

УДК 552.522 : 552.578.3 : 551.733.1(474.2)

А.-Л. Э. КЛЕЕСМЕНТ, Т. И. КУРВИТС

О МИНЕРАЛОГИИ ГРАПТОЛИТОВЫХ АРГИЛЛИТОВ  
ТРЕМАДОКА СЕВЕРНОЙ ЭСТОНИИ

Граптолитовые аргиллиты (ранее — диктионемовые сланцы) широко распространены в тремадке Северной Эстонии. Они залегают непосредственно на фосфатноносных оболочках песчаниках и образуют с ними единый комплекс отложений [1, 2]. Установлена разновозрастность аргиллитов: на крайнем западе Эстонии они в основном пакерортские, а к востоку от района Вихула—Тоолсе — цератопигевые [3—5]. Из-за недостатка материала точная граница между разновозрастными аргиллитами в разрезах по всей территории Эстонии еще не определена.

Минеральный состав граптолитового аргиллита изучен недостаточно. Сведения о минералогическом составе пелитовой фракции аргиллитов получены при помощи электронной микроскопии и термических методов исследования, алевритовой фракции — при изучении шлифов поляризационной микроскопией [6]. Соотношения минералов в аргиллитах определены при помощи рентгеноструктурного анализа в работах [7, 8]. Там же приведены содержания глинистых, некоторых кластогенных (кварц, полевые шпаты, слюды) и аутигенных минералов (пирит). Данные о составе кластогенных минералов несколько противоречивы: в работе [7] отмечается доминирование во всех фракциях аргиллита полевых шпатов, в [8] — кварца.

Подробное изучение гранулометрического и минерального состава аргиллитов даст возможность установить источники и условия накопления этих отложений. Чтобы получить надежные опорные данные, в настоящей работе анализировали девять образцов граптолитовых аргиллитов: два из обнажения (обн.) Раннамыйза (R-84-0 и R-84-14), три из обн. Ныммевески (N-84-1, N-84-2 и N-84-3), один из обн. Вихула (V-84-0) и три из обн. Сака (Sa-84-6a, Sa-84-7a и Sa-84-8a) (рис. 1). Таким образом был охвачен субширотный профиль выходов аргиллитов протяженностью около 170 км.

Минеральный состав крупно- и мелкоалевритовой фракций аргиллитов изучали иммерсионным методом. При подготовке к анализу образцы массой около 500 г дробили механически до крупности 3—4 см и многократно (в среднем 25—30 раз) нагревали с гипосульфитом (1 : 1), в результате чего кристаллы гипосульфита раздробляли породу. Глинистые и органические частицы диаметром менее 0,01 мм удаляли отмучиванием, остаток просеивали разделяя на 7 фракций — от среднегравийной до мелкоалевритовой размерности включительно.

