

ORGAANILISE AINE JA MINERAALIDE SISALDUS PEENESTATUD KUKERSIIDI ERI GRANULOMEETRILISTES KLISSIDES

A. KITSNIK

R. KOCH,

tehnikateaduste kandidaat

Mikroskoobiga vaadeldes on kukersiidi orgaaniline osa suhteliselt ühtlaselt põlevkivimassis jagunenud. Keemilise analüüsi andmeil moodustavad

Tabel 1

Eesti kukersiidi koostis

Kukersiidi päritolu	Kukersiidi koostisosad		
	Orgaaniline, %	Karboonaatne, %	Terrigeenne, %
Kaevandus «Küttejõu» kihid A kuni F [2]	44,3—23,8	56,8—28,6	30,8—13,5
Kaevandus nr. 2 kihid A, B ja E [1]	51,4—49,4	28,1—24,8	23,8—22,5
Kaevandus nr. 8 kiht E [1]	57,8—51,1	28,6—24,5	20,3—17,7
ENSV põlevkivibassein kihid A kuni F [2]	68,1—11,5	71,1—9,5	47,8—9,3

kukersiidi põhimassi karbonaadid, millele kvantitatiivselt järgneb orgaaniline aine, siis silikaadid ja lõpuks püriit. Sageli isoleerustatakse kukersiidi ainult kolme komponendiga — orgaanilise, karbonaatse ja terrigeensega. Tabelis 1 esitatakse Eesti NSV põlevkivibasseinist kaevandatud kukersiidi analüüsides maksimum-miimum väärtused.

Toodud andmete põhjal on kukersiidi koostis väga ebastabiilne. Rohkete analüüsides tulemusi üldistades võib märkida, et kukersiit sisaldab 35% piirides orgaanilist, 40% piirides

karbonaatset ja 25% piirides terrigeenset ainet, kusjuures orgaanilise komponendi suurema sisalduse puhul on ka terrigeense komponendi osa suurem.

Vastandina kukersiidi kui kivimi ebastabiilsele keemilisele koostisele on tema kerogeen kogu basseini ulatuses (nii horisontaal- kui ka vertikaalsuunas) väga püsiva ning ühtlase keemilise koostisega. Tabelis 2 esitatakse kukersiidi kerogeeni tüüpiline elementaaranalüüs.

Põlevkivibasseinis esineb tihti karstinähtusi. Kus need on otseses kontaktis kukersiidiga, seal on täheldatud kerogeeni koostise muutumist [1].

Üldiselt koosneb $\frac{2}{3}$ kukersiidist mineraalainest, mille kohta B. Torpan [2] on avaldanud kõrvaltoodud andmed (%-des):

Tüüpiliseks lisandiks on väävel, mida leidub

kukersiidis kolmel kujul: püriit-markasiidina, orgaanilise väävlina ja sulfaadina. B. Torpani [2] andmeil sisaldab kukersiit orgaanilist väävlit

kaltsiiti	—64
magnesiiti	— 1,9
kvartsi	— 8,5
ortoklassi	— 8,5
püriiti	— 3,1
vilkusid (biotiit)	— 6,5
savimineraale (kaoliin)	— 6,4

0,53%, püriitset 1,04% ja sulfaatset 0,11%. Järelikult on anorgaanilise ja orgaanilise väevli suhe 22 : 10.

Käesolevas töös vaadeldakse kõrgeprotsendilise kerogeeni kontsentradi saamiseks vajalikke eeltingimusi — optimaalset peenestusmäära ja orgaanilise aine sisaldust üksikutes granulomeetrites klassides — ning käsitletakse nende määramise tehnoloogiat.

Katseteks kasutati suurtööstuslikult toodetavat kukersiiti. Seda uuriti peenestatud kujul, jaotatuna eri granulomeetritesse klassidesse. Viimastes määrati keemiline koostis ja kütteväärtus ning anti mineraloogiline iseloomustus.

