

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ФРАКЦИЙ НЕКОТОРЫХ ГЛИН ЭСТОНСКОЙ ССР

Н. Л. ДИЛАКТОРСКИЙ,
доктор геолого-минералогических наук

В работах, посвященных исследованию глин Эстонской ССР (4, 5, 8, 10-15), почти не затрагиваются вопросы, относящиеся к установлению состава и свойств выделенных из этих глин фракций размером менее одного микрона.

Пытаясь, хотя бы частично, восполнить этот пробел, мы в данном сообщении приводим результаты физико-химических исследований тонких фракций 20 проб глин докембрийского, кембрийского, девонского и четвертичного возраста.

В выполнении работы принимали участие сотрудники Института строительства и строительных материалов Академии наук ЭССР: Л. С. Архангельская (термография и механические анализы), О. М. Раудсепп (химические исследования) и Л. Я. Тийвас (изотермические взвешивания). Электронномикроскопические фотографии и большая часть определений минералогического состава тонких фракций были выполнены во Всесоюзном институте галургии (Ленинград) В. И. Аполлоновым, С. Ф. Ивановой и Е. А. Яржемской.

Подготовка материала для исследований

Средняя проба глины, взятая в количестве 100 г, распускалась в литре дистиллированной воды и кипятилась в течение 1—2 часов в колбе с обратным холодильником. Разбавленная до двух литров суспензия отстаивалась в большом стакане, из которого по истечении суток сливался верхний слой на глубину до 10 см. Стакан доливался до прежнего уровня, суспензия тщательно перемешивалась и снова сливалась в большую фарфоровую чашку. Операция повторялась многократно, до тех пор пока не отбиралось 35—50 г тонкой фракции. После упаривания воды густая масса сушилась на воздухе до постоянного веса. Измельченные воздушно-сухие пробы хранились в закрытой посуде. Для иммерсионных исследований агрегатов ориентированных частиц приготавливались отдельные пробы, высушивавшиеся без подогревания.

Собранный материал подвергался химическим, термическим и оптическим исследованиям.

Механический состав глин

Результаты механических анализов глин (анализы выполнялись методом отмучивания по Робинзону) разбиты на три группы в соответствии с возрастной характеристикой глин (рис. 1, 2 и 3).

Кембрийские глины содержат очень мало зерен размером от 1,00 до 0,10 мм; количество зерен 0,10—0,01 мм велико и эта фракция составляет обычно более 50% от общего состава глины. Содержание зерен размером менее одного микрона варьирует в пределах от 10 до 40%. На рис. 1 в качестве примера приведены механические составы пяти исследованных нами кембрийских глин.

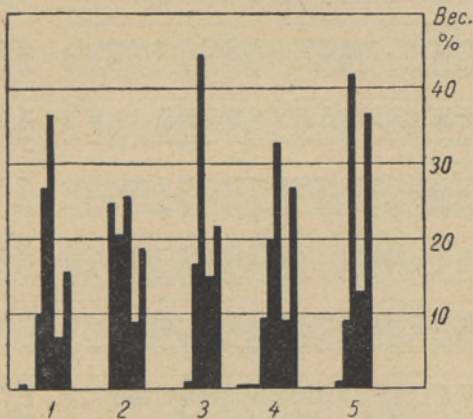


Рис. 1. Гранулометрический состав кембрийских глин. 1 — Кунда; 2 — Копли; 3 — Азери; 4 — Виймси; 5 — Тойла. **Примечание.** Процентное содержание фракций показано по 8 группам: 1,0—0,5 мм; 0,5—0,25 мм; 0,25—0,10 мм; 0,10—0,05 мм; 0,05—0,01 мм; 0,01—0,005 мм; 0,005—0,001 мм и < 0,001 мм, расположенным на диаграмме в указанном порядке слева направо.

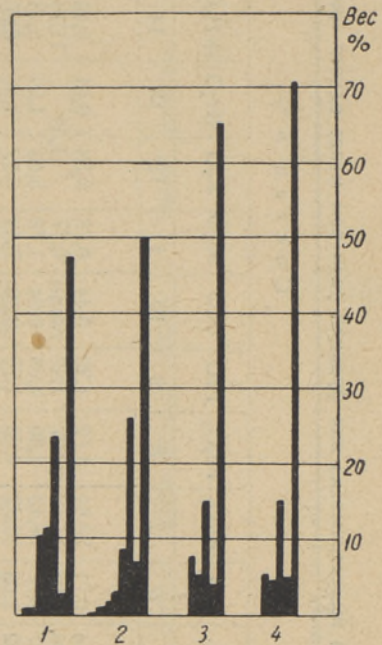


Рис. 2. Гранулометрический состав девонских глин. 1 — Сянна; 2 — Кюллатова; 3 — Ряпина; 4 — Пыльва-Йоозу. (См. примечание к рис. 1.)

Совершенно другую картину дают глины девонского возраста (рис. 2). Даже самые загрязненные из них содержат около 50% зерен размером менее одного микрона, а в более чистых (светлоокрашенных) глинах содержание тонкой фракции достигает 70%. Частиц, имеющих диаметр более 0,1 мм, почти нет. Среди других, как правило, второе место по процентному содержанию занимает фракция 0,01—0,05 мм.

Глины четвертичного возраста (рис. 3) обладают наименее постоянным механическим составом. Частиц менее одного микрона — от 18 до 60%. Крупных зерен — 1,00—0,10 мм — мало; из других обычно преобладают фракция 0,005—0,010 мм, реже фракция 0,010—0,050 мм.

Химический состав тонких фракций

Химические анализы выполнялись по обычной методике, принятой при проведении силикатных анализов. Анализы глин и выделенных из них фракций размером менее одного микрона приведены в таблице 1.

Анализы глин Эстонской ССР и выделенных из них фракций размером менее одного микрона

Месторождение	№ проб	Возраст	Содержание фракций <0,001 мм в %	С о с т а в в %													
				Si O ₂	Ti O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	+H ₂ O	-H ₂ O	CO ₂	SO ₃	Σ
				5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
«Калев»	80	Докембрий	24,46	0,71	23,84	8,72	1,29	0,44	0,78	0,78	0,01	8,16	1,20	0,50	—	99,87	
»	80	»	39,46	1,07	27,59	14,02	1,40	следы	0,77	1,51	—	11,19	1,90	0,63	0,23	99,77	
»	2	Кембрий	65,37	0,81	14,43	2,30	2,68	0,64	1,78	—	1,22	3,45	0,79	1,08	—	100,18	
»	2	»	49,92	1,08	22,62	4,23	1,73	0,90	2,44	6,19	1,47	6,00	3,13	0,34	—	100,05	
»	79	»	23,99	0,82	15,03	4,43	2,40	0,83	2,48	4,76	0,59	3,71	1,20	0,82	—	99,82	
»	79	»	50,06	0,87	20,45	5,89	1,60	0,80	3,34	5,39	1,45	6,09	3,48	0,31	—	99,73	
»	93	»	49,90	0,77	20,98	5,09	1,83	0,59	3,02	5,87	0,50	6,21	4,86	0,28	0,04	99,94	
Виймси	93	»	66,31	0,79	15,26	2,97	1,96	0,59	0,86	5,07	0,62	3,76	1,32	0,26	0,20	99,97	
»	93	»	50,24	1,02	22,65	5,17	1,68	0,32	2,56	6,57	0,75	6,18	2,61	0,03	0,12	99,90	
»	92	»	64,32	0,90	16,75	2,85	2,03	0,43	0,97	5,29	1,00	4,26	1,15	0,13	0,30	100,38	
Кунда	92	»	50,26	1,27	22,68	5,02	1,58	0,46	2,39	6,55	0,55	6,57	2,52	0,03	0,20	100,08	
»	e + d	»	57,71	0,82	16,18	5,08	2,34	0,32	3,10	5,24	0,40	4,18	4,19	0,33	0,21	100,10	
»	e + d	»	16,10	0,80	20,41	5,63	2,47	0,56	3,35	6,18	0,25	5,77	3,32	0,21	следы	100,33	
»	73	»	23,29	0,74	17,19	1,74	4,73	0,58	2,70	5,44	0,03	3,61	1,69	0,70	0,36	99,38	
Аэери	90	»	59,87	0,68	20,76	4,98	2,70	1,00	3,33	6,22	0,11	4,89	1,96	0,98	0,28	100,09	
Тойла	73	»	52,20	0,91	17,13	5,10	2,49	0,27	1,60	5,48	0,58	4,52	1,68	0,03	0,07	99,79	
»	90	»	59,93	0,91	17,13	8,03	1,74	0,36	3,06	6,39	0,49	5,70	2,59	следы	0,09	99,81	
»	61	Девон	50,84	1,12	19,40	3,35	2,20	0,92	1,43	8,60	0,44	6,86	3,98	0,35	—	100,00	
Пыльва-Йоозу	61	»	53,28	1,37	24,22	4,08	0,43	0,64	1,52	3,49	1,17	8,60	3,42	0,18	—	100,89	
»	88	»	47,11	1,32	28,93	6,01	0,52	0,84	1,56	3,59	0,28	7,07	4,84	0,56	0,02	99,86	
Ряпина	88	»	50,54	1,15	22,88	4,08	0,51	0,29	1,62	3,82	0,44	8,57	2,59	0,01	0,02	99,95	
»	88	»	47,79	1,33	27,55	5,51	0,41	0,29	1,51	3,39	0,49	7,39	3,03	1,13	0,17	99,95	
Кюллагова	66	»	42,81	0,80	21,91	4,16	0,53	0,47	2,37	5,64	1,28	7,39	2,54	0,02	0,01	100,32	
»	66	»	48,98	1,21	24,89	4,99	0,53	0,87	1,90	5,27	0,17	5,34	3,72	0,44	—	100,45	
Сяна	51	»	55,57	1,05	21,12	4,55	0,45	0,47	1,90	5,27	0,17	5,34	3,72	0,44	—	100,45	
»	51	»	38,93	0,97	24,80	6,43	0,56	0,91	2,53	5,87	1,35	6,45	3,10	0,55	—	100,65	
Пярю	1	Четвертичный	47,13	0,91	18,98	5,22	3,52	1,68	3,34	4,15	1,09	5,76	3,32	0,17	0,05	99,97	
»	1a	»	51,78	0,98	19,15	7,06	3,58	1,16	3,87	4,55	0,98	6,60	3,36	0,08	0,04	99,81	
»	1	»	49,88	0,74	19,71	5,67	3,30	1,98	3,57	4,34	0,92	5,79	3,22	0,63	—	99,75	