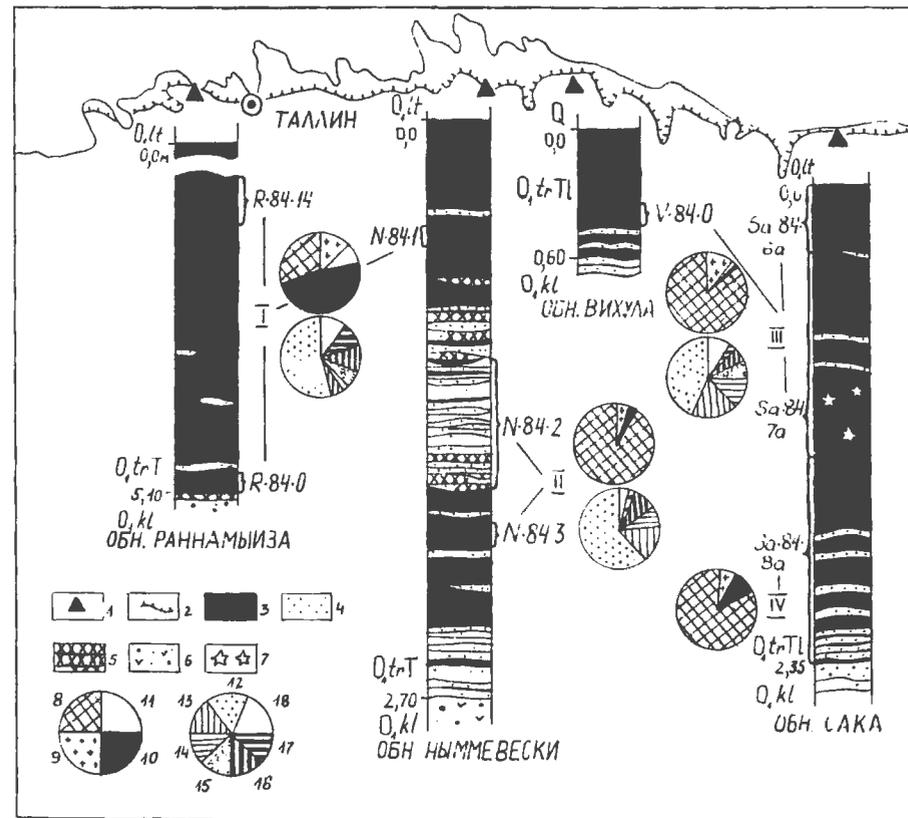


Рис. 1

Изученные разрезы аргиллита и группирование (I—IV) проб по составу: 1 — обнажение, 2 — Северо-Эстонский глинт, 3 — граптолитовый аргиллит, 4 — песчаник мелкозернистый, 5 — пиритизированные прослои, 6 — средне-крупнозернистый песчаник с детритом, 7 — антракитовые конкреции. Легкая фракция: 8 — кварц, 9 — полевые шпаты, 10 — аморфное вещество, 11 — остальные минералы. Тяжелая фракция: 12 — циркон, 13 — турмалин, 14 — гранат, 15 — рутил, 16 — выветрелые титанистые минералы, 17 — дистен, корунд, амфиболы, 18 — остальные тяжелые минералы

Гранулометрический анализ показал, что в изученных аргиллитах преобладает пелитовая фракция (<0,01 мм), которая составляет 80—99 % породы. Сравнительно высокое (10—20 %) содержание песчаноалевритовых частиц обусловлено наличием в аргиллитах тонких алевритовых прослоев. Песчаных частиц обычно менее 2 %. Исключением является образец N-84-2, в котором содержание песчаного материала достигает 12 %. В алевритовой фракции обычно преобладают крупноалевритовые частицы, и только в пробах из обн. Раннамыйза — мелкоалевритовые. Фракции более 0,1 мм в основном состоят из неразложившихся агрегатов аргиллита и остатков фауны (конодонты, брахиоподы). Содержание дискретных зерен минералов в этой фракции ничтожно.

В легкой фракции (плотность <2,89 г/см<sup>3</sup>) алевритовой размерности обычно преобладает аллотигенный кварц. Однако в образцах из обн. Раннамыйза и в верхнем образце из обн. Ныммевески (N-84-1) доминирует желтоватое аморфное вещество, предположительно фосфатное и кремнеземистое (таблицы 1—3).

