

А. А. ПИХЛАК

**СОСТАВ И СВОЙСТВА ДИКТИОНЕМОВОГО СЛАНЦА,
ВСКРЫТОГО НА ХОЛМЕ ТЫНИСМЯГИ В Г. ТАЛЛИННЕ**

В начале 1986 г. при выемке на холме Тынисмяги котлована под фундамент для нового здания Национальной библиотеки Эстонии на большой площади был вскрыт пласт диктионемового сланца (далее — сланец).

В центральной части Таллинна сланцы залегают только на небольшом обособленном участке глинта под холмами Тоомпеа и Тынисмяги (рис. 1). На первом холме расположена самая старая часть города — Вышгород и замок. Сланец залегают здесь под мощным слоем известняка, настолько глубоко, что недосыгаем при обычных строительных работах. Холм Тынисмяги был застроен в конце XIX—первой половине XX в. и с тех пор и до последнего времени в этом месте практически ничего не сооружалось. Поэтому сланцевый пласт не был вскрыт и здесь. Как следствие, нет никаких данных о его составе и свойствах.



Рис. 1
Схема залегания пласта диктионемового сланца в центральной части г. Таллинна (по материалам Института геологии АН ЭССР):
1 — площадь залегания, 2 — место отбора проб

Чтобы восполнить этот пробел, из свежего забоя в котловане на холме Тынисмяги были отобраны пробы сланца и залегающего непосредственно под ним слоя пиритизированного песчаника для силикатного, спектрального и технического анализа. Часть проб была предназначена для изучения химической активности сланца по отношению к кислороду воздуха, которая еще не изучена.

Интерес к свойствам сланца обусловлен в первую очередь пристальным вниманием к последствиям его гипергенного разложения при открытой разработке залегающих под сланцами оболочек фосфоритов. Сланцы, выброшенные в отвал вместе с другими породами вскрыши, под воздействием атмосферных агентов окисляются, выщелачиваются, самонагреваются и самовозгораются, загрязняя окружающую атмосферу, воды и почву продуктами этих процессов. Следует упомянуть и материальный ущерб от безвозвратных потерь загубленного таким образом сланца, который мог бы быть использован в народном

