „	4,6	„
315 „	8,8	„
325 „	24,7	„



Kiviõli raskeõli viskoossuse kõver

Joon. 1.

Kaalu järgi:

vett	0,7%
destillaati kuni 325° C	21,3%
jääki	75,7%
kadu	2,3%

Kiviõli raskeõli hariliku destillatsiooni jäägi (üle 325° C)

omadused:

- a) Pehmenemistäpp Krämer-Sarnov'i järgi 24,6° C.
- b) Lenduvuskadu 5 tunni jooksul 163° C vaskkausis Ø 128 mm 1,16%.

- c) Pehmenemistäpp Krämer-Sarnov'i järgi pärast lenduvuskatset 37,2^o C.
 d) Pehmenemistäpi tõus Krämer-Sarnov'i järgi, tingitud lenduvuskatset 12,6^o C.
 e) Rõngas-kuul enne lenduvust 36,4^o C.
 f) „ „ pärast lenduvust 49,5^o C.
 g) Rõngas-kuuli tõus, tingitud lenduvuskatset . . 13^o.

Raskeõli destillatsioonijäägile üle 325^o C niihästi enne kui ka pärast lenduvust määrati penetratsioonid, kusjuures penetratsioonandmed on antud tabelis 2.

Tabel 2.

Temp. °C	Penetratsioon kraadides		Lenduvuskatset järelejäänud esialgse penetratsiooni %
	enne lenduvuskatset	pärast lenduvuskatset	
5	8,9	—	—
10	21,1	5,2	25
15	51,3	10,0	20
20	108,8	20,4	19
25	228,2	41,0	18
30	—	80,8	—
35	—	144,8	—

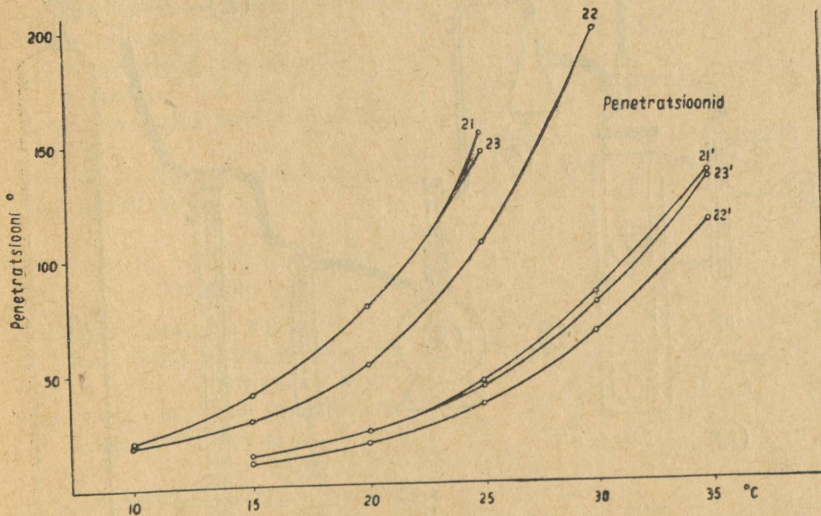
Tabelis 2 esitatud penetratsioonandmetest näeme, et lenduvuskatset vähenes penetratsioon 80% ehk esialgsest penetratsioonist jäi pärast lenduvuskatset järele keskmiselt 20%.

Saadud penetratsioonandmetest joonistati penetratsioonikõverad (vt. joon. 4).

III. Bituumeni puhumise aparatuuri kirjeldus.

Bituumeni puhumise katsed teostati raudaparaadis, mis koosnes koonilise põhjaga keevitatud raudtorust, sisemine läbimõõt 63,7 mm, kõrgus 59,5 cm. Toru ülemises otsas oli flantš, mille peale käis poltide ja mutritega kinnitatud vaskpea, varustatud õhu sissejuhtimise toruga, sisemine läbimõõt 3,6 mm,

termomeetritoriga, proovi võtmise avaga ja gaaside ärajuhtimise toruga. Puhumisenõu soojendamiseks tarvitati elekterkütet. Kõikidel katsetel kaaluti puhumisenõusse 1000 g Kiviõli raskeõli, mille spetsifikatsioon on antud eespool, kinnitati vaskpea poltidega ja ühendati gaasi äravoolu toru kaudu jahutajaga, mille lõpul oli õli vastuvõtja. Katsetel tarvitatud õhk kui ka hapnik



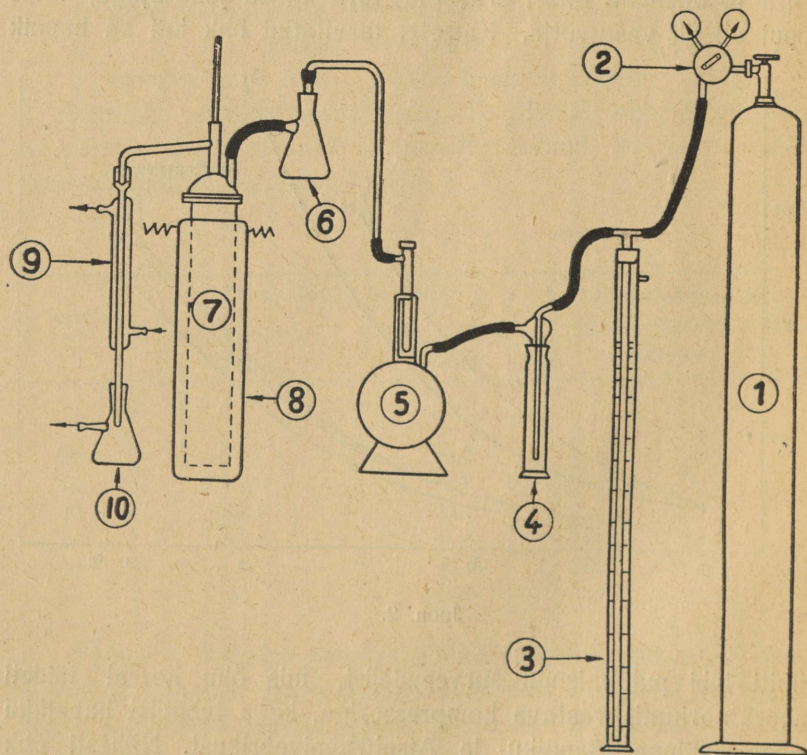
Joon. 2.

juhiti läbi puhumisenõu survepudelid, mis õhu korral täideti laboratooriumis vastava kompressoriga, kuna tehnilist hapnikku saadi Tallinna Hapniku- ja Atsetüleenivabrikust. Niihasti õhk kui ka hapnik juhiti esiteks survepudelid' survetasandaja kaudu läbi veemanomeetri (surveregulaatori), siis gaasilugeja kaudu puhumisenõusse. Puhumisaparatuuri skeem on antud joonisel 3.