Arvestades paljude eelmiste kukersiidialaste uurimistööde^[2, 3, 4] tulemusi, mis on konstateerinud kerogeeni ühtlust, ei tekitanud proovivõtukoha valik erilisi raskusi. Algprooviks valiti kolmanda sordi põlevkivi kui küllaldaselt peenestatud ja odavam.

Esimesed proovid võeti Tallinna Soojus- ja Elektriijaama kütteainelaost, järgmised — ENSV RMN ehitusmaterjalide tehase «Männiku» tsentraalkatlamaja kütteainelaost. Katsematerjal oli peenestatud kolmel viisil:

Esiteks — kaevandamisel, laadimisel, sorteerimisel ja transporteerimisel loomulikult purunenud põlevkivi.

Teiseks oli silmas peetud kukersiidi omadust laguneda mõnedes orgaanilistes lahustajates (näit. bensoolis, eetris). Protsessi täielikuks lõpuleviimiseks tuli materjali peale orgaaniliste lahustajatega mõjutamise veel kumminuiakesega hõõruda. Selline peenestamisviis võimaldas saada loomutruu ettekujutuse üksikute, eriti aga karbonaatsete komponentide jagunemisest kukersiidis. Lubjakivimoodustised, kivistised, konkretsioonid ja suletised jäid praktiliselt terveks, kuna mehaanilise purustamise korral oleksid nad muutunud lubjakivipuruks ning sattunud peenema terasuurusega klassidesse.

Kolmandaks — puhtmehaaniline peenestamine purustajates ja veskites (laboratoorses lõugpurustajas, laboratoorses kuulveskis, laboratoorses kolleris, pooltööstuslikus vibroveskis).

Peenestatud kukersiiti sõeluti standardsetel sõelakomplektidel, kusjuures suurimaks sõelaavaks oli 20 mm, väikseimaks 0,056 mm. Sel viisil saadi eri terasuurusega granulomeetritelised klassid. Peenestatud kukersiidi keemilise analüüsi tulemused esitatakse tabelis 3.

Tabelist 3 nähtub, et kukersiidi kerogeenisaldus suureneb erinevais granulomeetrites klassides terasuuruse vähenemisega, kuid ainult teatava piirini. Rikkamad orgaanilise aine pooldest on terasuurused 105 kuni 56 μ . Lahustamatud jäägid sisaldavad peamiselt silikaate, s. o. terrigeenset ainet; seda esineb kõige massilisemalt alla 56 μ terasuuruste puhul. Karbonaate leidub rikkalikumalt jämedama terasuuruse klassides; kõige vähem leidub neid alla 56 μ terasuuruste puhul. Kõik muutused kukersiidi koostises kulgevad analoogiliselt nii bensoolis lagundatud kui ka kuulveskis peenendatud proovides, kusjuures bensoolis lagundatud materjal on piirid teravamad. See seletub kukersiidi kerogeeni osakeste limiteeritud geomeetriselise suurusega, osalt ka kujuga. Mikroskoopiliste

Tabel 2

Elemendid	Põlevkivibasseini keskmine, % [2]	Kaevanduses nr. 8 [1]	
		Normaalne, %	Karstides, %
C	77	77,4	76,0
H	9,7	9,18	7,46
N	0,36		
Cl	0,72		
S	1,7		
O	10,5 (vahest)		
C : H	8,0	8,45	10,2

vaatluste alusel määrati kerogeeniosakeste keskmiseks, kõige sagedasemaks läbimõõduks 50 μ . Vähemaid ja suuremaid kerogeeniterakesi esineb harvemini. Peab märkima, et kukersiidi teised komponendid on massilised

Tabel 3

«Männiku» tehase kütteinelaost võetud kukersiidi keemilise analüüsi tulemused eri granulomeetrites klassides