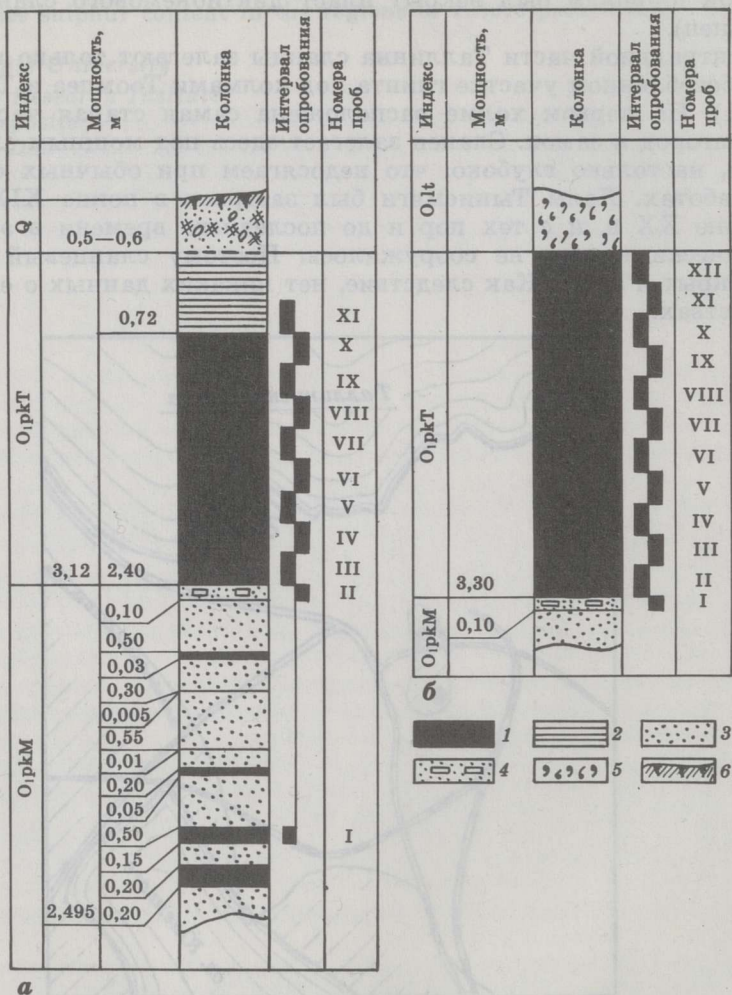


Рис. 2
Геологическая колонка места опробования пласта дикинемового сланца в котловане фундамента на холме Тынисмяги в г. Таллине (а) и из западного забоя 4-го участка на Maarjaskivi фосфоритовом карьере (б). Условные обозначения: 1 — дикинемовый сланец, 2 — выветрелый дикинемовый сланец, 3 — песчаник, 4 — пиритизированный песчаник, 5 — глауконит, 6 — почва

хозяйстве как низкокалорийное топливо или как сырье для получения, например, метанола и ряда редких и радиоактивных металлов [1—5].

В котловане (рис. 2, а) сланцевый пласт ($O_1ркТ$) имел мощность 3,12 м. Его верхняя часть (0,7 м) была сильно выветрена, расслоена на тонкие листки (рассланцевание) и без четкой границы переходила в почву, которая перекрывала пласт слоем мощностью до 0,6 м. Остальная часть пласта, ниже слоя выветрелого сланца, была на вид однородна, имела обычную для сланца структуру и темно-бурый цвет.

Под сланцевым пластом залегали породы маардуской пачки ($O_1ркМ$), представленные на контакте со сланцем прослойком пиритизированного песчаника мощностью 0,1—0,2 м, а под ним — слабо сцементированные желтовато-серые и красноватые песчаники с прослоями сланца мощностью от нескольких миллиметров до 20 см. Общая мощность вскрытой в котловане части маардуской пачки достигала 3,2 м.

Общий объем сланца, извлеченного из котлована, ориентировочно составил 20—30 тыс. м³.

Из сланцевого пласта по всей мощности были отбраны дифференциальные пробы ($h=30$ см). Пробы из слоя пиритизированного песчаника и из верхнего, более мощного прослоя сланца маардуской пачки отбирали отдельно (рис. 2, а).

Силикатный и спектральный анализ проб проводили в лаборатории Управления геологии ЭССР, технический анализ — в лаборатории Кохтла-Ярвской геологической экспедиции УГ ЭССР. Полученные данные сравнивали с результатами анализа дифференциальных проб сланца и пробы пиритизированного песчаника, отобранных из западного забоя 4-го участка Маардуского фосфоритового карьера, расположенного в 16 км восточнее Таллинна (рис. 2, б).

Сопоставляя эти данные между собой и с кларком глинистых пород (табл. 1), можно заключить, что хотя налицо общее сходство состава окислов, их соотношения в сланцах значительно отличаются от кларковых за исключением отношения SiO_2/Al_2O_3 . Так, если отношение кларков SiO_2/Al_2O_3 для глинистых пород равно 3,77, то для сланца из холма Тынисмяги оно составляет 3,73, а для сланца из Маардуского карьера — 3,94. Отношения же для MgO/CaO соответственно равны 0,78, 1,57 и 1,45, а K_2O/Na_2O — 2,49, 55,9 и 14,0.

Результаты силикатного анализа (табл. 1) подтверждают выводы предыдущих исследований [7] о значительной однородности вещественного состава сланца как по мощности, так и (в несколько меньшей степени) по простиранию пласта. Об этом свидетельствуют и низкие коэффициенты вариации состава окислов для обоих сравниваемых разрезов сланцевого пласта (табл. 1). Более высокие, чем для сланца из Маардуского карьера, коэффициенты вариации содержания компонентов (особенно для S_i^d и Na_2O) для проб сланца из холма Тынисмяги обусловлены, по-видимому, гипергенезом сланца.