IV. Bituumeni puhumise katsed hapnikuga.

Katseteks kaaluti puhumisenõusse 1000 g Kiviõli raskeõli, ühendati aparaat, nagu joonisel 3 näidatud, soojendati õli kuni 140° C ja juhiti läbi järgmiselt: hapnikukatset nr. 23 0,75 liitrit,

katsel nr. 21 1,5 liitrit ja katsel nr. 22 3,0 liitrit minutis. Kõik puhumiskatsed teostati $150^{\circ}\text{C t}^{\circ}\text{-l}$. Hapniku sissejuhtimist alustati $140^{\circ}\text{C t}^{\circ}\text{-l}$ ja 150°C -ni viidi temperatuur 5–10 minuti jooksul.



Joon. 3. 1 — survepudel, 2 — surveregulaator, 3 — veemanomeeter, 4 — pestipudel, 5 — gaasilugeja, 6 — imipudel, 7 — puhumisnõu, 8 — elektri-küttekeha, 9 — jahutaja, 10 — vastuvõtja.

Hapniku sissejuhtimist ei alustatud varemalt sellepärast, et taheti fikseerida puhumise vältust $150^{\circ}\text{C t}^{\circ}\text{-l}$.

Andmed hapnikuga puhumise kohta ühes bituumeni analüüsides on antud tabelis 3.

Tabel 3.

	Katse nr.		
	23	21	22
Katseks võetud aine hulk grammides	1000	1000	1000
Puhumistemperatuur °C	150	150	150
Katsel tarvitatud hapnikuhulk minutis liitrites	0,75	1,5	3,0
Katsel tarvitatud kogu hapnikuhulk liitrites	630	616	637
Puhumise kestus ja eelsoojendamine	15 t. 30 m.	7 t. 25 m.	4 t. 20 m.
Saadud bituumenit %	98,5	98	98
Saadud bituumeni omadused			
Leektäpp Marcusson'i järgi °C	204	206	204
Pehmenemistäpp Krämer-Sarnov'i j. °C	26,9	26,8	30,0
" rõngas-kuuli järgi	39,1	39,4	41,9
Lenduvuskadu %:50 g bituumenit vaskkaasis ø 128 mm, 5 tundi, 163° C	2,7	2,5	2,4
Pehmenemistäpp pärast lendumist Krämer-Sarnov'i järgi °C	38,7	37,6	40,0
Pehmenemistäpi tõus Krämer-Sarnov'i järgi lenduvuskatsel °C	11,8	10,8	10,0
Pehmenemistäpp rõngas-kuuli järg pärast lendumist °C	51,6	51,3	53,0
Rõngas-kuuli tõus, tingitud lenduvuskatsesest °C	12,5	11,9	11,1
Puhumise kestus 150° C t ⁰⁻¹	13 t. 45 m.	6 t. 30 m.	3 t. 30 m.
Puhumise kestus 30° C pehmenemistäpiga (Krämer-Sarnov'i järgi) bituumeni korral oleks	16 t. 15 m.	7 t. 40 m.	3 t. 30 m.

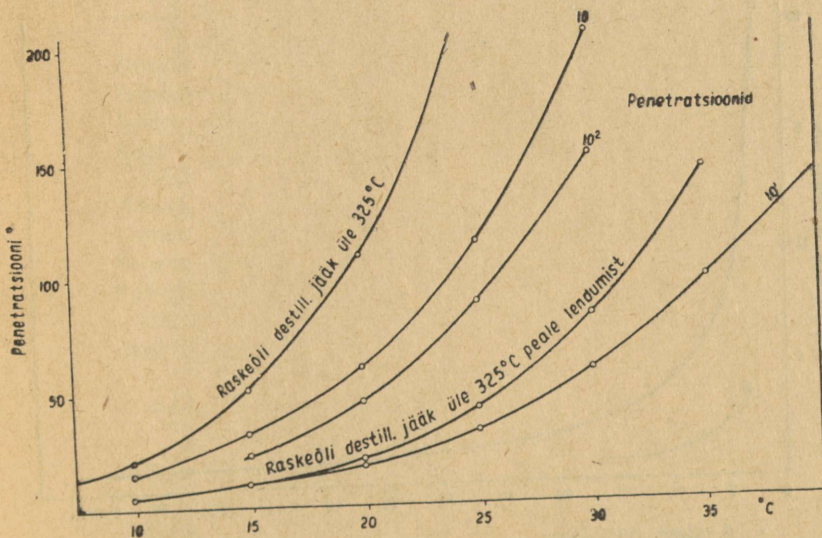
Andmed penetratsioonide kohta enne kui ka pärast lendumist on antud tabelis 4.

Tabel 4.

Temperatuur °C	Katse nr. 23			Katse nr. 21			Katse nr. 22		
	Penetratsioon °		Lenduvuskatsel järelejäänud esialgse penetratsiooni %	Penetratsioon °		Lenduvuskatsel järelejäänud esialgse penetratsiooni %	Penetratsioon °		Lenduvuskatsel järelejäänud esialgse penetratsiooni %
	enne lenduvuskatset	pärast lenduvuskatset		enne lenduvuskatset	pärast lenduvuskatset		enne lenduvuskatset	pärast lenduvuskatset	
10	20,0	—	—	21,5	—	—	17,0	—	—
15	40,0	13,5	34	39,7	14,0	35	29,3	10,5	36
20	77,0	22,5	29	79,0	23,5	30	52,5	18,0	34
25	145,0	40,0	28	152,5	43,6	29	104,5	33,5	32
30	262,0	77,1	29	274	83,0	30	199,0	65,0	33
35	—	133,0	—	—	135,5	—	—	114,0	—
Lenduvuskatsel järelejäänud keskmine penetratsiooni %			30	—	—	31	—	—	34

Tabelis 4 antud penetratsioonandmetest joonistati penetratsioonikõverad (vt. joon. 2).

Penetratsioonandmetest selgub, et bituumeni puhumisel hapnikuga 150°C $t^{\circ}-1$ jäi lenduvuskatsel (50 g bituumeni kuumutamisel 5 tunni vältel 163°C vaskkaasis, mille läbimõõt 128 mm) esialgselt penetratsioonist keskmiselt järele: katsel 23 — 30%,

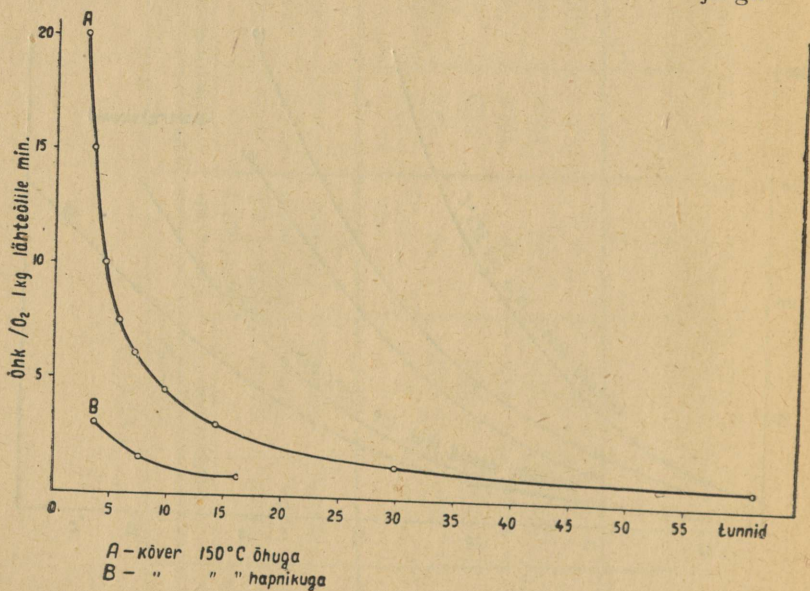


Joon. 4.

katsel 21 — 31% ja katsel 22 — 34% ehk kolme katse keskmisena 32%.