Таблица I (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Вана-Вигала	19	Четвер- тичный	55,40	55,62	0,83	17,19	5,87	2,63	2,16	2,91	3,83	1,73	4,93	2,28	0,41	0,02	100,41
"	19	"	100	48,70	1,00	18,95	7,32	3,11	1,88	4,37	3,45	1,99	5,57	3,44	0,31	—	100,09
Вана-Вяндра	41	"	26,40	54,25	0,83	16,91	4,96	1,88	3,67	3,28	4,17	1,54	3,95	2,69	3,33	—	101,46
"	41	"	100	47,64	0,92	18,94	8,63	2,40	2,64	3,06	4,21	1,03	6,72	3,04	0,71	0,08	100,02
Нортсу	35	"	25,44	56,85	0,65	17,65	5,49	0,71	1,55	2,05	3,97	2,98	4,72	2,99	0,34	—	99,95
"	35	"	100	49,04	0,95	20,43	9,49	1,20	1,23	2,66	3,72	1,02	7,88	2,71	следы	0,04	100,37
Каллемяэ	70	"	27,98	46,99	0,80	16,80	4,17	2,38	6,34	3,59	4,45	2,25	4,03	2,83	5,37	—	100,00
"	70	"	100	47,51	0,86	18,69	6,02	2,74	4,37	3,60	5,01	1,00	6,02	2,07	2,43	0,06	100,38
Курессааре (Кингисеп)	27	"	43,13	51,85	0,96	19,12	6,03	2,71	1,74	3,15	4,73	2,29	4,87	2,92	0,38	—	100,65
"	27	"	100	48,77	0,91	18,22	7,59	2,37	1,72	3,65	4,28	2,31	5,91	3,65	0,28	—	100,21
"	28	"	50,00	50,37	0,77	19,03	5,41	3,49	4,16	3,00	3,33	2,27	4,79	2,19	1,53	—	100,34
"	28	"	100	49,46	0,73	20,51	5,77	3,22	1,83	3,56	4,68	0,92	5,61	3,69	0,55	—	99,53
Вырна	30	"	29,98	44,35	1,37	22,06	4,61	0,79	4,82	1,12	4,40	2,29	5,22	3,16	5,37	—	99,56
"	30	"	100	48,39	0,88	19,18	7,23	1,68	3,16	3,55	4,68	0,54	5,75	3,09	1,98	—	100,11
Лава	74	"	10,41	59,69	0,67	13,09	4,29	0,88	4,44	3,38	3,68	0,61	2,56	1,98	4,52	—	99,79
"	74	"	100	47,19	0,92	18,17	9,58	1,53	3,27	2,97	4,44	1,06	6,77	2,94	1,24	0,06	100,14
Тыстамаа	4	"	31,86	34,73	0,76	10,52	1,80	1,78	20,10	4,16	3,50	2,18	1,52	0,96	18,38	—	100,39
" (пересчет без карбонатов)	4	"	—	57,34	1,23	17,33	2,98	0,01	6,13	1,52	5,77	3,59	2,51	1,59	нет	—	100,00
" (обраб. 3% HCl)	4	"	100	53,30	1,08	20,86	4,39	2,27	следы	3,40	5,17	0,91	6,02	2,23	следы	—	99,63

Примечание. Первый ряд цифр относится к составу глины, второй (100%) — к тонкой фракции.

При сопоставлении химических составов глины и фракций можно легко заметить, что в то время как глины обнаруживают резкие различия в абсолютных и относительных содержаниях SiO_2 , Al_2O_3 и других окислов (табл. 2), фракции показывают более однородный состав. Колебания содержания SiO_2 во фракциях не превышают $\pm 1,2\%$, а Al_2O_3 $\pm 2,1\%$. Средние соотношения содержания указанных окислов в глинах, распределенных по группам исходя из возрастного принципа, приведены в таблице 3.

Таблица 2

Сравнение содержания SiO_2 и Al_2O_3 в глинах и выделенных из них фракциях размером $< 0,001$ мм (в процентах)

Месторождение	№ проб	SiO_2		Al_2O_3		$\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$	
		в глинe	во фракции $< 0,001$ мм	в глинe	во фракции $< 0,001$ мм	в глинe	во фракции $< 0,001$ мм
Азери	73	59,9	52,2	17,2	20,8	3,49	2,59
Виймси	93	66,3	50,2	15,3	22,7	4,33	2,30
Кунда	92	64,3	50,3	16,8	22,7	3,82	2,21
Кунда	$e + d$	57,7	51,4	16,2	20,4	3,56	2,56
Копли	2	65,4	49,9	14,4	22,6	4,55	2,20
Копли	79	62,8	49,9	15,0	21,0	4,20	2,37
Тойла	90	59,9	50,8	17,1	19,4	3,50	2,61
Пыльва-Йоозу	61	53,3	47,1	24,2	28,9	2,20	1,63
Ряпина	88	50,5	47,8	22,9	27,5	2,20	1,74
Сянна	51	55,6	47,1	21,1	24,8	2,64	1,90
Кюллатова	66	51,7	49,0	21,9	24,9	2,36	1,96
Курессааре (Кингисепп)	28	50,4	49,5	19,0	20,5	2,66	2,42
Нортсу	35	56,9	49,0	17,7	20,4	3,22	2,45
Вана-Вяндра	41	54,3	47,6	16,9	18,9	3,22	2,51
Вырсна	30	44,3	48,4	22,1	19,2	2,00	2,51
Пярну	1	51,8	49,9	19,0	19,7	2,72	2,54
Каллемяэ	70	47,0	47,5	16,8	18,7	2,80	2,54
Вана-Вигала	19	55,6	48,7	17,2	19,0	3,24	2,57
Тыстамаа	4	57,4	53,3	17,4	20,9	3,30	2,55
Лаэва	74	59,7	47,2	13,1	18,2	4,57	2,59
Курессааре (Кингисепп)	27	51,9	48,8	19,1	18,2	2,71	2,68

Таблица 3

Глины	SiO_2 в %	Al_2O_3 в %	$\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$
Кембрийские	$50,5 \pm 0,9$	$21,2 \pm 1,0$	2,4
Девонские	$48,0 \pm 1,0$	$26,4 \pm 2,1$	1,8
Четвертичные	$49,0 \pm 1,2$	$19,4 \pm 1,5$	2,5

Наибольшим однообразием состава отличаются фракции, выделенные из кембрийских и четвертичных глин. Фракции девонских глин, исключительно постоянные по содержанию кремнезема, обнаруживают боль-

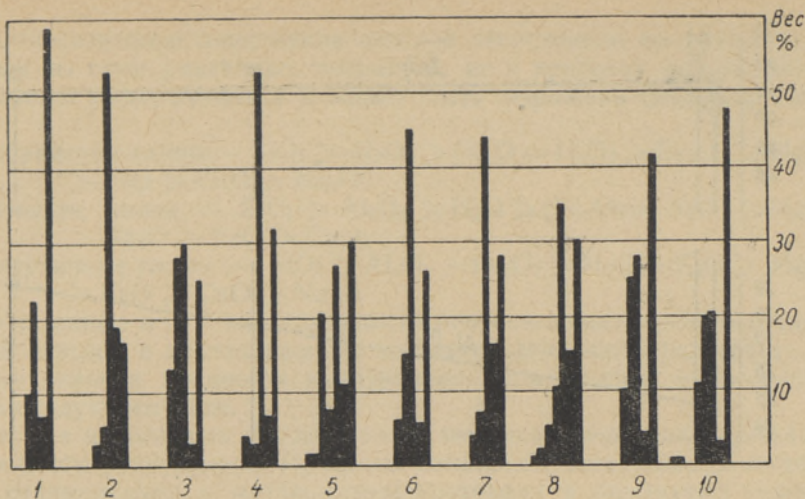


Рис. 3. Гранулометрический состав четвертичных глин. 1 — Вана-Вигала; 2 — Лаэва; 3 — Пярну; 4 — Тыстамаа; 5 — Вырсна; 6 — Вана-Вяндра; 7 — Каллемяэ; 8 — Нортсу; 9 — Кулламаа; 10 — Курессааре (Кингисепп). (См. примечание к рис. 1.)

шие колебания в количестве входящего в их состав глинозема. Такое постоянство состава тонких фракций говорит об однообразии процессов выветривания и одинаковой их направленности в течение отдельных геологических эпох.

Колебания в содержании других окислов (Fe_2O_3 , FeO , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , H_2O) можно проследить по вариационным диаграммам химического состава тонких фракций на рис. 4, 5 и 6.

Кембрийские глины характеризуются близким по количеству (в пределах 4,7—6,5%) содержанием высокотемпературной воды, окиси железа и окиси калия, меньшим, но довольно постоянным содержанием окиси магния (2,5—3,2%), закиси

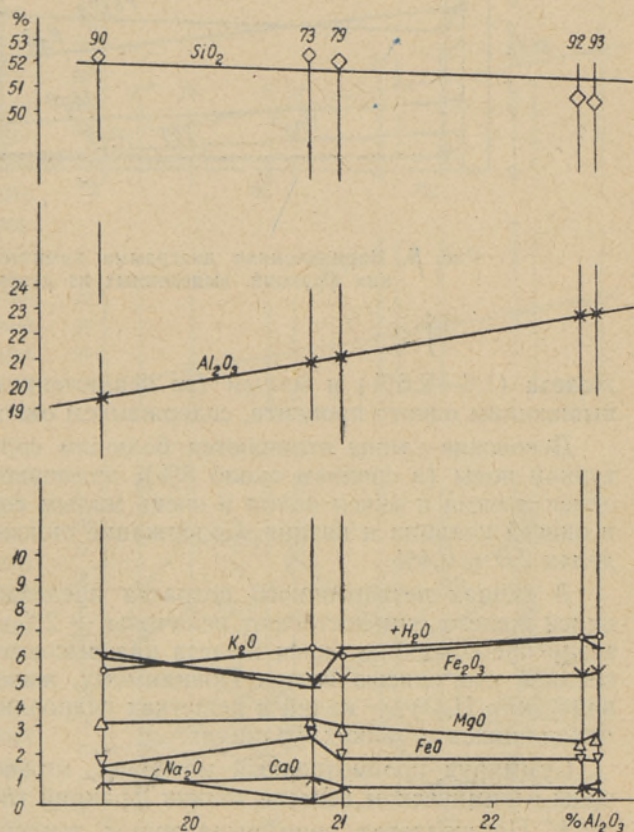


Рис. 4. Вариационная диаграмма химического состава тонких фракций, выделенных из кембрийских глин.