Минеральный состав крупноалевритовой фракции (0,1—0,05 мм) Таблица 1

Минералы	Обнажение								
	Раннаыйза		Ныммевески		Виху-ла		Сака		
	Р-84-14	R-84-0	N-84-1	N-84-2	N-84-3	V-84-0	Sa-84-6a	Sa-84-7a	Sa-84-8a
Легкая фракция, %									
Кварц	+	88,5	30,5	85,5	87,5	90,6	89,8	83,2	81,0
Полевые шпаты	+	7,0	2,5	6,5	6,0	8,5	9,6	7,7	6,5
Мусковит	—	—	—	—	—	—	—	—	1,5
Биотит	1,2	0,5	10,0	4,0	1,5	—	0,3	0,7	3,0
Глауконит	0,6	1,5	—	—	—	0,3	0,3	—	—
Карбонаты	0,6	1,5	2,0	—	4,5	0,3	—	3,5	+
Аморфное вещество	97,6	1,0	55,0	4,0	0,5	0,3	—	4,9	8,0
Тяжелая фракция, %									
Общее содержание в пробе, %	0,1	1,57	1,01	0,81	1,52	0,07	1,59	1,12	2,46
Пирит	96,8	4,6	99,4	38,4	47,6	2,1	91,4	89,0	96,2
Гидроокислы железа	0,8	20,8	0,2	17,4	12,8	2,1	0,4	0,2	0,4
Карбонаты	—	+	+	—	34,0	—	+	0,2	0,6
Биотит	0,4	—	+	13,0	0,4	0,4	3,0	9,0	2,0
Мусковит	—	—	+	—	—	0,4	+	+	+
Глауконит	—	+	+	—	+	+	+	+	+
Лейкоксен	—	2,8	—	1,4	1,0	1,4	2,0	+	0,2
Ильменит, магнетит	1,8	57,8	0,2	19,0	3,6	51,2	2,4	—	0,6
Прозрачные аллотигенные минералы	0,2	14,0	0,2	10,8	0,6	42,4	0,8	1,6	+
Прозрачные аллотигенные тяжелые минералы, %									
Циркон	3,1	59,7	27,4	75,8	50,8	42,7	42,5	47,9	+
Турмалин	—	5,3	2,6	10,6	20,5	25,4	27,4	16,8	—
Гранат	3,1	23,4	30,2	3,4	10,7	6,8	12,3	16,2	+
Рутил	1,0	5,3	1,8	3,0	—	11,9	2,2	2,0	—
Анализ	—	—	—	—	—	0,7	—	0,2	+
Выветрелые титанистые минералы	—	—	0,9	5,6	5,7	11,2	7,8	—	+
Апатит	2,0	—	2,6	1,6	3,3	0,3	7,8	15,5	—
Дистен	10,2	5,3	—	—	1,6	0,2	—	—	—
Корунд	73,5	0,5	13,3	—	0,8	0,8	—	—	—
Амфиболы	6,1	+	17,7	—	6,6	—	+	1,4	+
Прочие минералы	1,0	0,5	3,5	—	—	—	—	—	—

Примечание. Здесь и в таблицах 2 и 3: «+» — содержание минерала ничтожно малое (<0,1 %).

Содержание полевых шпатов широко варьирует — от 2,6 до 21,2 %. Оно выше в мелкоалевритовой фракции (таблицы 1 и 2) и еще выше в пелитовой (<0,01 мм). Это видно из дифрактограмм мелкоалевритовых фракций (0,05—0,01 мм) образцов Sa-84-6a и Sa-84-8a. В мелкоалевритовой фракции первого из них 32 % недиспергированных пелитовых агрегатов, соотношение кварца и полевых шпатов, определенное по дифрактограмме составляет 3 : 1 (рис. 2,а). Во втором образце пелитовых агрегатов гораздо больше (67 %), и это соотноше-

ние равно 1 : 1 (рис. 2,б). Результаты рентгеноструктурного анализа дают основание предположить, что полевые шпаты представлены ортоклазом, решетка которого сходна с решеткой санидина. Санидин, как известно, является минералом вулканического происхождения. Тем самым подчеркивается некоторая аномальность состава тремадокского аргиллита по сравнению с прилегающими осадочными породами.

Кроме кварца, аморфного вещества и полевых шпатов, в легкой фракции в небольших количествах встречаются мусковит, зеленый и коричневый биотит, глауконит и карбонатные минералы.