Содержание всех сравниваемых микрокомпонентов, кроме Ti и Mo , существенно меньше в сланцевом пласте из холма Тынисмяги, чем из Маардуского карьера (табл. 2).

Наиболее существенны различия в содержании органического вещества (ОВ) и удельной теплоте сгорания: в среднем 14,73% ОВ и 5553 кДж/кг для сланцев из холма Тынисмяги против 12,33% ОВ и 5191 кДж/кг для сланцев из Маардуского карьера. Скорее всего эти различия отражают общую тенденцию увеличения содержания ОВ к западу от Маарду [7].

Коэффициенты вариации показателей технического анализа проб сланца относительно низки, что тоже свидетельствует о значительной однородности свойств сланца по разрезу пласта. Следует, однако, от-

Химический состав дикионового сланца и пиритового слоя из котлована на холме Тынысмяги в Таллинне и из перекрывающей толщи, вскрытой на Маардуском фосфоритовом карьере. %

Пробы	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	(CO ₂) _M	S _t	Ш.мм.	W ^г	FeS	SO
Плaст слaнца из котловaнa*1)																
XI*2)	53,78	13,38	0,65	0,80	4,03	0,710	0,050	7,28	0,061	0,014	0,25	0,53	18,08	1,65	0,47	0,28
X	54,14	13,70	0,52	1,10	4,03	0,710	0,075	7,10	0,047	0,022	0,62	1,79	16,67	1,07	2,91	0,27
IX	51,82	13,42	0,70	1,15	5,21	0,645	0,075	7,36	0,076	0,022	0,51	2,64	18,49	1,14	4,36	0,39
VIII	50,66	13,51	0,57	1,10	5,30	0,670	0,075	7,28	0,066	0,024	0,62	2,79	22,68	1,15	4,51	0,45
VII	50,12	13,85	0,75	1,25	5,04	0,690	0,100	7,18	0,074	0,027	0,81	2,39	19,79	1,21	3,98	0,53
VI	49,76	13,87	0,82	1,22	5,72	0,645	0,070	7,36	0,106	0,019	0,70	2,97	20,66	1,15	4,84	0,49
V	48,72	13,87	0,75	1,17	5,88	0,645	0,200	7,18	0,096	0,027	0,84	2,98	21,88	1,15	4,51	0,36
IV	49,16	13,72	0,75	1,17	5,04	0,670	0,430	7,28	0,074	0,022	0,73	2,49	21,21	1,20	3,76	0,45
III	49,62	13,47	0,95	1,22	6,14	0,735	0,067	7,34	0,118	0,024	0,51	3,36	18,77	1,34	5,83	0,71
Среднее																
$\sigma \pm$	1,820	0,627	0,122	0,127	0,702	0,031	0,115	0,082	0,021	0,038	0,171	0,789	1,852	0,178	1,426	0,128
V _{ср} %	3,58	4,60	16,94	11,23	13,62	4,57	88,46	1,14	26,69	17,34	27,58	32,47	9,36	14,45	36,47	29,05
Пиритизированный песчаник из котлована																
II	34,50	0,21	6,06	0,15	34,96	0,040	0,170	0,20	4,47	0,016	2,66	26,68	20,49	0,83	49,43	1,99
Прослой сланца из песчаника из котлована																
I	53,76	14,42	0,75	1,15	6,14	0,810	0,050	7,28	0,133	0,024	0,73	3,24	14,12	1,11	5,44	0,45
Плaст слaнца из кaрьера*3)																
II—XII	49,68	12,68	0,81	0,99	4,61	0,26	0,33	6,87	0,041	0,025	0,14	1,99	—	—	—	—
	54,30	13,66	1,21	2,50	7,86	0,74	0,81	8,23	0,089	0,041	0,61	2,78	—	—	—	—
Среднее																
$\sigma \pm$	1,479	13,15	1,07	1,55	5,44	0,10	0,55	7,70	0,060	0,030	0,28	2,50	—	—	—	—
V _{ср} %	1,423	0,353	0,111	0,322	0,849	0,037	0,135	0,400	0,012	0,006	0,146	0,233	—	—	—	—
	2,75	2,69	10,35	20,80	15,61	37,17	29,16	5,19	20,72	20,10	52,30	9,33	—	—	—	—
Пиритизированный песчаник из карьера																
I	53,62	0,89	3,78	0,58	21,62	0,08	0,48	0,63	0,59	0,04	0,20	16,52	12,36	0,15	31,02	0,60
Кларк глинистых пород																
	58,10	15,40	3,11	2,44	4,02	0,65	1,30	3,24	0,17	0,80*1)	2,63	—	—	—	—	0,64

