



ЛИТОХИМИЯ В ДЕЙСТВИИ — ЕЛЬМА-2003

К. г.-м. н.

Н. Ю. Никулова

nikulova@geo.komisc.ru;

Д. г.-м. н.

Я. Э. Юдович

yudovich@geo.komisc.ru;

К. г.-м. н.

И. В. Швецова

litgeo@geo.komisc.ru;

Начиная с 2000 г., мы проводим полевые работы в верховьях Печоры. В 2003 г. мы исследовали литологию и геохимию толщ, выходящих в нижнем течении крупного левого притока Печоры — р. Ельмы^{*}.

Работы на этом участке проводились тематическим отрядом Вычегодской геолого-разведочной экспедиции под руководством В. С. Озерова в течение полевых сезонов 2000—2004 гг. Изначально В. С. Озеров придерживался стратиграфической схемы, принятой для этого района предшественниками (Проскурин и др., 1972 г.), выделявшими два структурных этажа — верхнерифейско-вендский фундамент и нижне-, среднепалеозойский чехол. Однако в результате полевых исследований представления о стратиграфии древних толщ существенно изменились: в 2002 г. В. С. Озеров выделил здесь вместо закартированных съемщиками образований дифференцированного магматического комплекса позднепалеозойского возраста "лиминский (или Ельминский) метаморфический комплекс" (гнейсы, пара- и ортоамфиболиты и рвущие их гранито-гнейсы), два раннерифейских магматических комплекса (титаноносные габброиды и прорывающие их щелочные граниты) и вендские гранитоиды (рис. 1) [3].

Студенткой кафедры геологии СыктГУ Н. С. Кузнецовой под руководством проф. А. М. Пыстина был изучен химический состав амфибола из амфиболитов Ельминского комплекса. Выяснилось, что амфибол принадлежит к ряду кремниевых энедита-парагоскита рода роговой обманки и соответствует минералу высокотемпературных субфаций амфиболитовой стадии метаморфизма. Исходными породами для образования амфиболитов могли служить габбро [2]. Таким образом, представления В. С. Озерова о древнем возрасте, по крайней мере части базитов Ельминского комплекса, получили косвенное подтверждение.

Геохимическое опробование Ельминского метаморфического комплек-

са (PR₁ el) и прорывающих их интрузивных образований на рудопроявлении графита «Внуково», в коренных выходах в бортах долины р. Ельмы и ее притоков было проведено Я. Э. Юдовичем во время полевого сезона 2003 г.

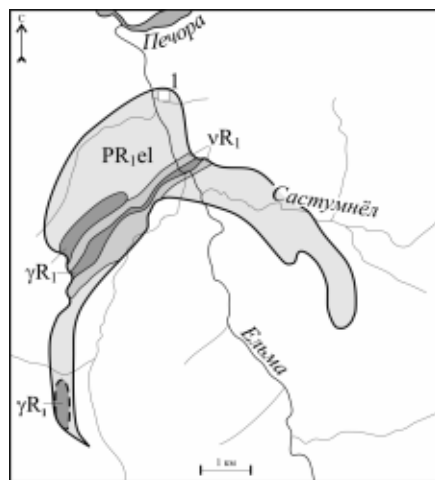


Рис. 1. Схема расположения Ельминского метаморфического комплекса (составлена по материалам В. С. Озерова, 2004).

1 — рудопоявление «Внуково»; PR₁el — нижнепротерозойские образования Ельминского метаморфического комплекса, орто- и параамфиболиты, гнейсы, мигматиты; vV₁ — комплекс ранневендских метагаббро; γR₁ — комплекс раннерифейских субцелочных гранитов

Нами проведено петрографическое описание 62 шлифов, изучен минеральный состав тяжелых фракций 42 протоочных проб, выполнено 60 силикатных анализов горных пород. Проведен рентгеноструктурный анализ ряда минералов и микронзондовый анализ биотита (электронный атмосферный сканирующий микроскоп Philips XL 30 ESEN/TMP с анализирующей приставкой EDS (EDAX типа Sapphire), г. Сосновец, Силезский университет, Польша).

В ходе литохимической обработки данных силикатных анализов пород, с использованием «стандарта ЮК» [4, с. 141], были рассчитаны литохимические модули (табл. 1) и построена модульная диаграмма (рис. 2) в координатах «Сумма щелочей — ФМ (фемический модуль)» [4, с. 116].

Для выделения кластеров (групп близких по составу пород, для которых возможно усреднение) использовались и другие (вспомогательные) модульные диаграммы, которые здесь не приводятся. Как известно, процедура кластеризации приводит к распадению исходного множества анализов на два подмножества — кластеры (средние составы) и отдельные составы вне кластеров, не подлежащие усреднению вследствие существенных отличий отдельных параметров [4, с. 141].

Комплексная интерпретация литохимических и петрографических данных позволяет выделить следующие разновидности горных пород.

Амфиболизированные габбро

Эти породы опробованы в коренном выходе на правом берегу р. Ельмы, в 0,5 км ниже устья руч. Састумнел. Они характеризуются высоким значением фемического модуля (ФМ = 0,66, табл. 1), образуют **кластер I** (табл. 1 и рис. 2) и аттестуются как псевдогидролизаты.