Минеральный состав мелкоалевритовой фракции (0,5—0,01 мм) Таблица 2

Минералы	Обнажение								
	Раннаыйза		Ныммевески		Виху-ла		Сака		
	R-84-14*	R-84-0*	N-84-1*	N-84-2	N-84-3	V-84-0	Sa-84-6a	Sa-84-7a	Sa-84-8a
Легкая фракция, %									
Кварц	8,5	22,2	56,9	80,5	78,3	94,0	84,3	81,4	66,2
Полевые шпаты	3,5	17,6	18,5	16,1	14,6	4,0	13,0	15,5	31,4
Мусковит	4,5	3,8	9,2	0,4	0,3	1,5	0,9	0,3	0,4
Биотит	2,5	—	4,7	0,4	—	—	—	—	0,8
Глауконит	0,5	—	4,5	—	0,3	0,5	1,5	0,9	0,4
Карбонаты	—	—	—	—	5,6	—	—	—	—
Аморфное вещество	80,5	56,5	6,2	2,6	0,9	—	0,3	1,9	0,8
Тяжелая фракция, %									
Общее содержание в пробе, %	0,01	0,004	0,3	0,9	4,5	0,05	2,5	0,7	4,0
Пирит	98,0	49,4	94,2	72,5	66,4	6,7	89,6	91,4	96,6
Гидроокислы железа	0,2	13,6	0,6	10,2	11,0	9,7	2,0	1,2	0,4
Карбонаты	—	—	1,0	0,2	14,8	+	—	+	+
Биотит	0,2	—	0,8	0,4	0,6	0,6	0,2	0,8	+
Мусковит	—	—	—	—	—	—	—	—	0,2
Глауконит	—	1,1	+	—	—	0,2	1,0	+	0,6
Лейкоксен	—	—	1,0	1,3	—	6,1	0,4	0,4	0,4
Ильменит, магнетит	1,0	16,5	1,2	4,8	3,6	28,5	2,8	2,2	0,8
Прозрачные аллотигенные минералы	0,6	19,4	1,2	10,6	3,6	48,2	4,0	4,0	1,0
Прозрачные аллотигенные тяжелые минералы, %									
Циркон	57,9	67,2	20,0	78,4	57,8	66,4	64,8	52,6	52,6
Турмалин	10,5	—	—	1,8	10,0	2,2	7,2	6,4	11,1
Гранат	—	2,9	5,0	2,6	4,8	3,2	7,8	14,6	13,6
Рутил	10,5	5,9	—	5,0	9,2	18,0	6,8	8,8	9,3
Анализ	—	—	—	—	—	1,0	2,2	2,2	1,5
Выветрелые титанистые минералы	10,5	14,7	20,0	11,4	10,9	8,0	9,2	12,0	6,8
Апатит	—	—	5,0	0,8	3,9	0,2	1,4	2,2	4,0
Дистен	5,3	5,9	50,0	—	—	0,4	—	0,6	0,3
Корунд	—	—	—	—	0,5	—	—	—	—
Амфиболы	5,3	3,0	—	—	—	0,4	0,2	—	0,2
Прочие минералы	—	—	—	—	3,9	0,2	0,4	0,6	0,6

\* Здесь и в табл. 3: данные по прозрачным аллотигенным тяжелым минералам не представительны из-за недостаточного количества зерен.