*1) Подчеркнуты минимальное и максимальное значения.

*2) Сильно выветрелый дикиономовый сланец.

*3) В числителе — минимальное значение, в знаменателе — максимальное.

*4) По Суйковскому (прив. по [6]).

метить, что по разрезу пласта из холма Тынисмяги они существенно выше, чем в случае пласта из Маардуского карьера. Это может быть объяснено выветриванием сланцев, следы которого явно обнаруживаются в обнажении пласта на холме Тынисмяги (табл. 3; рис. 2, а).

Как уже было сказано, гипергенные изменения в сланцах представляют значительный практический интерес, поэтому рассмотрим их подробнее. В химическом составе сланца изменения проявляются в первую очередь на компонентах сланца, наиболее подвижных в гипергенных условиях: S, Mg, Na, Mn и Mo [8]. В сланце из холма Тынисмяги, как это видно из таблиц 1 и 3, в верхней части пласта содержание серы уменьшается по направлению к кровле, то есть от менее выветрелого к более выветрелому сланцу. Аналогичным образом уменьшается содержание окислов Mg, Na и Ca, а также содержание Mo.

Одновременно содержания в сланце окислов менее подвижных или малоподвижных в гипергенных условиях компонентов (Si, Al, Ca, Fe, Ti, K и др.) не претерпели существенных изменений или их содержание даже повысилось в выветрелом сланце по сравнению с невыветрелым (например, FeO, CaO и K₂O). Это объясняется накоплением малоподвижных в данных условиях компонентов в продуктах выветривания сланца. Не исключено, что некоторые подвижные компоненты могут адсорбироваться глинистым материалом сильно выветрелого сланца, накапливаясь там в более высоких концентрациях, чем в менее выветрелом или невыветрелом сланце. Примером может служить накопление подвижного компонента K в слое выветрелого сланца. Об адсорбции калия глинистыми частицами упоминает академик Е. Ф. Ферсман [9].

В ходе выветривания технологические свойства сланца из холма Тынисмяги претерпели такие же изменения, как те, на которые обратила внимание в своих исследованиях А. Г. Стрельковская [10]. По сравнению с невыветрелым сланцем снизилась их удельная теплота сгорания, увеличилась плотность и выход подсмольной воды при полукоксовании (табл. 3). В схему, приведенную Стрельковской, не вписывается только более чем двукратное увеличение выхода смолы и почти такое же уменьшение выхода газа при полукоксовании выветрелого сланца. Однако не исключено, что это результат снижения термической устойчивости керогена сланца при выветривании и возрастания выхода из него битумов, также отмеченных Стрельковской [10]. Все это особенно важно как свидетельство того, что даже ненарушенный пласт сланца, который находится под слоем наносов и почвы, в гипергенных условиях интенсивно разлагается, выщелачивается, расслаивается и теряет свои технологические свойства. Нет сомнений в том, что таким процессам, причем в гораздо большей степени, будут подвержены разрушенные, добытые из недр и захороненные в отвалы диктионемовые сланцы.