Tabeli 3 lõpul on antud võrdlusandmed bituumeni puhumise aegade kohta erinevate hapnikuhulkade korral minutis, s. o. bituumeni puhumise ajad, kui kõikidel katsetel oleksid saadud 30°C pehmenemistäpiga bituumenid. Kui kanname esitatud andmetest ordinaatteljele läbipuhutud hapnikuhulgad minutis ja abstsissiteljele puhumisajad tundides, siis saame hapnikuga bituumeni puhumise kõvera erinevate hapnikuhulkade korral 150°C $t^{\circ}-1$ (vaata joon. 5, kõver B).

Hapnikuga bituumeni puhumise katsetest selgus, et kui tarvitati 1 kg lähteõlile 0,75 liitrit hapnikku minutis, kestis puhumisprotsess $150^{\circ}\text{C t}^{-1}$ 16 tundi 15 minutit, 1,5 liitri hapniku tarvitamise korral — 7 tundi 40 minutit ja 3,0 liitri hapniku korral — 3 tundi 30 minutit, kusjuures lõpp-produktid on kõik 30°C pehmenemistäpiga bituumenid Krämer-Sarnovi järgi.



Joon. 5.

Kui viime katsetel tarvitatud hapnikuhulgad ühtlastele tingimustele, siis selgub, et olenemata minutis läbipuhutud hapnikuhulgast $150^{\circ}\text{C t}^{-1}$ jääb 1 kg lähteõli kohta hapnikuhulk samaks, s. t. et saada $150^{\circ}\text{C t}^{-1}$ teatava pehmenemistäpiga bituumenit, läheb puhumiseks tarvis kindel hulk hapnikku, olenemata sellest, kas juhime minutis 1 kg lähteõli kohta 0,75, 1,5 või 3,0 liitrit hapnikku.

Saadud bituumenite kvaliteet, nagu selgub esitatud andmetest tabelites 3 ja 4, on rahuldav.

T a b e l 5.

	Katse nr.								
	24	10	11	12	13	14	16	17	18
Katseks võetud lähteõli hulk grammides	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Puhumistemperatuur °C	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Katsel tarvitatud õhuhulk l/min.	0,75	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	10,0	15,0	20,0
Kogu katse vältel tarvitatud õhuhulk kõigil katsetel kõikus liitrites	2800 kuni 2950								
Puhumisprotsessi kestus ja eelsoojenda- mine	63 t. 58 m.	34 t. 23 m.	18 t. 27 m.	12 t. 5 m.	8 t. 25 m.	6 t. 55 m.	6 t. 14 m.	3 t. 32 m.	3 t. 5 m.
Puhumisprotsessi kestus 150°C	61 „ 8 „	30 „ 8 „	16 „ 32 „	10 „ 22 „	7 „ 50 „	5 „ 50 „	4 „ 32 „	3 „ 4 „	2 „ 15 „
Puhumise kestus 150°C 30 ^o pehmene- mistäpiga bituumeni korral oleks	61 „ 8 „	30 „ 8 „	14 „ 22 „	9 „ 50 „	7 „ 22 „	5 „ 50 „	4 „ 51 „	3 „ 21 „	2 „ 34 „
Saadud bituumeni %	97,1	97,7	97,6	98,0	98,5	98,0	97,7	96,8	97,0
Saadud bituumeni oma- dused:									
Pehmenemistäpp Krämer-Sarnov'i j. °C	29,9	29,8	32,2	31,2	30,8	29,8	28,7	27,7	27,5
Pehmenemistäpp rõngas-kuuli j. °C	42,8	42,9	44,9	43,8	43,2	42,6	41,4	40,0	40,3
Leektäpp Marcussen'i järgi °C	207	209	206	206	206	207	207	214	214
Lenduvuskadu %: 50 g bituumeni, vask- kauss ø 128 mm, 5 tundi, 163°C	1,89	2,18	2,33	2,12	2,08	1,97	1,98	2,33	2,10
Pehmenemistäpp Krämer-Sarnov'i järgi pärast lenduvuskatset °C	41,6	40,2	42,7	40,7	39,7	40,2	38,2	38,0	36,9
Pehmenemistäpi tõus Krämer-Sarnov'i järgi, tingitud lenduvuskatset °C	11,7	10,4	10,5	9,5	8,8	10,4	9,5	10,3	9,4
Pehmenemistäpp rõngas-kuuli järgi pä- rast lenduvuskatset °C	54,3	54,3	56,6	53,8	53,2	53,2	51,0	50,7	50,2
Pehmenemistäpi tõus rõngas-kuuli katse järgi, tingitud lenduvuskatset °C	11,5	11,4	11,7	10,0	10,0	10,6	9,6	10,7	9,9

V. Bituumeni puhumise katsed õhuga.

Esitatud andmetest saime ülevaate bituumeni puhumise käigust hapnikuga, kuid enne kui teha nende andmete varal järeldust hapniku tarvituselevõtu kohta bituumeni puhumiseks tööstuslikus ulatuses, peame bituumeni puhumise katsed samadel tingimustel läbi tegema ka õhuga, s. o. tuleb teha 150°C t° -1 bituumeni puhumise katsed õhuga, tarvitades 0,75, 1,5 ja 3,0 liitrit õhku minutis 1 kg lähteõli kohta. Et varemalt oli kavas korraldada bituumeni puhumise katseid 150°C t° -1 Kiviõli raskeõliga ja suuremate õhuhulkadega, siis tehti lisaks eelnimetatud katsetele puhumiskatseid ka 4,5, 6,0, 7,5, 10,0, 15,0 ja 20,0 l/min. õhuga 1 kg lähteõli kohta. Saadud andmed ühes bituumenite analüüsidega on esitatud tabelis 5.

Tabeli 5 andmetest selgub, et bituumeni puhumise kestust 150°C t° -1 mõjustab väga tunduvalt 1 kg lähteõli kohta ühes minutis puhumiseks tarvitatud õhuhulk. Näiteks kui tarvitati 1 kg lähteõli kohta 0,75 liitrit õhku minutis, kestis puhumine 150°C t° -1 61 tundi 8 minutit, 1,5 liitri õhu korral 30 tundi 8 minutit, 3,0 liitri õhu korral 16 tundi 32 minutit, 4,5 liitri õhu korral 10 tundi 22 minutit, 6,0 liitri õhu korral 7 tundi 50 minutit, 7,5 liitri õhu korral 5 tundi 50 minutit, 10 liitri õhu korral 4 tundi 32 minutit, 15 liitri õhu korral 3 tundi 4 minutit ja 20 liitri õhu korral 2 tundi 13 minutit. Seega oli võimalus bituumeni puhumisel 150°C t° -1 lühendada bituumeni puhumise aega 61 tunnilt 8 minutilt 2 tunnile 13 minutile ehk kiirendada puhumist 27 korda, kusjuures kogu õhutarvidus jäi peaaegu samaks.