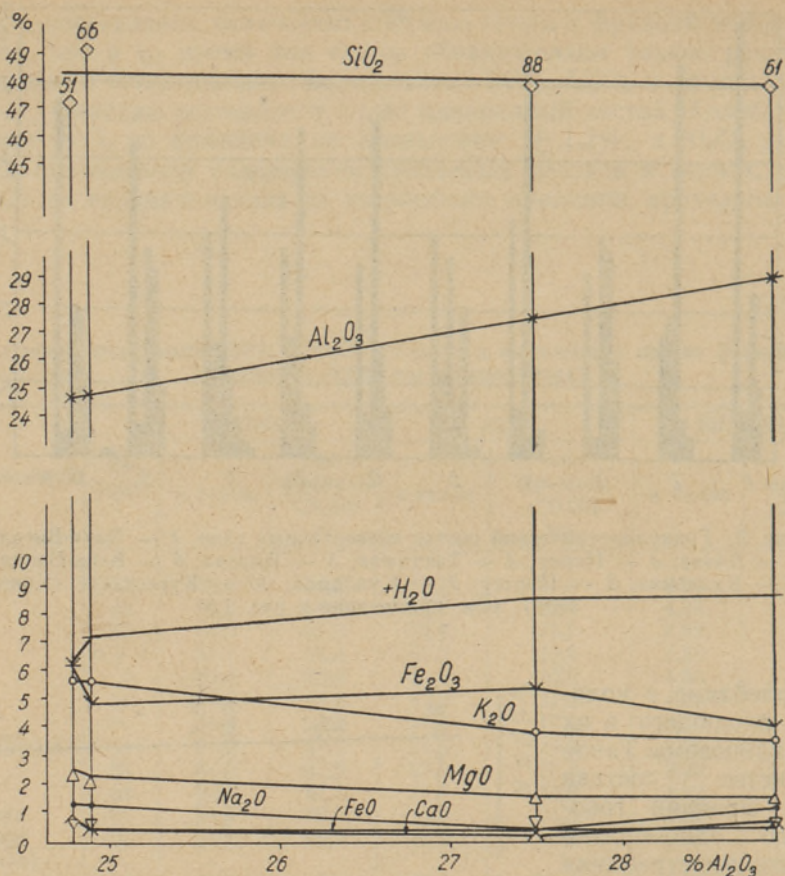


Рис. 5. Вариационная диаграмма химического состава тонких фракций, выделенных из девонских глин.

железа (1,6—2,6%) и малым (за исключением одного случая), не превышающим одного процента, содержанием окиси натрия и окиси кальция.

Девонские глины отличаются большим содержанием высокотемпературной воды (в среднем около 8%), примерно одинаковым количеством окиси железа и окиси калия и очень малым содержанием закиси железа и окисей кальция и натрия. Содержание окиси магния колеблется в пределах $2,0 \pm 0,4\%$.

В глинах четвертичного возраста пределы колебаний больше. Для окиси железа они достигают величины $\pm 2\%$, для воды $\pm 0,6\%$. Характерно преобладание окиси железа над высокотемпературной водой и последней над окисью калия. Повидимому, железо заменяет алюминий, а вода (или H_2O) — калий в решетках гидроалюмосиликатных минералов, находящихся в тонких фракциях.

Суммируя просмотренный материал, можно сделать следующие выводы о химическом составе тонких фракций глин:

1. Наблюдается явно выраженная тенденция к выравниванию состава, что особенно хорошо заметно по постоянству соотношения $SiO_2 : Al_2O_3$.

2. Относительное содержание окислов непостоянно во фракциях, выделенных из глин различных возрастов, но в пределах разновозрастных глин хорошо выдерживается и может быть выражено следующими схемами:

Кембрийские глины — $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > (\text{K}_2\text{O} = \text{H}_2\text{O}) > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{MgO} > \text{FeO} > \text{CaO} > \text{Na}_2\text{O}$;

Девонские глины — $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{H}_2\text{O} > (\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{K}_2\text{O}) > \text{MgO} > \text{Na}_2\text{O} > \text{FeO} > \text{CaO}$;

Четвертичные глины — $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{H}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O} > \text{MgO} > \text{FeO} > \text{CaO} > \text{Na}_2\text{O}$.

3. Указанные в п. 2 закономерности относительного преобладания отдельных окислов в глинах разного возраста позволяют представить себе основные отличия процессов выветривания для каждой из возрастных групп в следующем виде.

Во время накопления осадков глин кембрия преобладали механические процессы разрушения. Процессы изменения химического состава в период седиментации и метасоматоза протекали в замкнутых условиях, без доступа кислорода воздуха. Судя по ассоциации минералов, слагающих глины, источником питания были кислые кристаллические породы.

Учитывая исключительно большое содержание фракций размером менее одного микрона в девонских глинах, а также преобладание высокотемпературной воды и окислов железа над окислами калия, можно предполагать, что либо эти глины являются переотложенными, либо накопление осадков проходило в условиях крайне медленного их передвижения в спокойных водоемах. Медленно накапливавшиеся осадки хорошо снабжались кислородом.

Накопление четвертичных глин происходило главным образом за счет размывания ледниковых отложений и шло разнообразными путями (ленточные, моренные, лиманные и др. глины), что приводило к заметным различиям в составе отложений. Обилие окислов железа и высокотемпературной воды в составе тонких фракций, выделенных из глин четвертичного возраста, говорит об энергично продолжавшихся процессах выветривания силикатов и алюмосиликатов, переотложенная часть которых подверглась значительному изменению в течение предшествовавших геологических периодов.

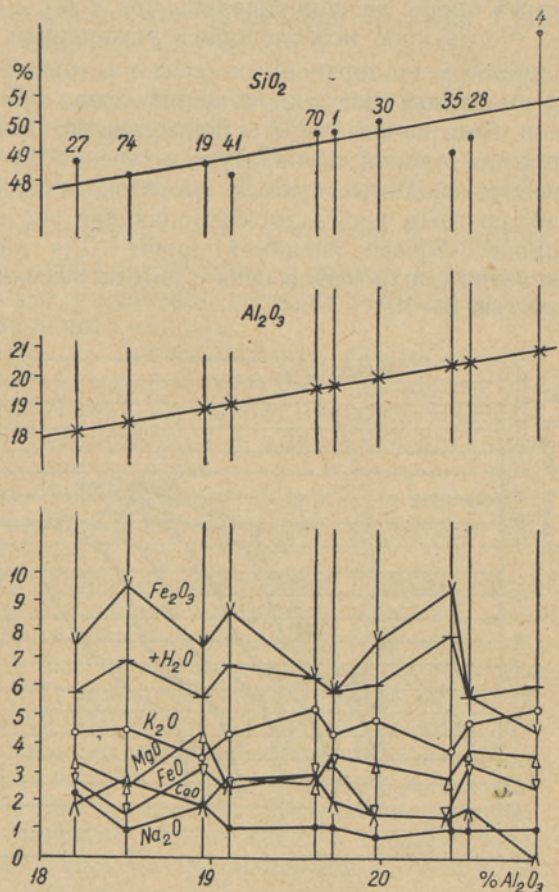


Рис. 6. Вариационная диаграмма химического состава тонких фракций, выделенных из четвертичных глин.

Кривые потерь веса при изотермическом нагревании

Работа проводилась с пробами отмученных фракций глин весом в один грамм. Навески помещались в маленькие фарфоровые тигли, предварительно прокаленные до постоянного веса, устанавливавшиеся в специально изготовленную шамотную коробку с крышкой и боковым отверстием для термодпары, вмещающую до 16 тиглей. Нагревание осуществлялось в электрической нихромовой печи, снабженной устройством, позволяющим поддерживать заданную температуру с точностью 3—5°. Температура измерялась калиброванной хромель-алюмелевой термодпарой, горячий спай которой помещался над тиглями внутри шамотовой коробки. После 6—8-часовых экспозиций тигли вместе с ящиком извлекались из печи и переносились (еще горячими) для охлаждения в эксикатор, в котором хранились стаканчики для взвешивания. По охлаждении тигли переносились в бюксы, закрывавшиеся плотными, притертыми крышками, и после получасового пребывания в весовой комнате взвешивались. Взвешивания с последующими нагреваниями при одной и той же температуре продолжались до тех пор, пока разница результатов двух-трех следующих одно за другим взвешиваний не становилась менее 0,0002 грамма. Нагревания проводились в интервале 100—1000° через каждые 100 градусов, за исключением температур 400—500°, в промежутке между которыми пробы экспонировались при 450°.

Часть проб исследовалась ускоренным способом: непрерывным взвешиванием на торсионных весах маленькой навески (0,25 г), помещенной в шамотный тигелек, весивший около 0,2 г, подвешенный к рычагу весов. Контрольные опыты показали, что при выдерживании таких навесок при постоянной температуре в течение 20—50 минут получаются хорошо воспроизводимые кривые, несколько отличающиеся от «стандартных» по абсолютным весам, но сохраняющие все особенности, характеризующие процесс «обезвоживания» пробы. Для нагревания применялась низковольтная нихромовая печь с автоматическим терморегулированием с точностью 8—10°.

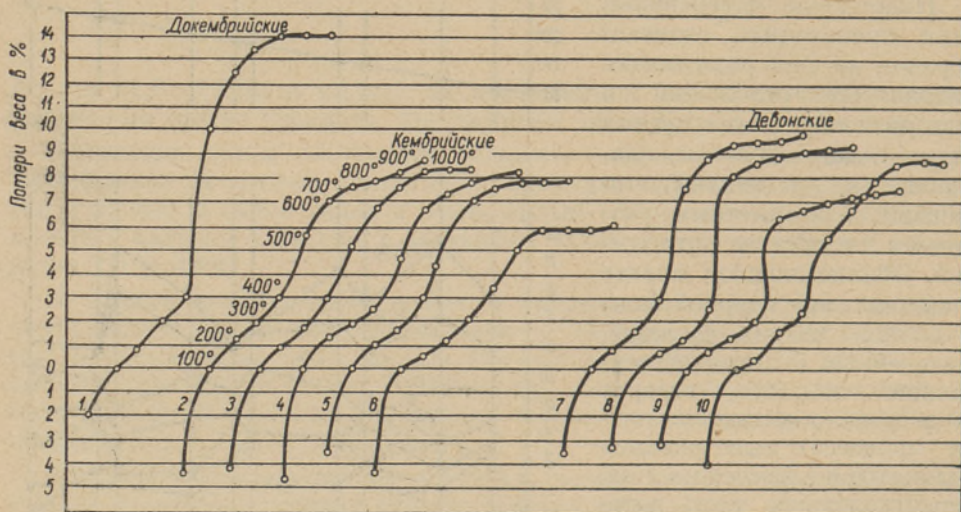


Рис. 7. Потери веса при изотермическом нагревании тонких фракций, выделенных из глин докембрия, кембрия и девона. 1 — «Калев»; 2 — Копли; 3 — Кунда; 4 — Виймси; 5 — Тойла; 6 — Азери; 7 — Ряпина; 8 — Пылва-Йоозу; 9 — Сянна; 10 — Кюллатова.