Что касается прослоя сланца мощностью 0,15 м, залегающего в песчаниках маардуской пачки (O₁ркМ) (рис. 2, а), то по составу он мало чем отличается от основного сланцевого пласта (O₁ркТ). По сравнению с последним в нем несколько больше SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, P₂O₅ и FeS₂ (табл. 1). Спектральный анализ показал, что в нем гораздо меньше (в 3—4 раза относительно среднего содержания) V и Mo и приблизительно в полтора раза меньше P. Зато B, Cu, Zr, La, Y, напротив, больше в 1,5—3 раза. Содержание остальных элементов находится в обычных пределах (табл. 2).

Зольность сланцевого прослойка маардуской пачки выше средней, соответственно больше плотность и меньше содержание ОВ, удельная теплота сгорания и выходы смолы, подсмольной воды и газа при полукоксовании (табл. 3).

Содержание микрокомпонентов в диктионемовых сланцах (ДС) и пиритизированных песчаниках (ПП) из холма Тынысяги и Маардуского карьера, г/т Таблица 2

Элемент	Кларк	Холм Тынысяги		Маардуский карьер		
		ДС	ПП (проба I, 1 определение)	ДС (пробы II—XII, 11 определений)	ПП (проба I, 1 определение)	ПП (проба I, 1 определение)
		Пробы III—XI, 9 определений	Проба I, 1 определение	Проба II, 1 определение	Проба II, 11 определений	Проба I, 1 определение
3 Li	3	10	10	Не опр.	Не опр.	Не опр.
4 Be	3	$\frac{2-4}{3}$	4	"	"	"
5 B	100	$\frac{25-60}{37}$	60	25	"	"
15 P	770	$\frac{300-1000}{511}$	300	15000	"	"
21 Sc	10	$\frac{8-10}{9,3}$	10	4	"	"
22 Ti	4500	$\frac{4000-6000}{4889}$	6000	2500	$\frac{300-6000}{3230}$	2100
23 V	130	$\frac{300-800}{467}$	150	25	$\frac{360-1350}{950}$	60
24 Cr	100	$\frac{60-80}{64}$	60	Не опр.	Не опр.	Не опр.
25 Mn	670	$\frac{250-400}{294}$	300	300	$\frac{670-900}{740}$	410
27 Co	20	$\frac{6-15}{10,4}$	15	6	Не опр.	Не опр.
28 Ni	95	$\frac{40-100}{80}$	80	100	$\frac{80-150}{100}$	60
29 Cu	57	$\frac{80-150}{103}$	200	80	$\frac{50-220}{160}$	30
30 Zn	80	$\frac{40-150}{90}$	100	Сл.	$\frac{50-360}{180}$	100
31 Ga	30	$\frac{15-25}{19}$	25	6	Не опр.	Не опр.
33 As	6,6	Не опр.	Не опр.	150	$\frac{21-53}{32}$	94
38 Sr	450	$\frac{30-80}{53}$	60	1500	$\frac{160-890}{560}$	600
39 Y	30	$\frac{15-30}{23,9}$	30	150	Не опр.	Не опр.
40 Zr	200	$\frac{80-150}{131}$	400	150	$\frac{510-1290}{800}$	<720
42 Mo	2	$\frac{60-400}{133}$	30	30	$\frac{12-112}{48}$	33
47 Ag	0,1	$\frac{0,6-1,0}{0,9}$	0,6	1,5	Не опр.	Не опр.
50 Sn	10	$\frac{4-10}{7,6}$	8	40	"	"
56 Ba	800	$\frac{300-600}{389}$	400	250	"	"
57 La	40	$\frac{20-30}{29}$	40	80	"	"
58 Cl	50	$\frac{30-60}{46}$	30	150	"	"
64 Gd	6,5	Не опр.	Не опр.	30	"	"
67 Ho	1	"	"	6	"	"
68 Er	2,5	"	"	6	"	"
70 Yb	3	$\frac{2-4}{2,9}$	3	10	"	"
82 Pb	20	$\frac{80-100}{93}$	100	300	"	"
90 Th	11	Не опр.	Не опр.	Не опр.	$\frac{11-14}{12}$	3
92 U	3,2	"	"	"	34	7

Примечание. В числителе — предельные значения, в знаменателе — среднее.