Kui taandame bituumeni puhumise ajad sama pehmenemistäpiga bituumeni peale, s. o. 30° pehmenemistäpiga bituumenile Krämer-Sarnov'i järgi, siis on puhumisprotsessi kiirenemine 24-kordne.

Et põlevkivitööstustes tarvitatakse bituumeni puhumisel ühe tonni bituumeni kohta 189—750 liitrit õhku minutis ehk 1 kg bituumenile 0,189—0,75 liitrit, siis selgub, milline tähtsus on tabelis 5 esitatud andmetel, s. o. tarvitades 1 kg lähteõlile 0,189 liitrit õhku minutis, kestaks bituumeni puhumine 150°C t° -1

ligemale 10 päeva, kuna aga suuremaid õhuhulki tarvitades oleks võimalik bituumeni puhumist kiirendada kuni 96 korda.

Üks olulisemaid määramisviise bituumeni kvaliteedi kindlakstegemisel on lenduvuskatse ühes sellest tingitud konstantide muutumiste määramisega. NSV Liidus tarvitatakse lenduvuskatsete määramiseks kahte viisi, s. o. vaskkausse läbimõõduga 55 mm ja 128 mm¹³. Tabelis 5 esitatud lenduvuskaod määrati meetodi 24 järgi, s. o. 50 grammi bituumenit kuumutati 163^o C t^o-1 5 tundi vaskkaasis, mille läbimõõt oli 128 mm. Välisbituumenite lenduvuskaod ei tohi ületada 2% ja lenduvuskatsest tingitud pehmenemistäpi tõus Krämer-Sarnov'i järgi ei tohi olla suurem kui 10^o C. Nagu tabelist näeme, kõikusid lenduvuskaod 1,89—2,33%-ni ehk keskmiselt 2,11% ja lenduvuskatsest tingitud pehmenemistäpi tõus Krämer-Sarnov'i järgi oli 8,8—11,7^o C ehk keskmiselt 10,0^o C. Esitatud andmetest näeme, et 150^o C t^o-1 puhutud bituumenid vastavad lenduvuskaolt ja sellest tingitud pehmenemistäpi tõusult ka välisbituumenite jaoks ülesseatud normidele, kuid need on ka ülempiirid ja seega ei tohi meil bituumeni puhumise temperatuur ületada 150^o C¹⁴. Välisbituumenite leektäpp ei tohi olla alla 200^o C ja nagu näeme tabelist 5, on ka seal leektäpid üle 200^o C. Seega vastavad need bituumenid ka leektäpilt üldistele normidele.

Et kõik tabelis 5 esitatud katsed on puhutud erinevate õhuhulkadega 1 kg lähteõli kohta minutis, siis näib olevat tendents, et mida rohkem on tarvitatud õhku minutis 1 kg lähteõli kohta, seda parema kvaliteediga bituumen saadakse, s. o. seda väiksem on pehmenemistäpi tõus, tingitud lenduvuskatsest. Erandi moodustab katse 17, kuid selle lenduvuskatse ajal katkes $\frac{1}{2}$ tunniks elektrivool ja kuna katse $\frac{1}{2}$ tunni võrra pikenes, siis on see kõrvalekaldumine tingitud sellest.

¹³ Vt. Н. Г. Старичкий, Методы испытания битумных и дегтевых дорожно-строительных материалов, Метод 23 Определение потери в весе при нагревании по ASTM (11), lk. 135, ja Метод 24 Определение потери в весе при нагревании по DIN (8), lk. 138.

¹⁴ J. Usk'i senini tehtud uurimised.

T a b e l 6.

Temperatuur °C	Katse nr. 24			Katse nr. 10			Katse nr. 11			Katse nr. 12			Katse nr. 13			Katse nr. 14			Katse nr. 16			Katse nr. 17			Katse nr. 18			Temperatuur °C
	Penetratsioon ° enne len- duvuskatset	Penetratsioon ° pärast len- duvuskatset	Lenduvuskatsel järelejäänud esialgse penetratsiooni %	Penetratsioon ° enne len- duvuskatset	Penetratsioon ° pärast len- duvuskatset	Lenduvuskatsel järelejäänud esialgse penetratsiooni %	Penetratsioon ° enne len- duvuskatset	Penetratsioon ° pärast len- duvuskatset	Lenduvuskatsel järelejäänud esialgse penetratsiooni %	Penetratsioon ° enne len- duvuskatset	Penetratsioon ° pärast len- duvuskatset	Lenduvuskatsel järelejäänud esialgse penetratsiooni %	Penetratsioon ° enne len- duvuskatset	Penetratsioon ° pärast len- duvuskatset	Lenduvuskatsel järelejäänud esialgse penetratsiooni %	Penetratsioon ° enne len- duvuskatset	Penetratsioon ° pärast len- duvuskatset	Lenduvuskatsel järelejäänud esialgse penetratsiooni %	Penetratsioon ° enne len- duvuskatset	Penetratsioon ° pärast len- duvuskatset	Lenduvuskatsel järelejäänud esialgse penetratsiooni %	Penetratsioon ° enne len- duvuskatset	Penetratsioon ° pärast len- duvuskatset	Lenduvuskatsel järelejäänud esialgse penetratsiooni %	Penetratsioon ° enne len- duvuskatset	Penetratsioon ° pärast len- duvuskatset	Lenduvuskatsel järelejäänud esialgse penetratsiooni %	
5							6,8			7,7					8,5			17,7			19,5						5	
10	14,8	5,0	33,8	15,4			12,0			13,5				15,6			34,6			41,2						10		
15	30,0	9,5	31,7	32,5	11,2	34,7	24,0	8,8	36,6	27,0	10,3	38,2	29,8	11,6	38,9	30,4	11,6	38,2	34,6	13,7	39,7	41,2	14,3	34,8	43,5	15		
20	56,0	17,2	31,7	59,5	17,9	30,0	47,2	14,3	30,3	50,7	18,0	35,7	54,6	20,0	36,7	60,2	20,5	34,1	68,2	23,6	34,6	78,5	23,3	29,7	84,7	26,3	20	
25	106,0	29,0	27,4	114,0	31,3	27,5	87,2	26,5	30,4	95,9	30,6	31,9	103,4	35,8	34,6	113,3	35,1	31,0	129,1	42,0	32,5	150,0	40,4	27,0	150,0	47,1	25	
28																			185,5			217,4				250,0	28	
30	191,0	50,5	26,5	204,7	57,0	27,2	160,6	43,1	26,8	175,3	53,1	30,3	183,5	62,0	33,8	213,7	66,0	30,9		78,3					81,0	32,4	30	
32,5							207,0			220,0																	32,5	
35,0		110,0			97,0			73,4		94,1			118,0			119,5				145,3				128,5		146,5	35,0	
37,5													148,5			154,0							166,8				37,5	
38,0								102,4		133,0																	38,0	
40,0		157,5			133,0																						40	
Lenduvuskatsel järelejäänud keskm. esialgse penetratsiooni %			30			30			31		34			36			34				36			31		32		

Ka penetratsioonide määramine on väga olulise tähtsusega bituumeni kvaliteedi kindlaksmääramisel. Penetratsioonid määrati Richardson'i penetromeetriga, kusjuures määramistel kōikidel temperatuuridel oli raskus 100 grammi ja aeg 5 sekundit¹⁵.