Terasuuruse klass, μ	Sisaldus, %				Lainustamatu jääk, %	
	Orgaaniline aine	Mineraalne				
		A _c	CO ₂	CaO		MgO
Bensoolis lagundatud						
+400	18,6	54,1	27,3	32,1	1,7	15,0
-400 +315	—	—	22,9	27,3	2,5	19,9
-315 +250	30,7	49,3	20,0	23,7	1,7	20,9
-250 +200	32,4	49,6	18,0	21,1	1,8	23,0
-200 +160	33,1	48,5	18,4	21,4	1,6	23,6
-160 +105	35,3	48,2	16,5	19,1	1,3	23,7
-105 +75	46,6	41,2	12,2	14,1	1,2	24,1
-75 +56	50,8	38,5	10,7	12,4	1,0	23,8
-56	39,1	50,3	10,6	12,1	1,2	35,5
Kuulveskis peenestatud						
+400	27,9	47,4	24,7	29,1	1,9	13,0
-400 +315	28,2	47,5	24,3	28,1	2,0	—
-315 +250	31,5	47,0	21,5	25,6	1,6	18,9
-250 +200	28,8	47,7	23,5	27,9	1,6	21,0
-200 +160	29,7	47,4	22,9	27,0	1,7	16,6
-160 +105	32,9	46,3	20,8	24,3	1,7	17,2
-105 +75	47,0	39,2	13,8	16,0	1,1	20,9
-75 +56	45,7	41,0	13,3	15,2	1,2	23,1
-56	39,3	47,3	13,4	15,5	1,3	28,8

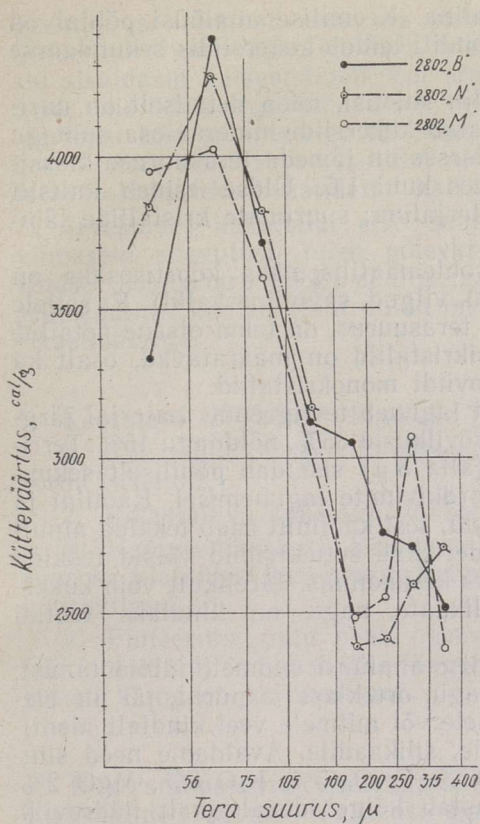
Tabel 4 näitab, et kütteväärtus suureneb peenemate terasuuruste suunas, saavutades maksimumi 75 kuni 56 μ juures. Tabelis 3 ja 4 esitatud andmete alusel on konstrueeritud joonised 1 ja 2.

Mikroskoopiliste vaatluste, mikrofotoide ja keemiliste analüüsidega saadi kukersiidi mineraloogilise ja orgaanilise koostise kohta allpool kirjeldatavaid tulemusi.

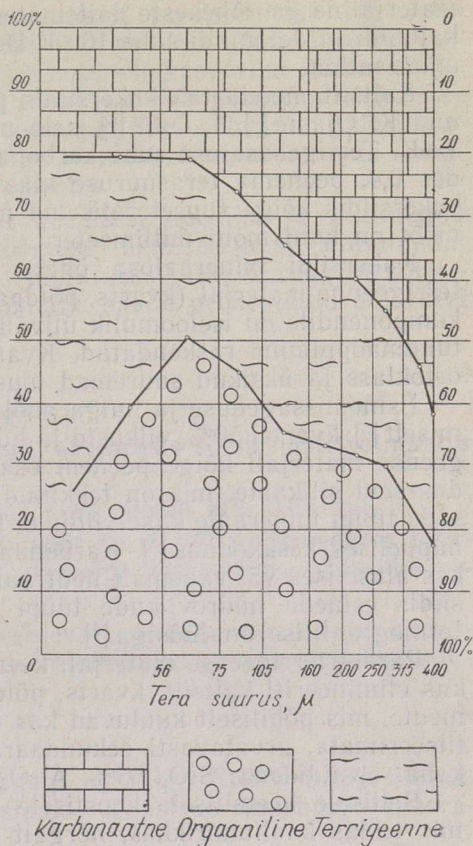
Mikroskoobis näisid kerogeeniosakesed pruunikate kerakestena. Värvuse järgi jagavad S. Baukov [3] ja K. Ojaste [5] need kahte rühma — heledamad ja tumedamad, kusjuures nad märgivad heledamates osakeses karbonaatide ülekaalu. Põhiliselt oli kerogeeni terasuurus 30—70 μ . Osakesed, mis olid suuremad kui 50 μ , koosnesid juba väiksemaist kogumikest. Küllalt võimsa suurenduse puhul (500 \times) olid selgesti näha kerogeeni mikrolisandid. Terakesed