Таблица 3

## Минеральный состав алевритовой фракции (0,1—0,01 мм)

Минералы	Обнажение								
	Раннамайза			Ныммевески		Вижула		Сака	
	Проба								
	R 84 14*	R 84 0*	N-84-1	N-84-2	N-84-3	V-84-0	Sa-84-6a	Sa-84-7a	Sa-84-8a
Легкая фракция %									
Кварц	6.4	30.1	56.9	85.4	87.5	91.3	89.2	84.8	72.3
Полевые шпаты	2.6	16.2	18.5	6.8	6.0	7.7	10.1	9.3	21.2
Мусковит	3.4	3.3	9.2	+	+	0.3	0.1	0.1	0.8
Биотит	2.2	0.1	4.7	3.9	1.5	—	0.2	1.5	1.7
Глауконит	0.5	0.2	4.5	—	+	0.3	0.4	0.2	0.2
Карбонаты	0.1	0.2	—	—	4.5	0.2	—	—	+
Аморфное вещество	84.8	49.9	6.2	3.9	0.5	0.2	+	4.1	3.8
Тяжелая фракция %									
Общее содержание в пробе, %	0.4	0.02	0.3	0.8	1.5	0.07	1.8	1.0	3.4
Пирит	97.8	43.5	94.2	39.4	47.6	2.7	91.4	89.8	96.5
Гидроокислы железа	0.3	14.5	0.6	17.2	12.8	3.1	0.6	0.3	0.4
Карбонаты	—	+	1.0	—	34.0	+	+	0.1	0.2
Биотит	0.2	—	0.8	12.6	0.4	+	2.6	7.2	0.8
Мусковит	—	—	—	—	—	0.4	+	+	0.1
Глауконит	—	1.0	+	—	—	+	1.1	+	0.4
Лейкоксен	—	0.4	1.0	1.6	1.0	2.0	0.3	+	0.2
Ильменит, магнетит	1.2	21.9	1.2	18.6	3.6	48.1	2.4	0.5	0.8
Прозрачные аллотипичные минералы	0.5	18.7	1.2	10.8	0.6	43.3	1.6	2.1	0.6
Прозрачные иллитичные тяжелые минералы, %									
Циркон	44.2	66.7	—	—	50.8	46.2	45.5	48.9	+
Турмалин	7.9	0.7	+	10.3	20.5	22.4	24.7	14.6	+
Гранат	0.8	5.6	+	3.4	10.7	6.3	11.7	15.9	+
Рутил	8.1	5.9	+	3.0	—	12.8	2.8	3.4	+
Анатаз	—	—	—	—	—	+	0.3	0.6	+
Выветрелые титаниды-минералы	7.9	12.6	+	5.7	5.7	10.9	7.9	2.5	+
Анагит	0.5	—	+	1.5	3.3	0.4	6.9	12.8	+
Дистен	6.6	5.9	+	—	1.6	0.2	—	0.1	+
Корунд	18.3	+	+	—	0.8	0.8	—	—	—
Амфиболы	5.5	2.6	+	—	6.6	+	—	1.1	+
Прочие минералы	0.2	+	—	0.4	—	+	—	0.1	+

\* См. примечание к табл. 2.

Содержание тяжелой фракции невысокое — от долей процента до 3,5 %, обычно меньше 2 %. В крупноалевритовой фракции ее больше, чем в мелкоалевритовой. Из минералов в тяжелой фракции почти всегда доминирует пирит, который, как правило, встречается в виде агрегатов. Величина отдельных кристаллов в основном менее 0,01 мм, то есть они имеют пелитовую размерность. Значительна доля гидроокислов железа, которые образовались преимущественно за счет разложения пирита и биотита, а кроме них — черных рудных минералов, в основном ильменита, редко магнетита. Биотит, мусковит, глауконит и лейкоксен встречаются в небольших количествах (таблицы 1—3). Карбонаты (сидерит) имеются почти во всех образцах, больше всего их в пробах из обн. Ныммевески.