Penetratsioonid määrati erinevatel temperatuuridel, et oleks võimalik saadud andmete varal joonistada penetratsioonikõve-raid, ja niihasti enne kui ka pärast lenduvuskatseid. Saadud andmed on antud tabelis 6.

OCT/HKT 729/508 järgi peab nafta- ja asfaltbituumeni mark II (pehmenemistäpp rõngas-kuul 40° C) penetratsioon 25° C t⁰-l olema 90—120°. Tabelis 6 esitatud andmetest näeme, et esialgsete bituumenite penetratsioonid olid 87,2°—150°. Kuigi II. katse penetratsioon oli 90° asemel 87,2°, oli selle katse pehmenemistäpp rõngas-kuuli järgi 40° asemel 44,9°. Seega vastavad need bituumenid ka esialgsete penetratsioonide järgi ettenähtud normidele.

Lenduvuskatsest järelejäänud ehk lenduvuskatse (128 mm läbimõõduga vaskkausis) läbiteinud bituumeni penetratsiooni vähenemine ei tohi olla suurem kui 60%. Vaadeldes tabeli 6 andmeid näeme, et esialgse penetratsiooni %-id pärast lenduvuskatseid 25° C t⁰-l olid 27,4—34,6% ehk penetratsiooni vähenemine oli 65,4—72,6% lubatud 60% asemel; seega on Kiviõli raskeõlist 150° C t⁰-l puhutud bituumenite penetratsiooni vähenemine lenduvuskatse tagajärjel 5,4—12,6% võrra suurem, kui seda ette näevad vastavad normid. (Olgu siinjuures mainitud, et hiljuti tööstusest saadud bituumeni penetratsiooni vähenemine, tingitud lenduvuskatsest, oli 85% ehk esialgsest penetratsioonist jäi järele kõigest 15%.) Ka penetratsiooni arvud pärast lenduvuskatset näitavad, et Kiviõli raskeõlist bituumeni puhumise temperatuuri ülempiir on 150° C. Vaadeldes penetratsiooniandmeid näeme, et esialgse penetratsiooni % pärast lenduvuskatset suureneb ühes õhuhulga suurenemisega 1 kg lähteõli kohta,

¹⁵ Vt. М. Г. Старицкий, Методы испытания битумных и дегтевых дорожно-строительных материалов, lk. 155.

välja arvatud katse 17, kus lenduvuskatse ei kulgenud reegli-päraselt. Seega oli kõigi määramiste keskmine esialgse penetratsiooni % pärast lenduvuskatset 0,75 liitri õhu korral 1 kg lähte-õli kohta 30, 1,5 liitri õhu korral 30, 3,0 liitri õhu korral 31, 4,5 liitri õhu korral 34, 6,0 liitri õhu korral 36, 7,5 liitri õhu korral 34, 10 liitri õhu korral 36; 15,0 liitri korral lenduvuskatse ebaõnnestus; 20 liitri korral oli lenduvuskatsest järelejäänud esi- algse penetratsiooni % 32. Üheksa katse keskmine esialgse penetratsiooni % pärast lenduvuskatset oli 33 ehk keskmine penetratsiooni vähenemine 67%.

Tabelis 5 antud lenduvuskaod määrati 128-mm läbimõõduga vaskkaasis, kuid tihti on antud lenduvuskaod ka 55-mm läbi-

Tabel 7.

Lenduvuskatsete võrdlus.

	Katse 10		Katse 13	
	vaskkauss		vaskkauss	
	∅ 128 mm	∅ 55 mm	∅ 128 mm	∅ 55 mm
Pehmenemistäpp Krämer-Sarnov'i j. °C	29,8		30,8	
" rõngas-kuuli " °C	42,9		43,2	
Lenduvuskaod %: 50 g bituumenit, 163° C, 5 tundi	2,18	0,49	2,08	0,54
Pehmenemistäpp Krämer-Sarnov'i j. pärast lenduvuskatset °C	40,2	31,6	39,7	32,8
Pehmenemistäpi tõus Krämer-Sarnov'i j., tingitud lenduvuskatsest °C	10,4	1,8	8,8	2,0
Pehmenemistäpp rõngas-kuuli j. pärast lenduvuskatset °C	54,3	45,1	53,2	45,8
Pehmenemistäpi tõus rõngas-kuuli j., tingitud lenduvuskatsest °C	11,4	2,2	10,0	2,6

mõõduga vaskkaasis ja siis on andmed lahkuminevad. Võrdlus- andmete saamiseks määrati lenduvuskaod katsetes 10 ja 13 55-mm läbimõõduga vaskkaasis, kuumutades 50 grammi bituumenit 163° C t⁰-l 5 tundi. Saadud lenduvuskaod %-id ühes konstantide määramiste andmetega on antud tabelis 7. Parema

ülevaate saamiseks toodi veel teiskordselt andmed ka tabelist 5 ja paigutati tabelisse 7, s. o. esitati andmed 128-mm läbimõõduga vaskkaasis tehtud lenduvuskatsetest.

Tabelis 7 esitatud andmetest selgub, et kui teha lenduvuskatseid 55-mm läbimõõduga vaskkaasis, on lenduvuskadu umbes 4 korda väiksem kui 128-mm läbimõõduga vaskkaasis; samane nähtus esineb ka pehmenemistäppide tõusus, tingitud lenduvuskatsest. Esitatud andmetest näeme, et katses 13 on lenduvuskadu suurem kui katses 10, kuid see on tingitud jällegi voolu katkestusest, mistõttu katses 13 lenduvuse katseaeg 55-mm läbimõõduga vaskkaasis pikenes 29 minuti võrra.

Pärast lenduvuskatseid 55-mm läbimõõduga vaskkaasis määrati ka penetratsioonid mitmesugustel temperatuuridel. Et saada ülevaadet penetratsioonidest, anname penetratsiooniandmed tabelis 8 koos esialgse bituumeni ja 128-mm läbimõõduga vaskkaasis tehtud lenduvuskatsete penetratsiooni andmetega.

Tabelis 8 antud penetratsiooni määramise andmetest näeme, et 55-mm läbimõõduga vaskkaasis tehtud lenduvuskatsetel on penetratsiooni muutus või esialgse penetratsiooni vähenemine 2—2,5 korda väiksem kui 128-mm läbimõõduga vaskkaasis tehtud lenduvuskatse korral. Et 55-mm läbimõõduga vaskkaasis tehtud lenduvuskatse korral peab esialgselt penetratsioonist järele jääma vähemalt 60%, siis katse nr. 10 korral jäi esialgselt penetratsioonist järele 74% ja katse nr. 13 korral 76%. Et katse nr. 13 korral kestis lenduvuskatse voolu katkestuse tõttu 29 minutit kauem, siis on loota normaaltingimustel läbitehtud katsel veel väiksemat penetratsiooni vähenemist ja seega vastavad need mõlemad bituumenid penetratsiooni vähenemise poolest asfalt- ja naftabituumenite jaoks ülesseatud normidele.