Tabel 4
«Männiku» tehase kütteinelaost võetud kukersiidi kütteväärtus eri granulomeetrites klassides

Terasuuruse klass, mm	Kütteväärtus, kcal/kg			
	Looduslikult peenestatud	Bensoolis lagundatud	Kuulveskis peenestatud	Vibrovskis peenestatud
-20 +10	3455			
-10 +5	2795			
-5 +2,5	2950			
-2,5 +1,25	3157			
-1,25 +0,63	2550			
-0,63 +0,40	3277	1797	2419	
-0,40 +0,315	2735	2510	2358	
-0,315 +0,250	2597	2721	3074	
-0,250 +0,200	2420	2781	2520	2400
-0,200 +0,160	2386	3087	2494	2231
-0,160 +0,105	3190	3126	—	2231
-0,105 +0,075	3825	3709	3609	2934
-0,075 +0,056	4277	4389	4002	3021
-0,056	3847	3327	3989	2358



Joon. 1. Peenestatud kukersiidi («Männiku» proov) granulomeetriliste klasside kütleväärtused: 2802«B» — bensoolis lagundatud, 2802«N» — looduslikult purunenud, 2802«M» — kuulveskis peenestatud.



Joon. 2. Karbonaatse, orgaanilise ja terrigeense aine sisaldus peenestatud kukersiidi («Männiku» proov) granulomeetrilistes klassides.

suurusega üle 70 μ sisaldasid neid rohkesti, kusjuures osa neist moodustus mineraalainest. Mikroskoobis risti nikolitega vaatlemisel oli see selgesti märgatav. Paljud ülipeenad mikrolisandid olid niivõrd tihedalt orgaanilise ainega seotud, et praktiliselt polnud võimalik neid eraldada, lõhkumata kerogeenikogumikke. Siit järeldub, et kuni teatava terasuurse piirini võib kerogeeni kontsentrati saada suhteliselt kergemini, kõrge puhtusega aga juba äärmiselt raskesti; pealegi on see seotud suurte tooraine kadudega. Järelikult, et saada separeerimiseks vabaks purustatud ja lisanditest küllaldaselt vaba kerogeeni, tuleb kukersiit peenestada alla 200 μ. Kukersiiti pole soovitatav üleliiga peenestada, sest rohked peeneteralised mineraalosakesed raskendaksid separatsiooni. Pealegi kulub peenestamisel tublisti nii energiat kui ka seadmeid. Ka katsed kinnitasid, et kukersiidi optimaalseks peenestusmääraks on 0,2 mm.

Jämeda terasuurse proovides domineeris kaltsiit. Arvame, et magneesiiti, nagu teada kirjandusest [2], kukersiidis üldse ei leidu. Kogu anorgaaniline magneesium esineb dolomiidina, mida tõendavad viimase tüüpilised romboedriline kristallid kukersiidi karbonaadirikastes osades. Keemiliste analüüside põhjal osutus osa magneesiumi orgaaniliseks. Kukersiidi kaltsiit esineb põhiliselt tsementeeriva ainena, kivististe

materjalina ja lõhekeste täitematerjalina. Keemilise analüüsi põhjal on kaltsiidi ja dolomiidi suhe 16 : 1. Dolomiiti leidub kukersiidis sekundaarse mineraalina.