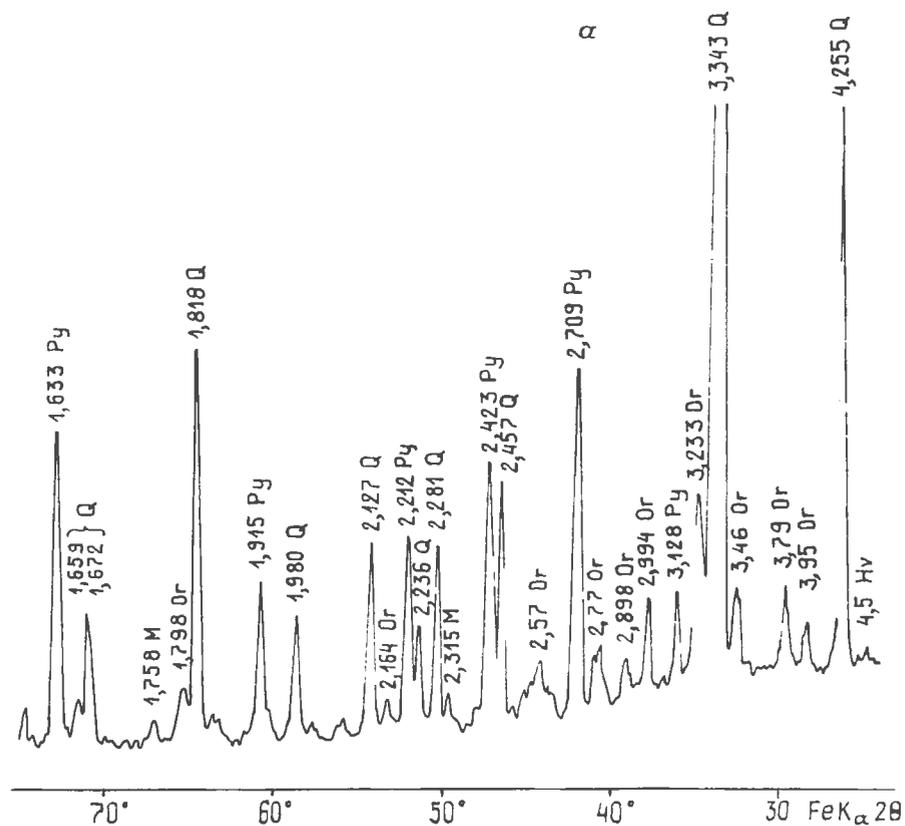
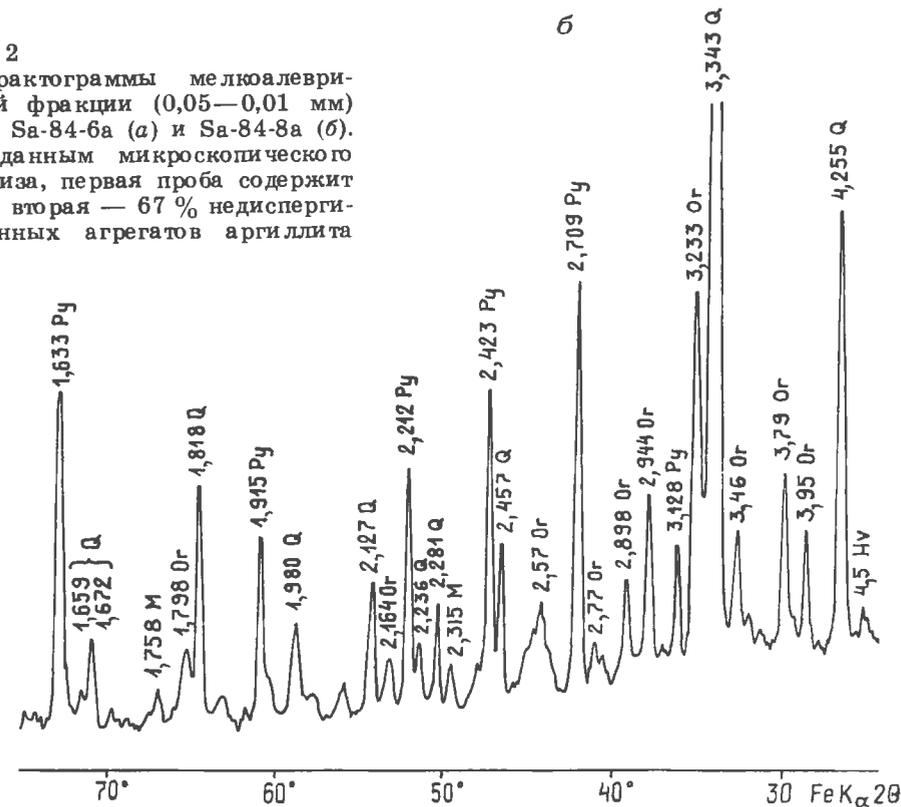


Рис. 2  
Дифрактограммы мелкоалевритовой фракции (0,05—0,01 мм) проб Sa-84-6a (а) и Sa-84-8a (б). По данным микроскопического анализа, первая проба содержит 32, а вторая — 67 % недиспергированных агрегатов аргиллита



Общее содержание прозрачных аллотигенных минералов варьирует в широких пределах, относительная доля их несколько больше в мелкоалевритовой фракции (таблицы 1 и 2). Более значительные содержания минералов этой группы, как и черных рудных, приурочены к образцам аргиллитов, в которых есть мелкие песчаные прослои (N-84-2, R-84-0 и V-84-0). Среди тяжелых прозрачных аллотигенных минералов алевритовой фракции (табл. 3) всегда преобладает циркон, часто встречаются турмалин, гранат, рутил и выветрелые титанистые минералы. В западных разрезах (Раннамыйза и Ныммесески) сохранилось довольно много средне- и малюстойчивых минералов, таких как корунд, амфиболы и дистен. В восточных разрезах их очень мало, зато встречается анатаз. Эта тенденция особенно характерна для крупноалевритовой фракции.