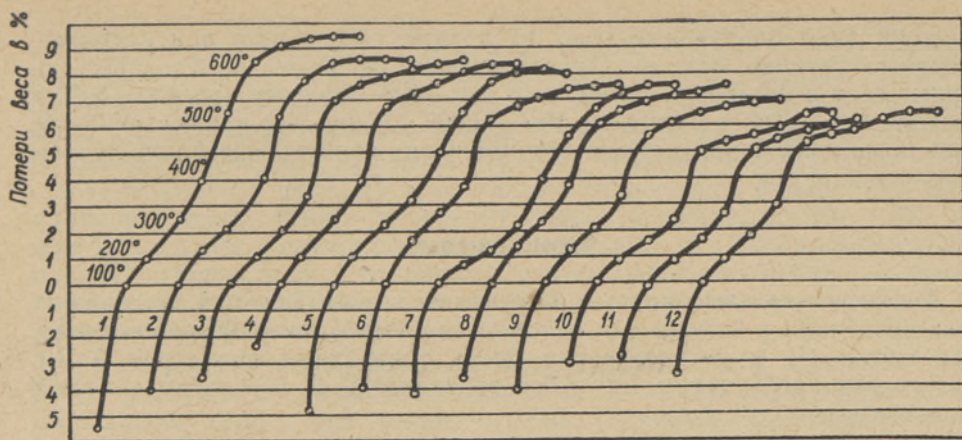


Рис. 8. Потери веса при изотермическом нагревании тонких фракций, выделенных из глин четвертичного возраста. 1 — Лаэва; 2 — Вана-Вяндра; 3 — Вырукиви; 4 — Люганузе; 5 — Вана-Вигала; 6 — Вырсна; 7 — Пяру; 8 — Нортсу; 9 — Вырсна; 10 — Курессааре (Кингисепп); 11 — Курессааре (Кингисепп); 12 — Кулламаа.

Кривые потерь веса при изотермическом нагревании фракций глин размером менее одного микрона показаны на рис. 7 и 8.

Глина «Калев» докембрийского возраста (рис. 7, 1) дает типичную каолинитовую кривую, осложненную выделением воды из гидрослюдистых минералов и имеющегося в породе гидрогематита. Потери веса в интервале температур 400—500° составляют около 7,4%. Считая, что в чистом каолините в этом интервале выделяется около 12,2% воды⁽⁹⁾, находим содержание каолинита в нашей глине $\frac{7,4 \cdot 100}{12,2} = 61\%$, что хорошо сходится

с расчетом химического анализа, опубликованным в статье Дилакторского и Архангельской⁽⁵⁾, которые установили содержание 66% каолинита во фракции размером менее одного микрона.

Глины кембрийского возраста из месторождений Копли, Кунда, Виймси, Азери и Тойла дают весьма сходные между собой кривые потерь веса при изотермическом нагревании. Сравнивая характер этих кривых с кривыми «обезвоживания» типичных водных алюмосиликатов, приведенных Шведовым⁽⁷⁾, можно предполагать гидрослюдистую основу тонкодисперсной части наших кембрийских глин. Говорить о значительных количествах каолинита не приходится, более вероятно примесь минералов монтмориллонитовой группы.

Глины девонского возраста из месторождений Ряпина, Пылва-Йоозу, Сянна и Кюллатова, отличаясь по абсолютной величине потери веса, дают кривые сходной конфигурации. Учитывая значительные потери веса в интервале 400—500°, доходящие до 5%, и значительные потери веса при температурах 100—400° и 500—900°, можно говорить о смешанном тройном составе гидроалюмосиликатной составляющей тонких фракций, выделенных из этих глин: гидрослюда—каолинит—монтмориллонит. При наличии такого предположения показатели светопреломления n_g' , колеблющиеся в пределах 1,575—1,591, определенные нами для частиц ориентированных агрегатов микронных фракций, можно считать средней величиной из показателей светопреломления монтмориллонита ($n_g' \approx 1,513$), каолинита ($n_g' \approx 1,571$) и гидрослюда ($n_g' \approx 1,565—1,605$).

Глины четвертичного возраста в исходном состоянии отличаются большей, чем другие, пестротой состава. Однако выделенные из них тонкие

фракции дают однопипные (рис. 8) кривые потерь веса при изотермическом нагревании. Все они характеризуются сравнительно большими потерями веса в интервале температур 100—400°, малыми при 400—500° и порядка 1,2—3,2% в интервале 500—1000°. Общий вид кривых наиболее приближается к кривым гидрослюд, имеющих примесь минералов группы монтмориллонита.

Термограммы

Дифференциальные кривые нагревания тонких фракций отмученных глин проводились визуальным методом по способу, разработанному автором статьи (4) в металлическом блоке с каналами диаметром 9 мм. Нагревание пробы весом 1,2—1,5 г проводилось со скоростью около 10 градусов в минуту.

Характеристика глин «Калев» докембрийского возраста опубликована ранее (5), поэтому мы приводим здесь только одну кривую нагревания выделенной из нее тонкой (< 1μ) фракции (рис. 9). Конфигурация кривой подтверждает высказанные ранее предположения о преобладании каолинита в составе пробы и о наличии примеси гидрослюд и гидрогематита.

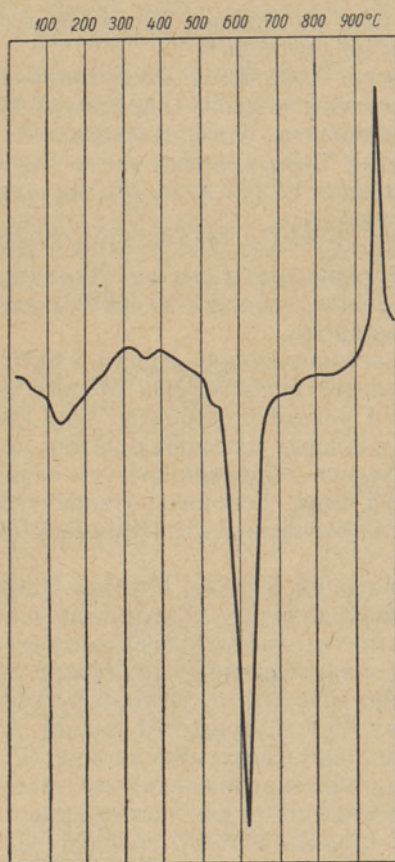


Рис. 9. Термограмма фракции размером < 0,001 мм, выделенной из каолинитовой глины докембрия.

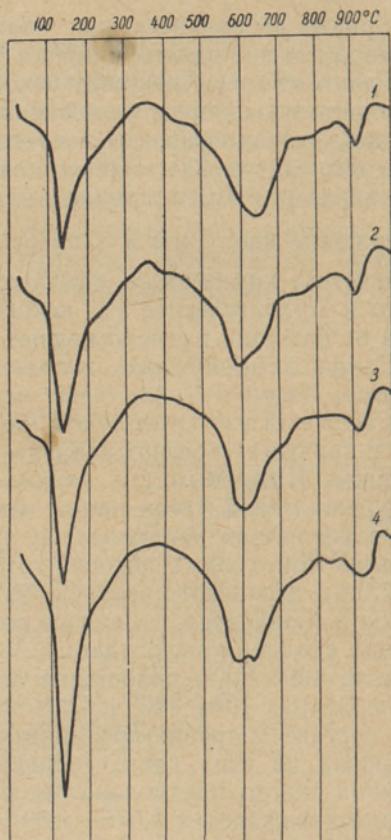


Рис. 10. Термограммы фракций размером < 0,001 мм, выделенных из кембрийских глин. 1 — Тойла; 2 — Виймси; 3 — Кунда; 4 — Копли.

Дифференциальные кривые нагревания фракций размером один микрон из глин кембрийского возраста приведены на рис. 10. Уже при первом взгляде на них бросается в глаза поразительное сходство кривых, в особенности обозначенных цифрами 1, 2, 3. По сравнению с термограммами неотмученных глин, эти кривые отличаются меньшим количеством, но большей четкостью эффектов. Судя по термическим эффектам, в составе отмученных фракций преобладают гидрослюды и минералы ряда монтмориллонита. Довольно сильный подъем кривой около $920-970^{\circ}$ может быть частично связан с наличием небольших (3—8%) количеств каолинита, который в виде единичных чешуек найден нами пока только в глине из Кунда и отмечен для глин из Азери, Копли и для других на электронномикроскопических снимках.

Термограммы тонких фракций, выделенных из глин девонского возраста (рис. 11), обнаруживают одни и те же термические эффекты, отличающиеся лишь своей интенсивностью. Основным, слагающим фрак-

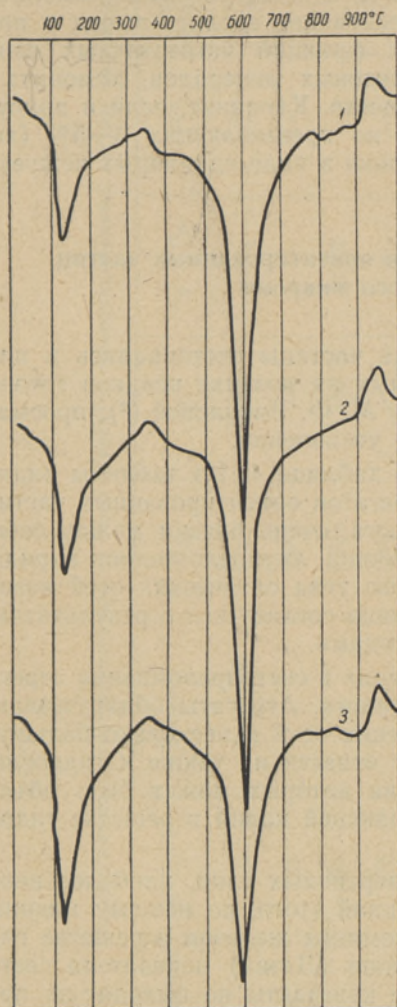


Рис. 11. Термограммы фракций размером $< 0,001$ мм, выделенных из девонских глин. 1 — Ряпина; 2 — Пылва-Йоозу; 3 — Сянна.