Kaltsiit moodustab kukersiidis palju suletisi, mida detailselt on uurinud K. Ojaste [5]. I. Öpik [6] iseloomustab kukersiidi mineraalosa suhtega T : K. Terrigeense osa suhe karbonaatsesse on jämeda terasuuruse klassides 0,4, peenema terasuuruse klassides kuni 1,6. Üldse esineb kaltsiit kukersiidis kõige suureteralisema materjalina; suurimate kristallide läbimõõt on kuni mõni millimeeter.

Kukersiidi mineraalosa üheks problemaatilisemaks koostisosaks on terrigeenne materjal (kvarts, põldpagu, vilgud, savimineraalid). Et sellele komponendile on iseloomulik üliväike terasuurus, on tema otsene detailne tundmaõppimine raskendatud. Kvartsikristallid on määratavad, osalt ka ortoklass ja üksikud suuremad muskoviidi monokristallid.

Esinemissageduse ja hulga poolest jaguneb terrigeenne materjal järgmiselt [3]: kvartsi 50%, vilkusid ja hüdrovilkusid 35%, põldpagu 15%. Terrigeense materjali kõige peenem osa (alla 5 μ) sisaldab põhiliselt sekundaarseid silikaate, mis on tekkinud tardkivimite lagunemisel. Kaoliini ja seda tüüpi mineraale kukersiidis ei leidu, sest kaoliiniit saab tekkida ainult happelises keskkonnas [7]. Karbonaaterikkad settekivimid võisid tekkida kas aluselises või vähemalt neutraalses keskkonnas. Järelikult võib kukersiidis esineda hüdrovilkude tüüpi silikaate, nagu on kindlaks tehtud termograafilise analüüsiga [5].

Pärast terrigeense materjali keemilise analüüsi andmete läbitöötamist, kus elimineeriti kaltsiit, kvarts, põldpagu, ortoklass ja püriit, jäi üle elemente, mis põhiliselt kuuluvad kas ühele või mitmele veel kindlalt identifitseerimata, arvatavasti sekundaarsele, silikaadile. Avaldame need siinkohal oksiididena: SiO₂ 55%, Al₂O₃ 30%, Fe₂O₃ 5%, K₂O 8%, MgO 2%.

Sellele keemilisele koostisele vastab kõige ideaalsemalt hüdrovilk, mis tekkis kaaliumirikas, nõrgalt aluselises keskkonnas. Algmaterjaliks võisid talle hästi sobida Fennoskandia graniitmassiivi lagunemisproduktid, mis sattusid ordoviitsiumi merre.

Kukersiidi terrigeenset osa on iseloomustatud kui suhteliselt kõrge kaaliumisisaldusega ja vähese kristallveega materjali. Separeeritud terrigeenne aine pole harilik savi. Tema põletamisel ei tekkinud punast tellist meenutavat plonni, vaid pärast ühetunnist 1000 °C temperatuuril kuumutamist saadi täiesti valge, poorne mehaanilise tugevusega mass, mahukaaluga 0,7 g/cm³, mis sisaldas 4,35% Fe₂O₃.

Kukersiidi granulomeetrilistes klassides ilmneb märgatav värvuse vahe: jämedama terasuuruse klassid on helepruunid, peenema terasuuruse klassid muutuvad järk-järgult tera peenuse suunas tumedamaks. 50 μ suurused terad olid šokolaadi värvust, kuid peenemad, eriti alla 20 μ , muutusid juba halliks.

Kukersiidi katselisel peenestamisel ei ilmnenud märkimisväärseid erinevusi mehaanilise ja füüsikalise meetodi vahel. Selgus, et kukersiit pole kuigi kompaktne kivim ja peenestub suhteliselt kergesti komponentideks, mis mehaaniliselt on üksteisest eraldatavad. Kahjuks ei kehti see täiel määral ülipeente mineraalosakeste suhtes. Viimaste vabastamiseks kergeeniteraketest ei andnud lihtsamad mehaanilised meetodid nimetamisväärseid tulemusi, mistõttu tuleb rakendada intensiivsemaid mõjutamisviise.