По соотношению кварца и полевых шпатов, которое характеризует интенсивность процессов выветривания и зрелость отложений [9], аргиллиты в изученных пробах можно разделить на две группы: в одну войдут пробы R-84-0, R-84-14, N-84-1 и Sa-84-8a, в алевритовой фракции которых названное соотношение невысокое — от 1,9 до 3,4, в другую — пробы N-84-2, N-84-3, V-84-0, Sa-84-6a и Sa-84-7a, для которых оно существенно выше — от 8,8 до 14,5 (расположение проб в обнажениях см. на рис. 1).

Таким образом, даже на ограниченном аналитическом материале можно выявить весьма существенные различия в минеральном составе аргиллитов по территориальному признаку, что позволяет разделить изученные нами образцы на четыре группы (рис. 1). Так, легкая фракция первой группы (пробы R-84-14, R-84-0 и N-84-1) отличается высоким содержанием аморфного вещества и полевых шпатов. Среди тяжелых аллотигенных прозрачных минералов здесь относительно много неустойчивых — корунда, амфиболов, дистена. Турмалина мало. В пробах из нижней части разреза обн. Ныммесески (вторая группа) содержание аморфного вещества и полевых шпатов уменьшается. Среди тяжелых аллотигенных прозрачных минералов здесь господствует циркон, при этом, по сравнению с первой группой проб, больше удлиненных и меньше окрашенных его разновидностей. Для зерен турмалина характерны включения и коричневые разновидности.

В третью группу можно объединить пробы из обн. Вижула (V-84-0) и верхней части разреза обн. Сака (Sa-84-6a, Sa-84-7a). Общим для них является преобладание кварца и ничтожно малое количество зерен аморфного вещества. Содержание циркона в третьей группе, по сравнению с предыдущими, минимальное, в то же время турмалина значительно больше. В пробе из нижней части обн. Сака (Sa-84-8a), относимой к четвертой группе, кварца меньше, зато аморфного вещества несколько больше. Имеются отличия и в составе тяжелой фракции, однако из-за малого количества зерен эти данные не вполне представительны.

Типоморфные особенности циркона, турмалина и рутила позволяют выделить две последние группы и иначе: объединить пробы из обн. Вижула и нижней части разреза обн. Сака. Общим признаком является присутствие серого рутила, характерное только для этих проб. Среди зерен турмалина относительно много плеохроизирующих от зеленого до розового цвета разновидностей. В цирконе наблюдается много включений. Представленное группирование образцов аргиллита по составу, возможно, имеет прямое отношение к возрастному подразделению залежи аргиллита, по крайней мере первое сопоставление этих данных со скудными данными по биостратиграфии дает основания для такой оптимистической оценки.

В пробе Sa-84-7a (обн. Сака) найдены немного округлые пористые агрегатные зерна размером 1—10 мм, внешне напоминающие туфогенный материал. Однако они состоят преимущественно из мелкого кварца (<0,05 мм) и глинистых минералов. В цементе много пирита, аморфного вещества, имеются единичные зерна циркона, граната и фрагменты конодонтов. Природа этих интересных агрегатов заслуживает особого внимания, хотя не исключено и то, что они образовались в ходе лабораторной обработки проб. Кроме минеральных зерен и их агрегатов, тяжелая фракция аргиллита содержит фрагменты фауны — брахиоподы и конодонты. Среди них встречаются и округлые коричневые изотропные фосфатные зерна с маленькими кристалликами пирита. В пробах с высоким содержанием таких зерен чаще, чем в других, наблюдаются и фосфатные каемки вокруг кластогенных минералов. Поэтому фосфатные зерна можно считать новообразованиями, возникшими в процессе диагенеза глинистого осадка.