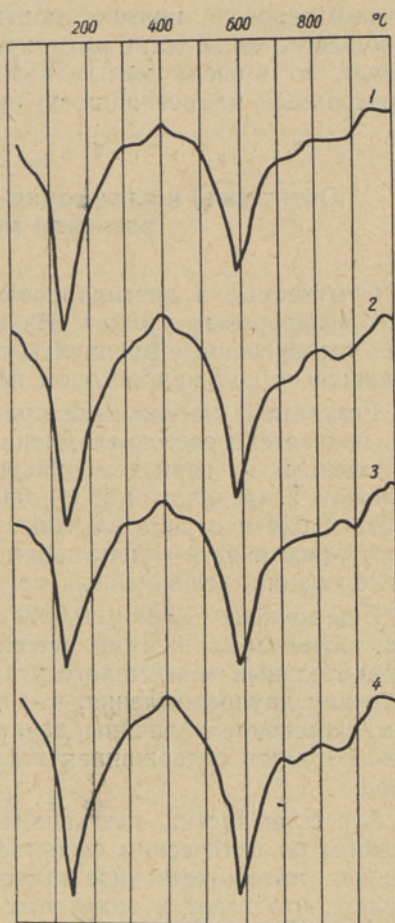


Рис. 12. Термограммы фракций размером $< 0,001$ мм, выделенных из четвертичных глин. 1 — Вана-Вигала; 2 — Лаэва; 3 — Вана-Вяндра; 4 — Пяру.

ции минералом следует считать гидрослюду. Некоторая пологость правой ветви эффектов при $80\text{--}130^\circ$ и $480\text{--}600^\circ$ позволяет предполагать наличие минералов группы монтмориллонита, не обнаруженных, однако, оптическими исследованиями. Довольно сильный размах экзотермического эффекта выше $900\text{--}920^\circ$ заставлял говорить о присутствии небольших количеств каолинита, который был установлен наблюдениями с электронным микроскопом в глинах из Пыльва-Йоозу и Сянна. Эндотермию выше 350° мы связываем с дегидратацией гидроокислов железа.

Дифференциальные кривые нагревания тонких фракций глин четвертичного возраста, показанные на рис. 12, дают ту же картину однообразия зарегистрированных термических эффектов. Несмотря на то, что и исходный состав (необработанная глина), и способ образования месторождений (ленточные, лагунные глины) были неодинаковыми, единый характер поверхностного выветривания привел к образованию весьма сходных продуктов. Находясь в полном согласии с результатами кривых потери веса при изотермическом нагревании и электронномикроскопических исследований, термограммы дают основание сделать вывод о преобладании гидрослюд в составе тонких фракций четвертичных глин. Весьма вероятно примесь монтмориллонитовых минералов, лимонита и небольшого количества органических веществ. Каолинит, если и присутствует, то в очень малых количествах, не превышающих $3\text{--}5\%$ (под электронным микроскопом он найден только в виде единичных чешуек).

Оптические исследования агрегатов ориентированных частиц размером менее одного микрона

Отмученные в дистиллированной воде частицы отстаивались в плоских фарфоровых чашках. Из высушенных на воздухе осадков готовились иммерсионные препараты по методу М. Ф. Викуловой⁽²⁾, просматривавшиеся под микроскопом при малом увеличении.

Результаты наблюдений приведены в таблице 4. Из таблицы видно, что показатели светопреломления n_o' агрегатов ориентированных частиц, выделенных из глин кембрийского возраста, очень близки между собой и лежат в пределах $1,583 \pm 0,003$. Величина двупреломления порядка $0,026\text{--}0,024$ и отрицательный знак малого угла оптических осей позволяют отнести их к гидрослюдам, что хорошо согласуется с результатами исследований, выполненных другими методами.

Еще меньше ($1,589 \pm 0,002$) расхождения в светопреломлении агрегатов, выделенных из глин девонского возраста. Агрегаты обнаруживают отрицательный знак малого угла оптических осей и несколько большую величину двупреломления, что позволяет отнести их также к гидрослюдам, изменение величины двупреломления которых может быть объяснено⁽⁶⁾ иным содержанием воды, замещающей калий в решетке гидрослюды.

Агрегаты частиц, выделенные из четвертичных глин, наиболее непостоянны по оптическим свойствам. Причиной этого, по нашему мнению, следует считать частичное замещение алюминия железом в решетке гидрослюды, что ведет к заметному повышению (Лаэва) показателя светопреломления. Однако и в данном случае константы не выходят за пределы, свойственные гидрослюдам. Тонкие фракции четвертичных глин оказываются наиболее загрязненными примесями, среди которых в наибольшем количестве присутствуют гидроокислы железа, карбонаты и кварц.

Таблица 4

Оптические свойства выделенных из глин агрегатов ориентированных частиц размером менее одного микрона

Месторождение	№ проб	Возраст	n'_g	n'_p	$n'_g - n'_p$	Знак	Характер поверхности	Блеск	Цвет
Копли	78	Кембрий	1,581	1,557	0,024	—	Гладкая	Матовый	Серовато-зеленый
Виймси	93	"	1,586	—	—	—	"	"	Серовато-голубой
Кунда	92	"	1,585	1,558	0,023	—	"	"	Серовато-зеленый
Азери	73	"	1,580	—	—	—	"	"	Серозеленый
Тойла	90	"	1,584	1,564	0,020	—	"	"	Буровато-зеленый
Пыльва-Йоозу	61	Девон	1,587	1,562	0,025	—	"	"	Голубовато-серый
Ряпина	88	"	1,588	1,564	0,024	—	"	"	Голубовато-серый
Ряпина	88	"	1,591	1,566	0,025	—	"	"	Голубовато-серый
Сянна	51	"	1,587	—	—	—	"	"	Серый
Пярну	1	Четвертичный	1,579	1,558	0,021	—	"	"	Светлобурый
Вана-Вигала	19	"	1,577	1,552	0,025	—	"	"	Светлокоричневый
Лаэва	74	"	1,589	—	—	—	"	Нет	Коричневый
Вана-Вяндра	41	"	1,576	1,555	0,021	—	"	Матовый	Светлокоричневый

В таблице 5 приводятся результаты определений минералогического состава фракций, представленных на снимках (табл. I—VI).

Наиболее интересной особенностью следует считать преобладание гидрослюд в составе тонких фракций всех без исключения глин кембрийского, девонского и четвертичного возраста. Количество примеси каолинита максимально в глинах девона. Наиболее загрязненными терригенными (кварц, слюды, полевые шпаты) и карбонатными примесями оказываются четвертичные глины. В глинах кембрийского возраста удалось обнаружить две генерации гидрослюд⁽²⁾: одну «обычного» происхождения, возникшую при выветривании и гидратации минералов, вторую аутигенную, образовавшуюся при кристаллизации коллоидных растворов.

Ожидаемый на основании данных термических исследований монтмориллонит был обнаружен в относительно малых количествах. Возможно, что причиной такого расхождения следует считать недостаточное количество просмотренного материала, но, нам кажется, заслуживает внимания и уже неоднократно появлявшееся в литературе предположение о переслаивании пакетов гидрослюды и монтмориллонита⁽³⁾. Следует ожидать, что рентгенографические исследования, которые мы предполагаем провести, помогут ближе подойти к решению этого вопроса.

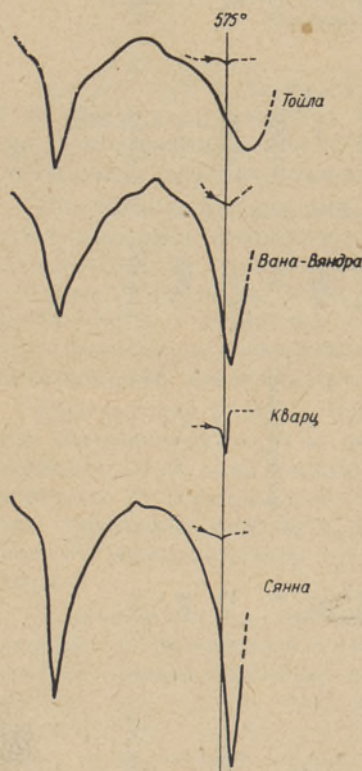
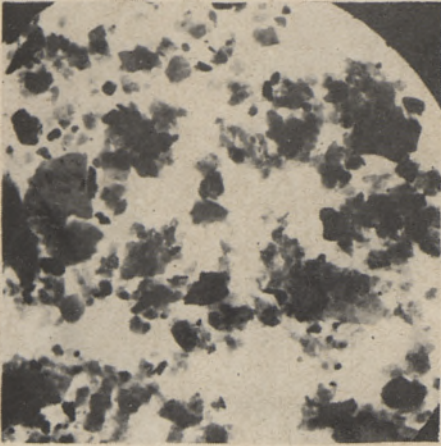
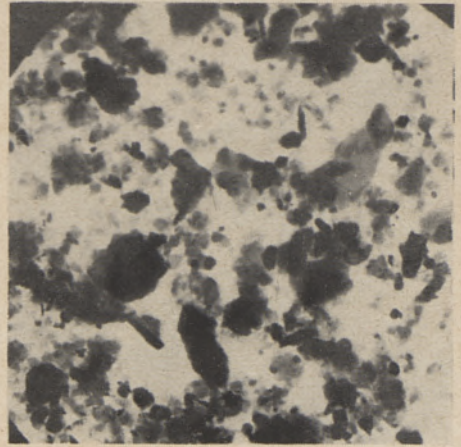


Рис. 13. Термограммы, показывающие наличие примеси кварца в тонких фракциях некоторых глин.