Технический анализ диктioneмowego сланца из холма Тынисмяги и Маардуского карьера

Проба	Плотность ρ , г/см ³	Показатели качества, %			Выход продуктов полукоксования по Фишеру, % на dT_u						
		W^a	A^d	$(CO_2)_M^d$	S_f^d	Условное ОВ ^{*1)}	Q_{st}^d кДж/кг	Вода	Смола	Полукокс	Газ + потери
Сланец из холма Тынисмяги ^{*3)}											
XI ^{*2)}	2,34	0,7	82,1	0,9	0,65	15,65	4589	1,25	9,80	85,0	3,95
X	2,32	0,4	83,8	0,9	1,84	13,06	4698	0,60	4,50	90,0	4,90
IX	2,31	0,5	82,0	1,1	2,66	13,74	5318	1,00	4,50	39,0	5,50
VIII	2,30	0,7	81,6	0,7	2,68	14,32	5539	0,80	5,50	90,0	3,70
VII	2,28	0,8	81,1	0,4	2,41	15,29	5770	0,50	3,93	87,5	8,07
VI	2,00	0,6	80,4	0,7	2,93	15,37	6130	0,30	5,30	89,0	5,40
V	2,20	0,4	78,9	1,5	2,91	16,29	6540	1,10	4,56	86,0	6,40
IV	2,26	0,7	80,2	0,9	2,48	15,72	6226	0,50	5,30	89,0	5,20
III	2,17	0,6	82,5	0,4	3,41	18,09	5163	0,55	4,70	91,0	3,78
Среднее	2,50	0,6	81,4	0,8	2,44	14,73	5553	0,70	5,30	88,7	5,80
$\sigma \pm$	0,164	0,133	1,364	0,325	0,748	1,205	639,0	0,305	1,684	1,611	1,329
V_{σ} , %	7,33	22,22	1,68	40,61	30,65	8,18	11,51	48,51	31,10	1,82	25,07
I	2,50	0,5	86,5	0,4	3,16	9,44	3580	0,30	2,56	94,0	3,14
Сланец из Маардуского карьера ^{*4)}											
II—XII	2,25	0,5	80,5	1,3	1,99	8,97	4073	0,89	3,44	90,1	0,8
	2,36	0,7	86,3	2,4	2,78	14,30	5405	1,30	3,70	93,5	3,5
Среднее	2,29	0,6	82,8	1,8	2,50	12,33	5191	0,70	4,60	92,0	2,5
$\sigma \pm$	0,031	0,067	1,387	0,333	0,233	1,367	429,6	0,144	0,759	0,908	0,806
V_{σ} , %	1,35	10,97	1,67	13,10	9,33	11,08	8,28	30,64	15,37	1,08	32,25

*1) $OB = 100 - [A^d + (CO_2)_M^d + W^a + S_f^d]$.

*2) Сильно выветренный диктioneмовой сланец.

*3) Подчеркнуты минимальное и максимальное значения.

*4) В числителе — минимальное значение, в знаменателе — максимальное.

В пиритизированном песчанике основными, хотя и маловыдержанными по содержанию компонентами являются SiO_2 и FeS_2 . Их суммарное содержание в пробе из холма Тынисмяги равно 83,93%, из Маардуского карьера — 84,64%. В то же время соотношение $\text{FeS}_2/\text{SiO}_2$ в первой пробе равно 1,42, а во второй 0,58. CaO в первой пробе тоже существенно больше, чем во второй (табл. 1). Что касается микрокомпонентов (табл. 2), то Ni, Cu, Ti, As и Sr больше в пиритовом песчанике из холма Тынисмяги, а V, Zr, Zn и Mn — в пробе из Маардуского карьера.