Käesoleva töö resultaadina on võimalik esitada peenestatud kukersiidi mehaanilise rikastamise tehnoloogilise skeemi põhistruktuur. Joonistelt 1 ja 2 nähtub, et jämedamad granulomeetrilised osad sisaldavad põhiliselt kaltsiiti; raskema erikaalu tõttu eralduvad neisse klassidesse ka kvarts ja püriit. Saadud pulbi dešlammeerimisega põhiliselt eraldatakse terri-

geenne osa. Pärast seda on pulp suhteliselt kerogeenirikas ja selle floteerimisel on reagentide kulu minimaalne. Jämedama terasuuruse klassid sisaldasid katseandmeil, kui eraldamiseks oli kasutatud hüdrotsüklooneid, vaid 0,2% orgaanilist ainet. Seda materjali võib pärast püriidi separeerimist kasutada inertse täitematerjalina paljudes rahvamajandusharudes. Šlamm sisaldab orgaanilist ainet ja pärast kuivatamist on ta kasutatav tolmkütteks kohandatud katlaseadmetes.

Arvestades kukersiidi eriti sobivat keemilist koostist ja uurimistööviimaseid saavutusi, tuleb põlevkivitööstuse kemiseerimist kiirendada. Uudse tööstusharu üheks põhilisemaks tooraineks oleks kerogeeni kõrgeprotsendiline kontsentraat, mida on võimalik saada peenestatud põlevkivirikastamisega.

*

Käesoleva tööga tehti kindlaks järgmist:

1. Kukersiidi kerogeeni kontsentraadi saamiseks sobib hästi kolmanda sordi kukersiit.

2. Rikastatava kukersiidi disperssus peab olema alla 0,20 mm.

3. Kerogeeniosakeste keskmine läbimõõt on 30÷70 μ; jämedama terasuuruse klassides domineerib kaltsiit, peenema terasuuruse klassides — hüdrovilgud.

4. Floteeritav pulp peab olema eelnevalt dešlammeeritud ja hüdrotsüklooneeritud, siis saadakse reagentide minimaalse kuluga 85%-lise puhutusega kerogeeni kontsentraat.

*

Kukersiidiproovide sõelaanalüüsid tegi H. Vilgo ENSV RMN Ehitusmaterjalide Tööstuse Valitsuse Spetsiaalse Konstrueerimisbüroo laboratooriumis.

Kukersiidi granulomeetriselid klassid suunati keemilisele analüüsile ja kütteväärtuse määramisele ning mikrofotode valmistamisele. Keemilised analüüsid tegi I. Lõoke TA Geoloogia Instituudi laboratooriumis, kütteväärtused määras A. Aaremäe TA Keemia Instituudi rikastamisprotsesside sektori laboratooriumis. Kõigile nimetatud kaastöötajatele avaldavad autorid siinkohal tänu.

KIRJANDUS

1. Алумяэ Т., О некоторых физико-химических показателях сланца карстовых нарушений в эстонском сланцевом бассейне. Горючие сланцы. Химия и технология, вып. 3. Таллин, 1959.
2. Горпан Б. К., О химическом и минералогическом составе пластов и пропластов кукерсита. Тр. Таллинск. политехн. ин-та, серия А, № 57. Таллин, 1954.
3. Бауков С. С., Закономерности вещественного состава горючего сланца Прибалтийского сланцевого бассейна. Тр. Ин-та геологии АН ЭССР, II. Таллин, 1958.
4. Раудсепп Х. Т., Фомина А. С., Горпан Б. К. и Норман Х. К., Технохимическая характеристика кукерского сланца западного крыла эстонского сланцевого бассейна. Тр. Таллинск. политехн. ин-та, серия А, № 57. Таллин, 1954.
5. Оясте К. А., О составе известняковых включений в сланцевых слоях эстонского месторождения. Тр. Таллинск. политехн. ин-та, серия А, № 203. Таллин, 1963.
6. Эпик И. П., Влияние минеральной части сланцев на условия работы котлоагрегата. Таллин, 1961.
7. Викулова М. Ф. и др. Методическое руководство по петрографо-минералогическому изучению глин. Госгеолыздат. М., 1957.

СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И МИНЕРАЛОВ В ОТДЕЛЬНЫХ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ КЛАССАХ ИЗМЕЛЬЧЕННОГО КУКЕРСИТА

А. Китсник

Р. Кох,

кандидат технических наук

Резюме

Задачей настоящей работы было исследование отдельных классов крупности измельченного эстонского горючего сланца-кукерсита.

При обогащении сланца-кукерсита с целью получения керогенового концентрата с высоким содержанием органического вещества, служащего исходным сырьем для производства дикарбоновых кислот, определяющим фактором является оптимальная степень измельчения исходного материала перед процессом обогащения.

Исследовался сланец III сорта, измельчение которого производилось путем: 1) распускания в бензоле, 2) помола в шаровой мельнице, 3) помола в вибромельнице и 4) измельчения на лабораторных бегунах. Измельченный материал классифицировался на стандартных ситовых комплектах на отдельные классы крупности в пределах $20 \div 0,056$ мм, которые далее подвергались химическому и калориметрическому анализам. Результаты анализов приведены в соответствующих таблицах и графиках.

Исследование показало, что основная масса керогена находится в классах крупности $30 \div 70$ мк. Опытным путем было найдено, что обогащаемый материал должен измельчаться до 0,2 мм. Перед разделением материала предлагается удалять частицы крупнее 75 мк, так как они состоят, в основном, из карбонатов и пирита. Опыты показали, что в этом случае после процесса гидроциклонирования получается отход, содержащий лишь 0,2% органического вещества. Кроме того, необходимо удалить и шламовую часть крупностью до 20 мк, очень трудно поддающуюся разделению. Шлам обладает теплотворной способностью $2500 \div 3000$ ккал/кг и может быть использован в виде пылевидного топлива.

При дальнейшем дообогащении материала флотационным методом может быть получен керогеновый концентрат с содержанием около 85% керогена.

Институт химии
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
15. VII 1964

DER GEHALT DER ORGANISCHEN MASSE UND DER MINERALIEN IN EINZELNEN GRANULOMETRISCHEN KLASSEN DES ZERKLEINERTEN BRENNSCHIEFERS (KUKERSITS)

A. Kitsnik, R. Koch

Zusammenfassung

Im Artikel werden die mineralogische Zusammensetzung und die Verteilung der organischen Masse in den einzelnen Klassen des zerkleinerten estnischen Brennschiefers (Kukersits) geschildert.

Als Ausgangsmaterial wurde Brennschiefer dritter Sorte benutzt. Die Zerkleinerung wurde nach verschiedenen Methoden durchgeführt — in Benzol, in der Kugelmühle und in der Vibromühle. Das zerkleinerte Material wurde in Klassen getrennt, $20 \div 0,056$ mm.

Es wurde festgestellt, dass die Grundmasse des organischen Materials des Kukersits innerhalb relativ enger Grenzen schwankt, nämlich zwischen $30 \div 70$ μ. Experimentell wurde bestätigt, dass zur Aufbereitung das gesamte Gut bis unter 0,2 Millimeter zerkleinert werden muss. Größeres Gut besteht hauptsächlich aus Teilchen des Kalzits, des Quarzes und des Pyrits. Die feinsten Teilchen bestehen aber aus lehmähnlichem Material.

Es ist nötig, vor der Separation die größeren Teilchen auszuschleiden (zum Beispiel mittels Hydrozyklone) und später die Pulpe noch zu entschlämmen. Die so vorbereitete Pulpe wird in die Hauptseparation geleitet, zum Beispiel für Flotation.

Hier erhält man das eigentliche Konzentrat des Kerogens (Reinheit ca 85%). Um die Konzentration noch höher zu erhalten, muss man die feinsten Mineralteilchen aus dem Konzentrat abtrennen, was mit den gewöhnlichen reinmechanischen Mitteln keine nennenswerten Resultate gab.

Institut für Chemie
der Akademie der Wissenschaften der Estnischen SSR

Eingegangen
am 15. Juli 1964