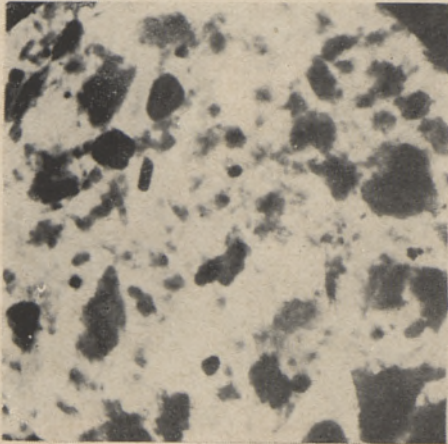
Для проверки правильности определения содержания примеси кварца был использован метод термографии. После нагревания фракции в термографическом блоке до 600—650° и небольшой выдержки при максимальной температуре (для удаления воды), проба охлаждалась до 400—450° и снова нагревалась со скоростью 10° в минуту. Если при первом нагревании выделение воды маскировало эффект полиморфного превращения кварца, то при вторичном нагреве, даже при наличии 2—3% примеси кварца на термограмме, можно было обнаружить небольшой, но четкий эффект α — β превращения. На рис. 13 отчетливо видны термические эффекты, связанные с полиморфным превращением кварца, находящегося в составе тонких фракций глин месторождений Тойла, Сянна и Вана-Вяндра. О количестве примеси можем судить, сравнивая площади эффектов с площадью эффекта, полученной на термограмме чистого кварца, показанной на том же рисунке. Интересно отметить, что для глин месторождений Пыльва-Йоозу и Ряпина таких эффектов не обнаружено; не найдено сколько-нибудь заметных количеств кварца и на электронномикроскопических снимках тонких фракций этих глин (табл. 5).



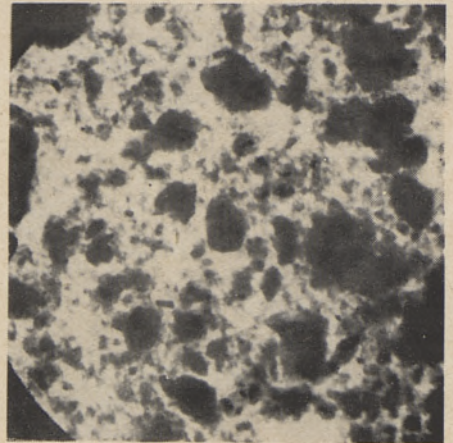
1 — «Калев»-80, докембрий



1^a — «Калев»-80, докембрий

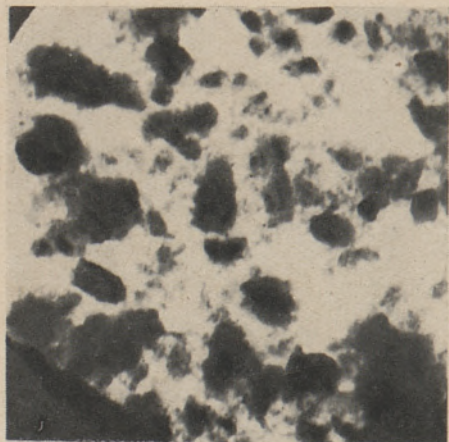


2 — Азери-73, кембрий

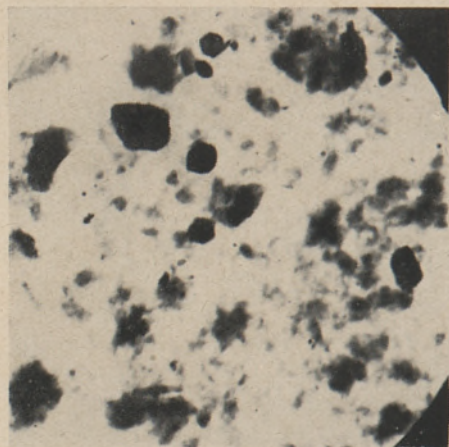


3 — Виймси-93, кембрий

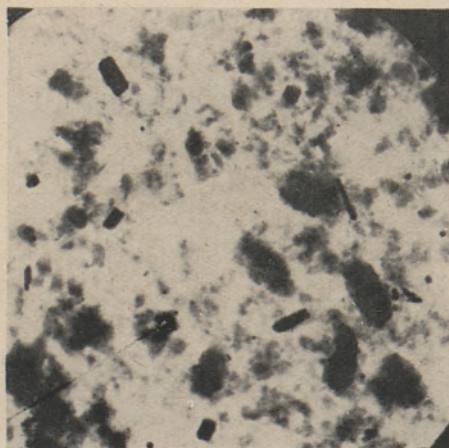
Электронномикроскопические фотографии тонких фракций глин.



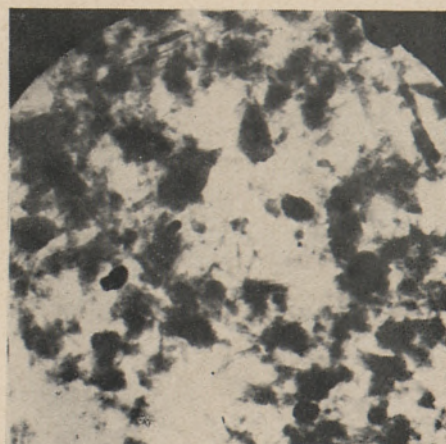
4 — Кунда-92



5 — Копли-2

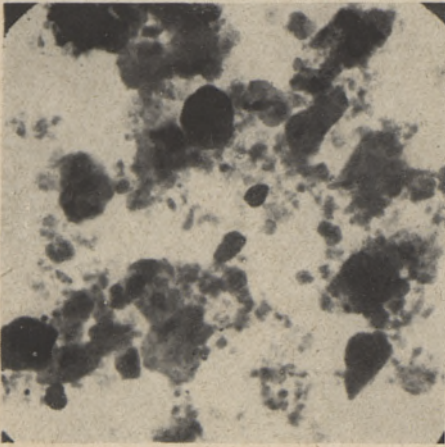


5а — Копли-2

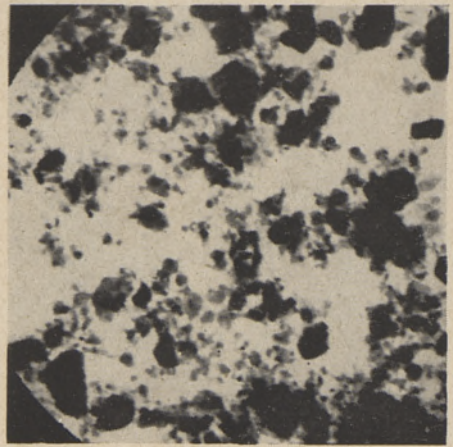


6 — Тойла-90

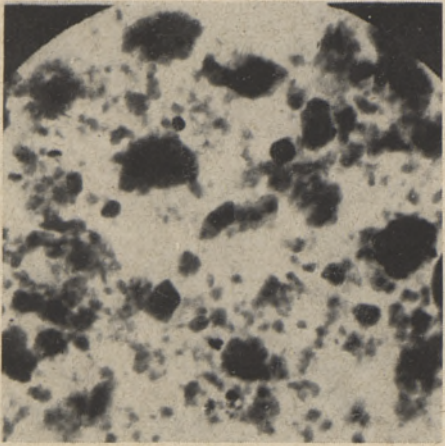
Электронномикроскопические фотографии тонких фракций кембрийских глин.



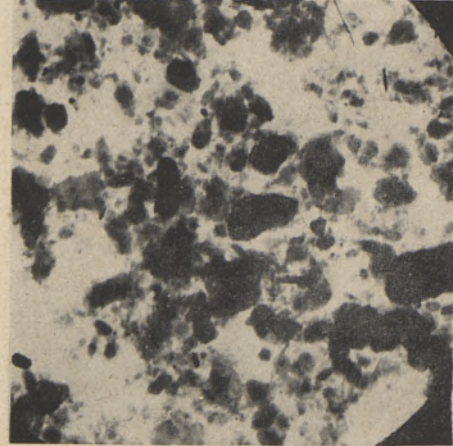
7 — Пыльва-Йоозу-61



8 — Ряпина-88

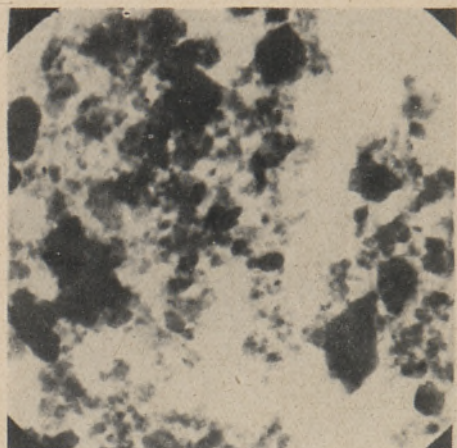


9 — Сянна-51

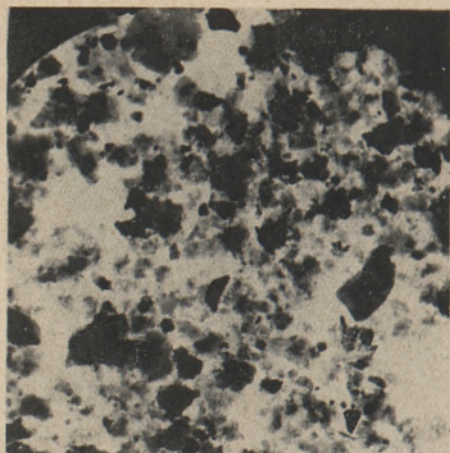


10 — Кюлатова-66

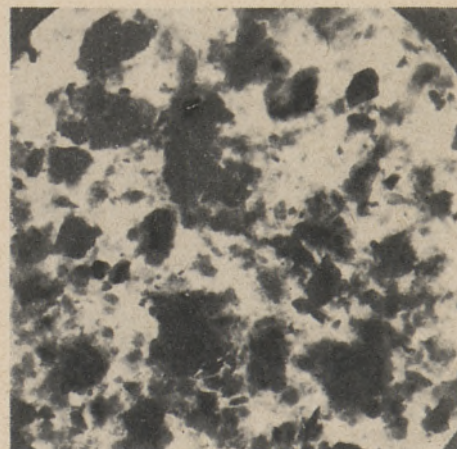
*Электронномикроскопические фотографии тонких фракций
девонских глин.*