При анализе изменений минерального состава аргиллитов по гранулометрическим фракциям можно отметить следующее: чем ниже содержание частиц крупнее пелита, тем чаще встречаются аморфное вещество, слюды, пирит, дистен, амфиболы, замутненные и окрашенные зерна циркона и синие разновидности турмалина. В алевритистых аргиллитах, наоборот, возрастает доля черных рудных минералов, циркона и титанистых минералов.

Сравнение аргиллитов и фашиально с ними связанных прослоев песчаников показало, что минеральный состав первых более разнообразен и изменчив, в песчаниках характерны минералы «чистых» аргиллитов присутствуют только в виде единичных зерен. В аргиллитах закономерно больше граната, все минералы здесь хуже окатаны.

Выделенные закономерности распределения минералов в граптолитовых аргиллитах пока основаны на небольшом материале, однако они свидетельствуют о перспективности дальнейшего изучения аргиллитов методом минералогического анализа: изменения содержания минералов в составе аргиллитов существенные и отчетливо направленные. Выяснение причин этих закономерностей может способствовать лучшему пониманию палеогеографии периода фосфатонакопления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мююрисепп К. К. Литостратиграфия пакерортского горизонта в Эстонской ССР по данным обнажений // Тр. ин-та геол. АН ЭССР. 1960. Вып. 5. С. 37—44.
2. Лоог А. Р., Кивимяги Э. К. Литостратиграфия пакерортского горизонта в Эстонии // Изв. АН ЭССР. Хим., Геол. 1968. Т. 17. № 4. С. 374—385.
3. Кальо Д., Кивимяги Э. О распределении граптолитов в диктионемовом сланце Эстонии и разновозрастности его фаций // Изв. АН ЭССР. Хим., Геол. 1970. Т. 19. № 4. С. 334—341.
4. Кальо Д. Л., Кивимяги Э. К. Зональное расчленение тремадока Эстонии // Граптолиты и стратиграфия. — Таллин, 1976. С. 56—63.
5. Хейнсалу Х. Фациальные соотношения верхнетремадокских отложений Северной Эстонии // Изв. АН ЭССР. Геол. 1980. Т. 29. № 1. С. 1—7.
6. Кординов А. А. Минералогическая характеристика диктионемовых сланцев Маардуского месторождения // Изв. АН ЭССР. Сер. физ.-мат. и техн. наук. 1962. № 1. С. 67—72.
7. Утсал К., Кивимяги Э., Утсал В. О методике исследования и минералогии граптолитового аргиллита Эстонии // Уч. зап. ТГУ. 1982. Вып. 8. С. 116—138.
8. Палвadre Р., Утсал К., Ахелик В., Халдна Ю. Исследование минерального состава граптолитового аргиллита Эстонии // Горючие сланцы. 1984. Т. 1. № 2. С. 162—170.
9. Селли Р. К. Введение в седиментологию. — М., 1981. С. 79—85.

*Представил А. В. Раукас*

*Поступила в редакцию  
6.08.1986*

*Институт геологии  
Академии наук Эстонской ССР  
г. Таллин*

*A.-L. KLEESMENT, T. U. KURVITS*

### **MINERALOGY OF TREMADOC GRAPTOLITIC ARGILLITES OF NORTH ESTONIA**

Graptolitic argillite samples from North-Estonian outcrops at Rannamõisa, Nõmmeveski, Vihula and Saka were subjected to mineralogical analysis. The light mineral fraction is represented mostly by quartz, feldspars and amorphous matter. Among heavy fractions authigenic minerals are prevailing, first of all, pyrite, goethite and hydrogoethite. Allothigenic transparent heavy minerals contain mainly zircon, tourmaline and garnet (see Tables 1—3). As seen from the tables, the amount and content of terrigenous minerals vary laterally as well as vertically. On the basis of mineral composition, graptolitic argillites were divided into four groups (Fig. 1).

It should be mentioned that graptolitic argillites considerably differ in mineral composition, unlike underlying phosphate-bearing sandstones. The former is characterized by low mineralogical maturity revealed by the presence of unstable minerals, such as amphiboles, disthene and corundum.

The occurrence of amorphous matter and sanidine-like feldspar indicates that argillite may be partially of a volcanic origin.

*Academy of Sciences of the Estonian SSR,  
Institute of Geology  
Tallinn*