Tabeli 8 andmetest joonistati penetratsioonikõverad (vt. joon. 4), kusjuures nr. 10 on esialgse bituumeni penetratsioonikõver, nr. 10¹ tähendab penetratsioonikõverat pärast lenduvuskatset 128-mm läbimõõduga vaskkaasis ja nr. 10² on penetratsioonikõver pärast lenduvuskatset 55-mm läbimõõduga vaskkaasis.

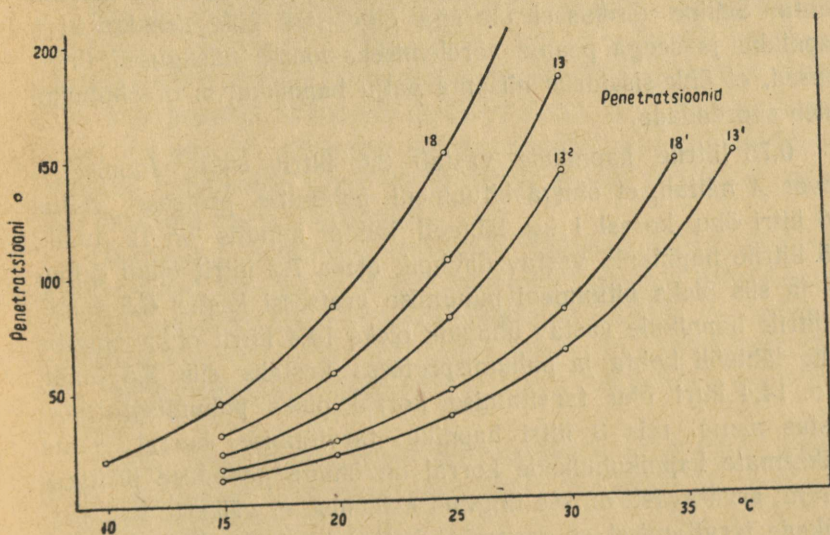
Tabel 8.

Tempera- tuur °C	Katse nr. 10					Katse nr. 13					
	Penetratsiooni °				Lenduvuskatsel järelejäänud esi- algse penetrats. % vaskkauss		Penetratsiooni °			Lenduvuskatsel järelejäänud esi- algse penetrats. % vaskkauss	
	enne len- duvus- katset	pärast lenduvus- katset		vaskkauss			enne len- duvus- katset	pärast lenduvus- katset			
		ø 128 mm	ø 55 mm		ø 128 mm	ø 55 mm		ø 128 mm	ø 55 mm		
10	15,4										
15	32,5	11,2	23,1	34,7	71,0	29,8	11,6	22,6	38,9	75,8	
20	59,5	17,9	45,3	30,0	76,2	54,6	20,0	41,0	36,7	75,2	
25	114,0	31,3	87,0	27,5	76,3	103,4	35,8	78,9	34,6	76,3	
30	204,7	57,0	151,0	27,2	73,8	183,5	62,0	141,0	33,8	76,8	
35		97,0									
37,5							118,0				
38,0		133,0					148,5				
Lenduvuskatsel järelejäänud keskmine esialgse penetratsiooni %				30	74				36	76	

Joonisel 6 on antud katse nr. 13 penetratsioonikõverad, kus jällegi nr. 13 näitab esialgse bituumeni penetratsioonikõverat, nr. 13¹ penetratsioonikõverat pärast lenduvuskatset 128-mm läbimõõduga vaskkaasis ja nr. 13² — penetratsioonikõverat pärast lenduvuskatset 55-mm läbimõõduga vaskkaasis.

VI. Hapniku ja õhuga 150° C t⁰-l teostatud bituumeni puhumise katseandmete võrdlus.

Tehtud katsetest saime ülevaate bituumeni puhumise protsessi kulgemisest 150° C t⁰-l niihästi hapniku kui ka õhuga.



Joon. 6.

Katseandmetest selgus, et tarvitades 0,75 liitrit hapnikku minutis 1 kg lähtematerjali kohta, kestis puhumisprotsess 150° C t⁰-l 16 tundi 15 minutit 30° C pehmenemistäpiga bituumeni valmistamisel Krämer-Sarnov'i järgi. Tarvitades samadel tingimustel 0,75 liitrit õhku minutis 1 kg lähteõli kohta, kestis puhumine 61 tundi 8 minutit; seega kiirendas hapnik puhumisprotsessi.

sessi 3,8 korda. 1,5 liitri hapniku tarvitamise korral 1 kg lähteõli kohta minutis kestis puhumisprotsess 7 tundi 40 minutit, tarvitades aga 1,5 liitrit õhku 1 kg lähteõli kohta — 30 tundi 8 minutit; seega kiirendas hapnik puhumisprotsessi 3,9 korda. 3 liitri hapniku tarvitamisel 1 kg lähteõli kohta minutis kestis puhumine 3 tundi 30 minutit, sama hulga õhu tarvitamise korral 1 kg lähteõli kohta minutis — 14 tundi 22 minutit; seega kiirendas hapnik puhumisprotsessi võrreldes sama kvantumi õhuga 4,1 korda.

Keskmiselt kiirendas hapnik puhumisprotsessi 4 korda, kui tarvitati võrdsed hulgad hapnikku ja õhku minutis 1 kg lähteõli kohta. Selline võrdlus ei ole aga õige, sest õhk sisaldab 21% hapnikku ja seega peame võrdlemiseks looma niisugused tingimused, et õhk sisaldaks niisama palju hapnikku, s. o. õhuhulka tuleb suurendada.

0,75 liitrile hapnikule vastab 3,6 liitrit õhku. Joonisel 5 kõver A näitab, et õhuga bituumeni puhumise protsessi vältus 3,6 liitri õhu korral 1 kg lähteõli kohta minutis on 12 tundi. 1,5 liitrile hapnikule vastav õhuhulk oleks 7,2 liitrit õhku minutis ja siis oleks bituumeni puhumise protsessi kestus 6,5 tundi. 3 liitrile hapnikule vastav õhuhulk oleks 14,4 liitrit õhku minutis 1 kg lähteõli kohta ja puhumisprotsess kestaks siis 3,5 tundi, s. o. 14,4 liitri õhu tarvitamise korral oleks puhumisprotsessi kestus sama, mis 3 liitri hapniku tarvitamise korral, kuna väiksemate hapnikuhulkade korral on õhuga puhumise protsess kiirem; arvatavasti on see tingitud asjaolust, et väikeste hapnikuhulkade tarvitamisel on segamine halvem kui õhu korral.

Nagu esitatud andmetest selgub, ei kiirenda hapnik bituumeni puhumise protsessi võrreldes õhuga samade hapnikuhulkade korral.

Mis puutub hapnikuga ja õhuga puhutud bituumenite kvaliteeti, siis, nagu selgub tabelitest 3, 4, 5 ja 6, ei ole selles märgatavaid vahesid ja seega võib öelda, et kvaliteedilt on nii hapnikuga kui ka õhuga 150° C t^o-l puhutud bituumenid võrdsed.