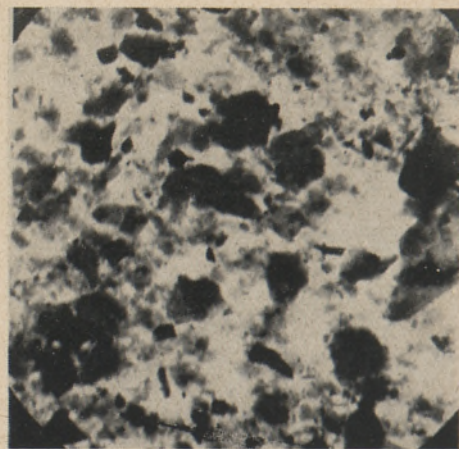
11 — Лахе-61а, девон



12 — Вана-Вигала-19, четвертичные

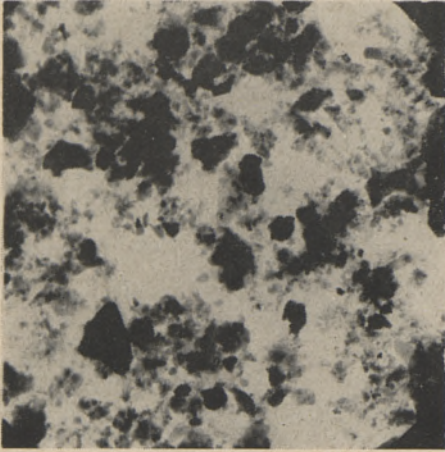


13 — Пярну-1, четвертичные

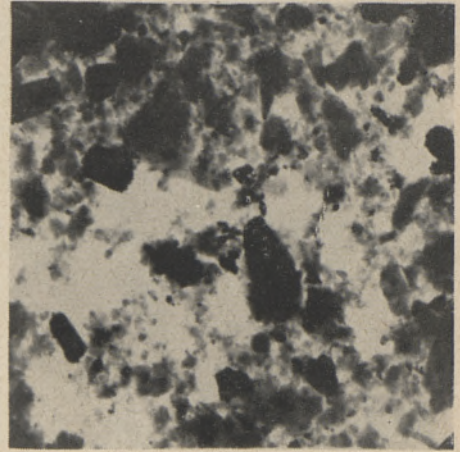


14 — Курессааре (Кингисепп)-27,
четвертичные

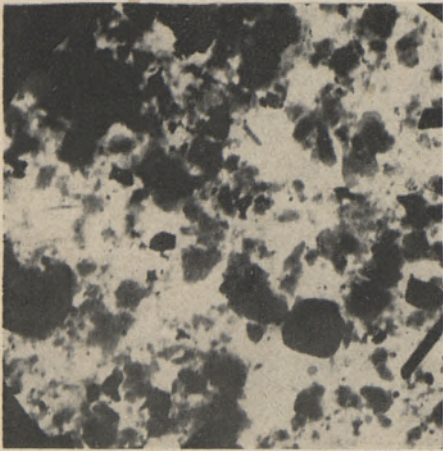
Электронномикроскопические фотографии тонких фракций глин.



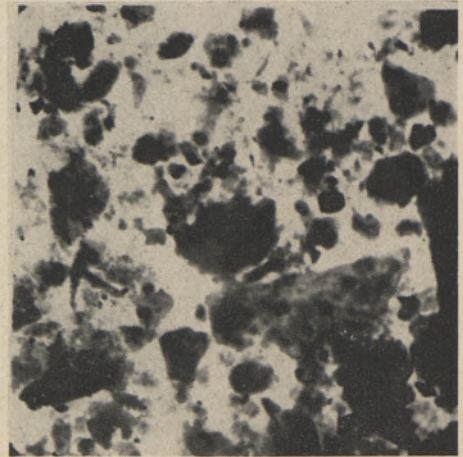
15 — Тыстамаа-4



16 — Вирена-30

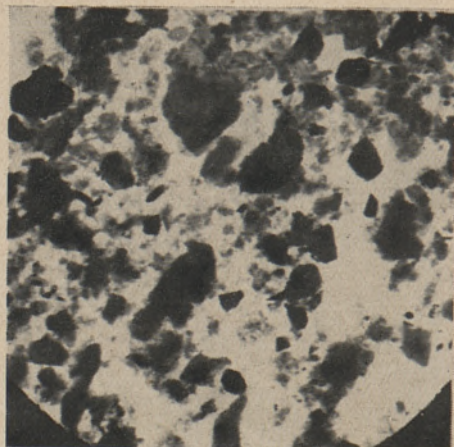


17 — Лаэва-74

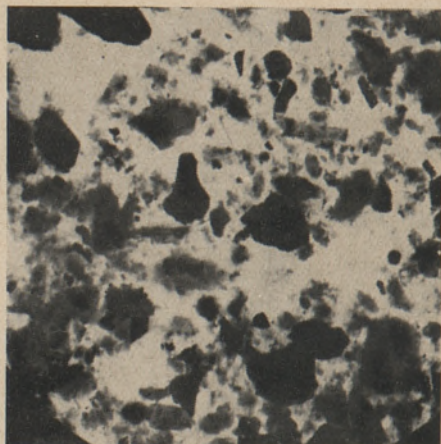


18 — Норгеу-35

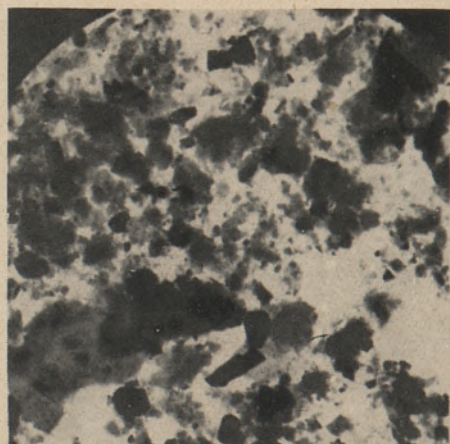
Электронномикроскопические фотографии тонких фракций глин четвертичного возраста.



19 — Каллемяэ-70



20 — Вана-Вяндра



20а — Вана-Вяндра-41

Электронномикроскопические фотографии тонких фракций глин четвертичного возраста.

№ снимков по табл. I—VI	Месторождение	Номер пробы	Возраст	Гидрослюдь первичные	Гидрослюдь вторичные	Каолинит	Монтмориллонит	Кварц	Слюда	Карбонаты	Полевые шпаты
1	«Калев»	80	Докембрий	○	—	○	—	○	○	—	●
2	Азери	73	Кембрий	○	—	○	—	○	○	—	—
3	Виймси	93	"	○	○	●	●	●	—	—	—
4	Кунда	92	"	○	○	●	●	●	—	—	—
5	Копли	2	"	○	○	●	●	●	—	—	—
6	Тойла	90	"	○	○	●	○	●	—	—	—
7	Пыльва-Йоозу	61	Девон	○	—	○	—	—	—	—	—
8	Ряпина	88	"	○	—	○	—	—	—	—	—
9	Сянна	51	"	○	—	○	—	—	—	—	—
10	Кюлатова	66	"	○	—	●	—	●	●	—	—
11	Лахе	61а	"	○	—	—	—	●	●	—	—
12	Вана-Вигала	19	Четвертичный	○	—	—	—	●	●	—	—
13	Пяру	1	"	○	—	—	○	○	●	●	●
14	Курессааре (Кингисепп)	27	"	○	—	—	●	●	●	●	●
15	Тыстамаа	4	"	○	—	—	●	●	●	○	—
16	Вьрсна	30	"	○	—	●	●	●	●	○	●
17	Лаэва	74	"	○	●	●	○	●	○	○	●
18	Нортсу	35	"	○	—	●	○	○	○	—	—
19	Каллемяэ	70	"	○	—	●	○	○	○	—	—
20	Вана-Вяндра	41	"	○	—	●	○	○	○	—	—

Условные обозначения: ○ — преобладает, ○ — много, ○ — заметное количество, ● — мало, — — не обнаружено.

Практическое приложение результатов исследований

Как известно, пластические свойства глин в основном зависят от двух факторов: степени дисперсности частиц и их минералогического состава. Имея в своем распоряжении данные механических анализов, можно получить, как это было показано М. А. Безбородовым (1), представление об ожидаемой водопотребности и величине воздушной усадки глин. Такого же порядка прогнозы могут быть сделаны и в отношении ожидаемой пластичности.

Весьма важным в керамической технологии следует считать вопрос об улучшении качества (облагораживании) глин. Этот процесс обычно осуществляется методом отмучивания или реже — методом электрофореза. Установление размеров частиц, минералогического и химического состава тонких фракций, являющихся предметом обогащения, дает возможность предвидеть как эффективность процесса (т. е. количество получаемого «концентрата»), так и распределение полезных и удаляемых окислов (например, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O и т. д.) между обогащенной частью и отходами. Так, при проведении опытов по обогащению глин месторождений Пыльва-Йоозу и Сянна нам удалось найти объяснение причин, обуславливавших, при хорошем отделении SiO_2 , неудачи наших попыток отделить от обогащаемой части глины окислы железа и калия. Как выяснилось, калий входит в состав решетки гидрослюды вместе с небольшими количествами железа, и, кроме того, окислы железа, находясь в виде тончайших частиц, настолько импрегнируют алюмосиликатную составляющую, что механическое или электрическое разделение их становится крайне затруднительным.

Выводы

1. Наибольшие количества тонких фракций размером менее одного микрона содержат глины девонского возраста, отличающиеся хорошей пластичностью. Значительно меньшим содержанием этих фракций характеризуются глины кембрийского возраста. Четвертичные глины обнаруживают наибольшие колебания в количественном содержании тонких фракций.

2. Во всех глинах, в том числе и четвертичных, проявляющих наибольшие различия в химическом составе, состав тонких фракций обнаруживает большое постоянство в пределах возрастной группы, в особенности в относительном содержании количеств SiO_2 , Al_2O_3 и K_2O .

3. По содержанию окислов тонкие фракции, выделенные из глин Эстонской ССР, могут быть распределены в трех возрастных группах, в пределах которых относительное преобладание отдельных окислов остается постоянным (см. стр. 29).

4. Методами оптической и электронной микроскопии, термографическими и термическими исследованиями установлено, что основным минералом, преобладающим в составе тонких фракций всех глин, за исключением каолинитовой глины докембрия, являются гидрослюды. Примесь каолинита установлена в девонских тугоплавких глинах, где он встречается в наибольших, по сравнению с другими глинами, количествах. В кембрийских глинах каолинит наблюдается в небольших количествах, но чаще, чем в глинах четвертичного возраста. Примесь монтмориллонита, наличие которого предполагалось в большинстве исследованных глин на основании результатов термических исследований, визуальное установлено не во всех случаях, что заставляет высказать предположение о возможности образования переслоенных пакетов монтмориллонита и гидрослюды, оптическими методами не делимых на составные части.