Итак, установлено, что верхняя часть пласта в районе холма Тынисмяги сильно выветрелая. Этим объясняется меньшая однородность состава сланца по сравнению с вскрытым в перекрывающей толще на Маардуском фосфоритовом месторождении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пихлак А. А. О склонности диктионемовых сланцев из месторождений фосфоритов Эстонской ССР к самовозгоранию // Горючие сланцы. 1984. Т. 1, № 3. С. 251—264.
2. Pihlak A., Maremäe E., Pikkov V., Lippmaa E. Maardu fosforiidikarjääri puistangute mõju veele // ENSV TA Toim. Biol. 1984. K. 33, Nr. 3. Lk. 166—170.
3. Pihlak A., Maremäe E., Pikkov V., Lippmaa E. Mõningate ionide ja metallide bilanss Maardu järve vees // Kaasaegse ökoloogia probleemid. Rakendusökoloogia küsimusi Eestis: Vabariikliku III ökoloogiakonverentsi teesid. Tartu, 1985. Lk. 162—165.
4. Pihlak A., Maremäe E., Pikkov V., Lippmaa E. Maardu piirkonna rekultiveeritud alade ökoloogilisest seisundist // Inimmõju Tallinna keskkonnale. Teaduslik-rakenduslik konverents. Ettekannete kokkuvõtted. Tallinn, 1986. Lk. 87—90.
5. Maremäe E. Diktüoneemakilda kasutamise võimalustest rahvamajanduses // Tehnika ja tootmine. 1987. Nr. 10. Lk. 10—14.
6. Войткевич Г. В., Мирошников А. Е., Поваренных А. С., Прохоров В. Г. Краткий справочник по геохимии. — М., 1970.
7. Кивимяги Э. К., Хейнсалу Х. Н., Мустыьги В. П. Геологическая характеристика нижнеордовикской толщи в западной Эстонии // НТО / Упр. геол. СМ ЭССР. Т. 1. — Таллинн, 1969.
8. Пихлак А. А., Маремяэ Э. Я., Ялакас Л. Э. Водное выщелачивание диктионемовых сланцев и известняков из фосфоритовых месторождений Маарду и Тоолсе Эстонской ССР // Горючие сланцы. 1985. Т. 2, № 2. С. 155—169.
9. Ферсман Е. Ф. Избранные труды. — М., 1958. Т. 4.; 1959. Т. 5.
10. Стрельковская А. Г. Изменение органического вещества сланцев в зоне выветривания (на примере менилитовых и диктионемовых сланцев) // Угольные бассейны и условия их формирования. Ч. 2. Накопление, преобразование органического вещества угольных пластов: 4-е Всесоюз. геол. угольное совещ.: Тез. докл. — Львов, 1980. С. 114—115.

Представил Т. А. Пурре

Институт химической и биологической физики
Академии наук Эстонии
г. Таллинн

Поступила в редакцию
26.11.87.

COMPOSITION AND PROPERTIES OF THE OIL SHALE OCCURRING IN TÖNISMÄGI IN TALLINN

In the centre of Tallinn, Estonian SSR, under the hills of Toompea and Tõnismägi on an isolated area of the glint a dictyonema shale (further shale) bed is lying. This part of the town was built long ago and is partially covered with parks. Therefore no information exists on the shale occurring in this region. Exposure of the shale bed in the foundation pit for a new building of the National Library in Tõnismägi enabled us to obtain such kind of information.

The shale samples taken were subjected to silicate, spectral and proximate analyses. The results were compared with data on the shale bed exposed in the overlying series in the Maardu phosphorite deposit 16 km east of Tallinn (Tables 1—3). Earlier conclusions about the homogeneity of shale bed thickness and strike were confirmed. The shale bed in Tõnismägi proved to be strongly weathered in the section's upper part. The heat of combustion of the shale from this part of the bed is lower, but its semicooking oil yield higher when compared with the shale from the rest of the bed. The weathered part is impoverished with mobile components easy to leach in hypergenetic conditions — S, Mg, Na, Mn and Mo, and enriched with difficult-to-leach low-mobility ones — Si, Ca, Fe, etc.

Enrichment of the uppermost layer with potassium is obviously the result of its adsorption by the clay matter formed on shale weathering.

*Estonian Academy of Sciences,
Institute of Chemical and
Biological Physics
Tallinn*