Vaadeldes käesolevas töös esitatud lenduvuskatsete kadude protsente ja lenduvuskatsetest tingitud pehmenemistäppide ja penetratsioonide muutumisi, võime tähele panna järgmist.

Bituumeni puhumise katseteks tarvitatud lähtematerjali lenduvuskadu oli 4% ja lenduvuskatsest tingitud pehmenemistäpi tõus Krämer-Sarnov'i järgi 17,1⁰ C. Sama õli harilikku destillatsiooni jäägi (üle 325⁰ C) lenduvuskadu oli 1,2%, lenduvuskatsest tingitud pehmenemistäpi tõus 12,6⁰ C ja keskmine esialgse penetratsiooni %, mis lenduvuskatsest järele jäi, 20 ehk penetratsiooni vähenemine oli 80%.

Kui me sellest lähteõlist bituumenit puhume, siis ei tohi me bituumeni puhumiseks valida sellist viisi, et puhutud bituumeni esialgse penetratsiooni vähenemine pärast lenduvuskatset ületab 80%. Kui puhutud bituumeni penetratsiooni % pärast lenduvuskatset on alla 20 esialgsest penetratsioonist, siis on destillatsioonijääk kvaliteedilt sama ja järelikult ei ole bituumeni puhumise protsess enam õigustatud.

Hapnikuga bituumeni puhumise katsetel 150⁰ C t⁰-l olid lenduvuskaod 2,4—2,7%, lenduvuskatsetest tingitud pehmenemistäppide tõusud Krämer-Sarnov'i järgi 10—11,8⁰ C ja esialgne penetratsioon, mis lenduvuskatsetel järele jäi, keskmiselt 32% ehk penetratsiooni vähenemine lenduvuskatsete tagajärjel oli 68%.

Nagu hapnikuga bituumeni puhumise katsetest selgus, tõstis puhumine bituumeni kvaliteeti ja seega oli puhumise protsess õigustatud.

Ohuga bituumeni puhumise katsete seeriast selgub, et lenduvuskaod kõikusid 1,9—2,3%, lenduvuskatsete tagajärjel tõusid pehmenemistäpid Krämer-Sarnov'i järgi 8,8—11,7⁰ C ja lenduvuskatsetel järelejäänud esialgse penetratsiooni % oli 30—36 ehk lenduvuskatsetest tingitud penetratsiooni vähenemine oli 64—70%.

Nagu eeltoodust selgub, saame 150⁰ C t⁰-l puhumisel niihästi hapniku kui ka ohuga bituumeni, mis oma kvaliteedilt on parem destillatsioonijäägist. Seega on veel 150⁰ t⁰-l bituumeni

puhumise protsess õigustatud, kuid penetratsiooni vähenemine, mis on tingitud lenduvuskatsesest, on suurem, kui seda ette näevad vastavad normid. Et penetratsiooni vähenemine suureneb ühes puhumistemperatuuri tõusuga, siis ei tohi Kiviõli raskeõlist bituumeni puhumisel puhumistemperatuur ületada 150° C.

VII. Kokkuvõte.

1. Kiviõli raskeõlist hapnikuga bituumeni puhumisel kiirendab hapnik bituumeni puhumise protsessi 150° C t⁰-l, võrreldes sama kvantumi õhuga 1 kg lähteõli kohta minutis, keskmiselt 4 korda.

2. Kui aga bituumeni puhumisel hapniku asemel tarvitada õhku mittevõrdsetes mahtudes 1 kg lähteõli kohta, vaid õhku ülihulgas, nii et hapniku hulk õhus võrduks puhta hapniku hulgaga, siis ei ole enam märgata, et hapnik puhumisprotsessi kiirendaks. Kuni 1½ liitri hapniku tarvitamisel 1 kg lähteõli kohta minutis on õhuga puhumine tunduvalt kiirem, mis arvatavasti tuleb panna parema segamise arvele.

3. Võrreldes puhutud bituumenite kvaliteeti niihästi hapnikuga kui ka õhuga puhumisel, näivad bituumenid olevat kvaliteedilt võrdsed.

4. Bituumeni puhumine hapnikuga võiks kõne alla tulla siis, kui 1 liiter hapnikku 1,5 atü juures oleks hinnalt odavam või maksaks niisama palju kui 4,0 liitrit õhku 1,5 atü juures.

5. Arvestades puhumisel saadud bituumenite kvaliteeti, ei tohi Kiviõli raskeõlist bituumeni puhumise protsessil puhumistemperatuur ületada 150° C.

6. Kuna katsetel selgus, et teataval temperatuuril tarvitab bituumeni puhumise protsess ligikaudu sama kvantumi õhku, olenemata minutis läbipuhutud õhuhulgast (0,75—20 liitrit minutis 1 kg lähteõli kohta), siis on käesoleva töö alusel võimalik, kui tarvitada 6 liitrit õhku minutis 1 kg lähteõli kohta, tööstustes bituumeni puhumise protsessi 10—30 korda kiirendada.

7. Käesoleva töö alusel on võimalik bituumeni puhumise protsessi jaoks üles seada kindel parameeter, mis näitab, kui

kaua on veel bituumeni puhumise protsess õigustatud. See parameeter on bituumeni lenduvuse katsetest järelejäänud esialgse penetratsiooni %. Kui bituumeni puhumise protsess läbi viia nii, et lenduvuskatsel järelejäänud bituumeni penetratsiooni % on niisama suur kui lähtematerjali hariliku destillatsiooni jäägi lenduvuskatsesest järelejäänud penetratsiooni % või väiksem, siis ei ole bituumeni puhumise protsessil üldse mõtet ja selle asemel tuleb sisse seada õli destillatsioon.

8. Lenduvuskaod peale kuumutamist tingimustel: 50 g bituumenit 5 tundi 163° C vaskkaasis läbimõõduga 128 mm — kõikusid 1,9—2,7%, pehmenemistäppide tõusud olid Krämer-Sarnov'i järgi 8,8—11,8° C, rõngas-kuuli järgi 9,6—12,5° C ja penetratsioon vähenes lenduvuskatsete tagajärjel 64—70%. 55-mm läbimõõduga vaskkaasis olid lenduvuskaod 0,49—0,54%, pehmenemistäppide tõusud Krämer-Sarnov'i järgi 1,8—2,0° C ja rõngas-kuuli järgi 2,2—2,6° C, kuna penetratsioon vähenes keskmiselt 24—26%.

Seega käesoleva töö tulemusena selgub, et on võimalik valmistada põlevkivibituumeneid, mis omadustelt vastavad rahvusvaheliselt kehtivaile asfaltbituumenite normidele. Teiseks on meil võimalik põlevkivibituumenite valmistamise protsessi, mis seni vältas päevi, teostada mõne tunni vältel.

Приготовление битума из тяжёлых смол тоннельной печи Кивиыли продуванием кислорода и воздуха.

И. Уск,
кандидат химических наук.

Резюме.

1. При приготовлении битума продуванием кислорода при 150°C кислород ускоряет процесс образования битума в сравнении с тем же количеством воздуха на один килограмм исходного масла в среднем в 4 раза.