Среди других глин четвертичные глины содержат наибольшее количество примеси кварца, полевых шпатов и не подвергнувшихся разложению слюд.

5. Однообразие химического и минералогического состава тонких фракций в пределах возрастных групп позволяет высказать предположения: а) об общности питающих провинций, б) об одинаковом характере физико-химической обстановки, господствовавшей во время разрушения, переноса и накопления частиц, слагающих толщи отложений глин.

1. М. А. Безбородов и Э. Э. Мазо, Некоторые данные о природе коллоидной фракции гродненских глин БССР, ДАН, т. 73, № 2, 1951.
2. М. Ф. Викулова, Электронномикроскопические исследования глин, Госгеол-издат, 1952.
3. И. И. Гинзбург, Стадийное выветривание слюд и хлоритов, Вопросы петрографии и минералогии, т. 2, 1953.
4. Н. Л. Дилакторский, К вопросу о термических свойствах глин Эстонской ССР, Вопросы петрографии и минералогии, т. 2, 1953.
5. Н. Л. Дилакторский и Л. С. Архангельская, Каолинитовая глина из докембрия ЭССР, ДАН, т. 88, № 2, 1953.
6. В. П. Петров, Геолого-минералогические исследования уральских белых глин и некоторые выводы по минералогии и генезису глин вообще, Труды Института геол. наук АН СССР, вып. 95, петр. серия, № 29, 1948.
7. М. С. Швецов, Петрография осадочных пород, Госгеолиздат, М.—Л., 1948.
8. G. Althausen, Võrumaa Säanna tulekindlad savid ja nende tehnoloogilised omadused, Tehnika ajakiri, nr. 11, 1938.
9. D. S. Beljankin, W. P. Iwanowa, Drei Kaoline, Zschr. f. Min., Abt. A., Nr. 10, 1935.
10. P. Kents. Eesti aluspõhja sügavamad kihid (allpool merepinda) Tallinnas, ühes eesti vanima fossiiliga, Eesti Loodus, nr. 4/5 1939.
11. E. Krusenbergh, Tulekindlad savid Eestis, Loodusevaatleja, nr. 2—4, 1932.
12. W. Pralov, Mikroskopische, röntgenographische und chemische Untersuchungen einiger Proben des estländischen Blauen Tons, Chemie der Erde, XI, 1938.
13. M. Sauramo, Über die Bändertone in den ostbaltischen Ländern vom geochronologischen Standpunkt, Fennia, 45, Nr. 6, 1935.
14. I. Tuuh, Elektroosmoosi mõjust Eesti tulekindlatele savidele, Tehnika ajakiri, nr. 11, 1938.
15. A. Öpik ja E. Krusenbergh, Tulekindlate savide otsimine ja uurimine, Tallinn, 1929.

EESTI NSV MÕNINGATE SAVIDE PEENTE FRAKTSIOONIDE FÜSIKALIS-KEEMILISTEST OMADUSTEST

N. DILAKTORSKI,

geoloogilis-mineraloogiliste teaduste doktor

Resümee

Käesolev uurimus käsitleb Eesti NSV savide disperse koostisosa olemuse määramist. Uurimise teostamisel on kasutatud optilist ja elektronmikroskoopi ning keemilist, termilist ja mehaanilist analüüsi. On määratud ka kaalu kaod savide isotermilisel kuumendamisel.

Uurimise tulemusena on kindlaks tehtud, et kõige enam alla 1 mikroni terasuurega fraktsioone sisaldavad plastilised devonisavid. Kambriumi-savid sisaldavad peeni fraktsioone tunduvalt vähem. Kvaternaarsetes savides on alla 1 mikroni terasuurega fraktsioonide hulk kõige muutlikum (joon. 1, 2 ja 3).

Kõikides savides, nende hulgas ka kvaternaarsetes, kui suuremaid erinevusi omava is, on peente fraktsioonide keemiline koosseis vanusegruppide piirides väga püsiva iseloomuga, eriti SiO₂, Al₂O₃ ja K₂O sisalduse osas (joon. 4, 5, 6 ja tab. 3).

Hapendite sisalduse poolest võib Eesti NSV savidest eraldatud peeni fraktsioone jagada kolme vanusegruppi, millede piirides üksikute hapendite suhteline domineerimine jääb konstantseks:

kambriumisavid: $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > (\text{K}_2\text{O} = \text{H}_2\text{O}) > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{MgO} > \text{FeO} > \text{CaO} > \text{Na}_2\text{O}$;

devonisavid: $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{H}_2\text{O} > (\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{K}_2\text{O}) > \text{MgO} > \text{Na}_2\text{O} > \text{FeO} > \text{CaO}$;

kvaternaarsed savid: $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{H}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O} > \text{MgO} > \text{FeO} > \text{CaO} > \text{Na}_2\text{O}$.

Optilise ja elektronmikroskoobi ning termograafiliste ja termiliste meetodite abil on kindlaks tehtud, et põhiliseks mineraaliks, mis domineerib kõikides savides peale kambriumieelsete kaoliinsavide, on hüdrovilk. Kaoliini olemasolu on kindlaks tehtud raskestisulavates devonisavides, kus seda leidub suhteliselt suuremal hulgal kui teistes savides. Kambriumisavides leidub kaoliini vähesel määral, kuid sagedamini kui kvaternaarsetes savides. Montmorilloniidi olemasolu, mida termiliste uurimismeetodite kasutamise tulemuste alusel eeldati enamikus uuritavates savides, pole paljudel juhtudel korda läinud visuaalselt kindlaks teha. Seepärast tuleb oletada, et on võimalik montmorilloniidi ja hüdrovilkude vahelduvakiiline esinemine, kus koostisosad pole optiliste meetodite abil eritletavad.

Kvaternaarsed savid sisaldavad muude mineraalide hulgas kõige enam kvartsi, päevakive ja porsumatuid vilke.

Peente fraktsioonide ühesugune keemiline ja mineraloogiline koosseis savide vanusegruppide piirides lubab oletada nende toitealade ja füüsikaliskeemiliste tingimuste ühtsust, mis valitsesid murenemise ja savisid moodustanud osakeste kandumise ning settimise ajal.

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Ehituse ja Ehitusmaterjalide Instituut*

Saabus toimetusse
12. V 1955

ÜBER DIE PHYSIKALISCH-CHEMISCHEN EIGENSCHAFTEN DER FEINEN FRAKTIONEN EINIGER TONERDEN DER ESTNISCHEN SSR

N. DILAKTORSKI

Zusammenfassung

Vorstehende Untersuchung beschäftigt sich mit der Erforschung des Wesens der dispersen Bestandteile der in der Estnischen SSR vorkommenden Tonerden. Die Untersuchung wurde mit Hilfe des optischen und des Elektronenmikroskops, sowie chemischer, thermischer und mechanischer Analysen durchgeführt. Parallel wurden auch die bei einer isothermischen Erhitzung der Tonerden entstehenden Gewichtseinbussen festgestellt.

Im Ergebnis der Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass Fraktionen von der Korngröße unter 1 Mikron am reichhaltigsten in den plastischen devonischen Tonerden vorkommen. Die kambrischen Tonerden weisen dagegen einen bedeutend geringeren Gehalt an feinen Fraktionen auf, während in den quaternären Tonerden die Menge der Fraktionen von der Korngröße unter 1 Mikron stark variiert (Zeichn. 1, 2, 3).

In allen Tonerden — mitinbegriffen die quaternären, die die meisten Abwandlungen aufweisen, — trägt der chemische Bestand der Fraktionen innerhalb der einzelnen Altersgruppen einen äusserst beständigen Charakter, insbesondere was den Gehalt von SiO_2 , Al_2O_3 und K_2O anbelangt (Zeichn. 4, 5, 6 und Tab. 3).

In bezug auf ihren Oxydgehalt können die aus den estnischen Tonerden ausgesonderten feinen Fraktionen in drei Altersgruppen eingeteilt werden, innerhalb welcher das relative Vorherrschen bestimmter Oxyde konstant bleibt:

kambrische Tonerden — $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > (\text{K}_2\text{O} = \text{H}_2\text{O}) > \text{Fe}_2\text{O}_3 >$
 $> \text{MgO} > \text{FeO} > \text{CaO} > \text{Na}_2\text{O};$
devonische Tonerden — $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{H}_2\text{O} (\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{K}_2\text{O}) >$
 $> \text{MgO} > \text{Na}_2\text{O} > \text{FeO} > \text{CaO};$
quaternäre Tonerden — $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{H}_2\text{O} >$
 $> \text{K}_2\text{O} > \text{MgO} > \text{FeO} > \text{CaO} > \text{Na}_2\text{O}.$

Mit Hilfe optischer und elektronmikroskopischer, thermographischer und thermischer Methoden konnte festgestellt werden, dass in allen Tonerden — mit Ausnahme der präkambrischen Kaolintone — als dominierendes Mineral der Hydroglimmer auftritt. Die Anwesenheit von Kaolin wurde in den schwerschmelzenden devonischen Tonerden konstatiert, wo dasselbe in verhältnismässig gleichen Mengen auftritt, wie in anderen Tönen. Die kambrischen Tonerden sind ärmer an Kaolingehalt, doch ist dasselbe dort immerhin mehr vertreten, als in den quaternären Tönen. Die Anwesenheit von Montmorillonit, die auf Grund der Ergebnisse der thermischen Untersuchungsmethoden in allen untersuchten Tonerden vorausgesetzt wurde, konnte jedoch in vielen Fällen visuell nicht festgestellt werden. Es muss daher angenommen werden, dass Montmorillonit und Hydroglimmer als gemeinsame Wechselschicht auftreten, in welcher die einzelnen Bestandteile durch optische Methoden nicht erkennbar sind.

Die quaternären Tonerden enthalten, neben anderen Mineralien, am meisten Quarz, Feldspat und unverwitterten Glimmer.

Die analoge chemische und mineralogische Zusammensetzung der feinen Fraktionen von Tonerden gleicher Altersgruppen gestattet es vorauszusetzen, dass zur Zeit der Verwitterung, Versetzung und Ablagerung derjenigen Teilchen, die zur Bildung der Tonerden geführt haben, — gleichartige Ernährungsgrundlagen und physikalisch-chemische Bedingungen wirksam waren.