2. Если же при приготовлении битума вместо кислорода употребить воздух в неравных объёмах на 1 кг исходного масла в таком количестве, чтобы количество кислорода в воздухе равнялось количеству чистого кислорода, то в этом случае кислород не ускоряет процесса образования битума. При употреблении 1,5 л кислорода в минуту на 1 кг исходного масла приготовление битума продуванием воздуха происходит значительно быстрее, что, вероятно, зависит от лучшего смешивания.

3. Качества битумов, приготовленных продуванием кислорода или же воздуха одинаковы.

4. Приготовление битума продуванием кислорода имело бы смысл в том случае, если бы стоимость 1 литра кислорода при 1,5 атм была меньше или равна стоимости 4 литров воздуха при 1,5 атм.

5. Принимая во внимание качество битума, полученного из тяжёлого кивиыльского масла, можно установить, что температура при процессе образования не должна быть выше 150°C .

6. Так как оказалось, что при известной температуре понадобится при процессе продувания битума приблизительно одно и то же количество воздуха, независимо от скорости продувания (в пределах 0,75—20 литров в 1 минуту на 1 кг

исходного масла), то на основании настоящей работы можно в промышленных предприятиях ускорить процесс производства битума в 30 раз, употребляя 6 литров воздуха в минуту на 1 кг исходного масла.

7. На основании настоящей работы для процесса приготовления битума возможно установить параметр, который показывает, до каких пределов приготовление битума продуванием воздуха или кислорода целесообразно. Этот параметр — пенетрация битума после испытания на испаряемость, выраженная в процентах первоначальной пенетрации. Если процесс приготовления битума произвести так, что процент пенетрации битума после испытания на испаряемость таков же или меньше, чем процент пенетрации остатка обыкновенной дистилляции исходного материала после испытания на испаряемость, то такой метод не имеет практического смысла и его нужно заменить дистилляцией масла.

Потери в весе при нагревании 50 гр битума в течение 5 часов при 163°C в медной чашке диаметром 128 мм колебались от 1,9 до 2,7%. Повышения точек размягчения были по способу Кремер-Сарнова $8,8$ — $11,8^{\circ}\text{C}$, по „кольцу и шару“ $9,6$ — $12,5^{\circ}\text{C}$ и пенетрация уменьшалась на 64 — 70% .

В медной чашке диаметром 55 мм были потери в весе при нагревании $0,49$ — $0,54\%$, повышения точек размягчения по Кремер-Сарнову $1,8$ — $2,0^{\circ}\text{C}$, по „кольцу и шару“ $2,2$ — $2,6^{\circ}\text{C}$ и пенетрация понизилась в среднем на 24 — 26% .

Таким образом, в результате настоящей работы выясняется, что имеется возможность производить сланцевые битумы, которые по своим свойствам отвечают действующим международным нормам для асфальтобитумов, и, во-вторых, имеется возможность провести процесс производства сланцевых битумов, который до сих пор длится несколько дней, в течение нескольких часов.

Sisukord.

Содержание.

	Lk.
Eessõna	3
I.	
J. Anso, Põlevkivituha sideainelisi omadusi	5
Я. Анзо, Вяжущие свойства золы горючего сланца (резюме)	15
H. Truu, Põlevkivi kui tööstusenergeetiline kütus ja selle rakendamise	17
Х. Труу, Горючий сланец как топливо и его применение в промышленной энергетике (резюме)	31
A. Avaste, Eesti NSV turbasoode ja turba uurimise tulemusi	33
А. Авасте, Результаты исследования торфяных болот и торфа Эстонской ССР (резюме)	42
H. Uuemõis, Uute tööstuste rajamise aluseid ja perspektiive Eesti NSV-s sõjajärgsel viisaastakul	44
Х. Ууемыйз, Основы и перспективы создания новых промышленных предприятий в Эстонской ССР в послевоенной пятилетке (резюме)	54
II.	
A. Luha, O probleemades v oblasti geologii ja poлезных ископаемых Эстонской ССР	55
Х. Оэнго, Сланцевая зола как сырьё для шлакобетона	71
A. Veldner, Весенние паводки по основным рекам ЭССР	78
H. Arman, Põhilisi printsiipe linna elamu rajoonide kompleksel planeerimisel	102
Х. Арман, Основные требования при комплексном планировании заселённой площади городов (резюме)	115
III.	
A. Humal, Uusi praktilisi võtteid dimeetrilises ristaksonomeetrias	117
А. Хумал, Новые практические приёмы в диметрической ортогональной аксонометрии (резюме)	123

Ю. Нут , Некоторые результаты аналитической теории нитевых сетей	125
Г. Кангро , Метод суммирования Лё-Руа и его применения . .	132
А. Киппер , Рассеяние света в атмосфере солнца	144

IV.

О. Киррет , Raman'i efekti rakendamisest anorgaanilises ja orgaanilises keemias	183
О. Киррет , О применении Раман-эффекта в неорганической и органической химии (резюме)	203
Н. Рандсепп , Harpestest ühenditest põlevkiviõlis	204
Х. Раудсепп , О кислотных соединениях смолы горячего сланца (резюме)	215
А. Теренин и Н. Г. Ярославский , Метод дифференциальных спектров в инфракрасной области от 0,6 μ до 10 μ	216
J. Usk , Bituumeni puhumine Kiviõli tunnelahja raskeõlist hapniku ja õhuga	221
И. Уск , Приготовление битума из тяжёлых смол тоннельной печи Кивиыли продуванием кислорода и воздуха (резюме) . .	246

Vastutav toimetaja
O. Maddison.

Tehniline toimetaja
H. Seletus.

Ladumisele antud 19. III 48.
Trükkimisele antud 2. VII 48.
Paberi kaust 61×86,1/16. Trüki-
poognaid 15³/₄+lisad 1/2. Autori-
poognaid 10,7. Arvestuspoognaid
11,8. MB 04286. Laotihedus trpg.
85 000. Tiraaz 1520. Trükikoja
tellimus nr. 615. Trükikoda
„Hans Heidemann“, Tartu,
Vallikraavi 4.

Научная сессия 23—29 апреля
1947. Заседания Отделения Фи-
зико-Математических и Техни-
ческих Наук.

На эстонском и русском языке.
Эгосиздат „Научная Литера-
тура“, Tartu.

u.

Rbl. 20.—

A-16527

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00496815 4

Rbl. 20.—

A-16527

FOOSIKALIS-MATEMAATILISTE JA TEHNILISTE TEADUSTE OSAKONNA ISTUNGID
ENSV TA TEADUSLIK SESSION 23.—29. IV 47.

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00496815 4

EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA
АКАДЕМИЯ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР

TEADUSLIK SESSIOON

23.—29. APRILLINI 1947

НАУЧНАЯ СЕССИЯ

23—29 АПРЕЛЯ 1947 г.

В

FOOSIKALIS-MATEMAATILISTE JA TEHNILISTE
TEADUSTE OSAKONNA ISTUNGID
ЗАСЕДАНИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК



RK „TEADUSLIK KIRJANDUS“