Под микроскопом видно, что породы имеют массивную габбровую текстуру, участками переходящую в гранобластовую. В минеральном составе (здесь и далее мы приводим данные нормативного пересчета) доминирует роговая обманка (в среднем ~54 %) и сосюриитизированный средний плагиоклаз состава андезина-лабрадора (~18 %). Остальное приходится на рудные минералы (в сумме около 9 %, из которых около 3 % — ильменит с лейкоксеном, остальное — магнетит с гематитом), цоизит и хлорит (по 4 %). В аксессуарных количествах присутствуют сфен (~1 %) и карбонат (0,1 %). Особого упоминания заслуживает присутствие здесь двух минералов: реликтового авгита (около 2 %) и явно новообразованного калишпата (около 5—5,5 %) — продукта воздействия на эти габброиды прорывающих их гранитов. Минералогический анализ тяжелых фракций протоочных проб добавляет к

¹ В разных источниках река именуется по-разному — Ельма, Елма, "лма, Елима и "лима. Мы придерживаемся названия Ельма, показанного на топографических картах.



Средний химический состав горных пород, мас. %

Компоненты и модули	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
	Псевдогидролизаты			Псевдо- сиаллит	Гипо- сиаллит	Миосилит			Супер- силиты	Гипер- силиты
n	3	8	7	3	5	3	3	4	3	2
SiO ₂	41.59	46.71	49.23	51.56	64.3	68.01	72.06	73.27	84.55	92.42
TiO ₂	2.98	2.16	1.52	1.34	0.81	0.71	0.14	0.46	0.2	0.06
Al ₂ O ₃	11.86	14.84	16.42	16.17	15.02	13.08	13.95	11.63	5.61	2.75
Fe ₂ O ₃	9.93	3.93	3.24	2.15	1.79	1.61	0.47	1.69	0.55	0.15
FeO	9.94	9.05	6.86	6.28	3.71	3.4	0.72	1.83	0.96	0.45
MnO	0.25	0.23	0.16	0.132	0.05	0.05	0.015	0.034	0.033	0.01
MgO	7.18	6.71	6.20	5.54	2.23	1.75	0.64	1.01	0.77	0.22
CaO	9.68	7.92	7.71	6.62	1.88	1.45	1.22	1.93	1.82	0.76
Na ₂ O	2.19	3.1	3.38	3.36	3.25	1.45	3.00	3.31	0.25	0.17
K ₂ O	0.93	1.13	1.36	2.40	3.94	5.65	6.13	2.57	2.58	1.47
P ₂ O ₅	0.10	0.27	0.23	0.313	0.19	0.06	0.057	0.065	0.050	0.02
ппп	2.99	3.59	3.50	3.76	2.88	2.56	2.29	2.21	2.03	0.69
Сумма	99.62	99.63	99.80	99.62	100.04	99.76	99.68	100.00	99.41	99.75
Na ₂ O+K ₂ O	3.12	4.22	4.74	5.76	7.18	7.09	9.13	5.88	2.82	1.63
ГМ	0.84	0.65	0.57	0.51	0.33	0.28	0.21	0.21	0.09	0.04
ФМ	0.66	0.43	0.33	0.27	0.12	0.1	0.027	0.06	0.03	0.01

Примечание. I—X — номера кластеров; n—количество проб.

этому списку пирит, халькопирит, циркон, сфалерит, турмалин, гидроксиды железа по пириту, пирротин.

За пределами кластера I оказался состав обр. ВП 03/56, отличающийся большим содержанием плагиоклаза (соответственно — меньшей фемичностью), и, как можно думать, представляющий более измененную (гранитизированную) породу.

Породы, вошедшие в кластеры II—III, представлены в различной степени измененными амфиболитами, обнажающимися вдоль правого борта долины р. Ельмы в интервале 1—3 км от ее устья.

Альбитизированные амфиболиты

На модульной диаграмме образуют кластер II и аттестуются как псевдогидролизаты.

Под микроскопом видно, что основная ткань пород, в которой присутствует до 3 % рудного вещества, сложена мелко-, среднезернистым гранобластовым агрегатом зеленовато-коричневого амфибола и плагиоклаза, крупные кристаллы которого интенсивно сосюритизированы. Местами сохранились крупные лейсты плагиоклаза, указывающие на былую офитовую структуру долерита. Иногда выделения амфибола как бы плавают в базальном существен-

но альбитовом цементе. В отдельных интенсивно хлоритизированных зернах амфибола различаются реликты пироксена. В обр. ВП 03/17 и ВП 03/25 местами по амфиболу развивается «красный» биотит — плеохроирующий от бледно-желтовато-розового до коричнево-красного. В обр. ВП 03/15 отмечено очень много мелкого сфена, образующего цепочечные скопления зерен по сланцеватости. Породы разбиты тонкими прожилками эпидот-кварцевого и серицит-хлоритового состава.

В составе пород присутствуют, %: амфибол (~37), альбит и олигоклаз (~27), хлорит (~9), биотит (~6), эпидот (~5), кварц (4.5), мусковит (4), ильменит (2.6), сфен (2.0), в незначительных количествах отмечаются апатит, магнетит. В протоколках присутствуют также (в аксессуарных количествах) пирит, циркон, лейкоксен, пирротин, халькопирит, барит, гидроксиды железа, а в обр. ВП 03/54 — фуксит (?).

Альбитизированные и эпидотизированные амфиболиты

На модульной диаграмме образуют кластер III и аттестуются как псевдогидролизаты. От пород кластера II они отличаются более низкой фемичностью (ФМ 0.33 против 0.43) и несколько повышенным содержанием щелочей (Na₂O + K₂O = 4.7 против 4.2).

Для этих пород характерна массивная текстура и лепидогранобластовая структура. Средне- и крупнозернистая амфибол-плагиоклазовая основная

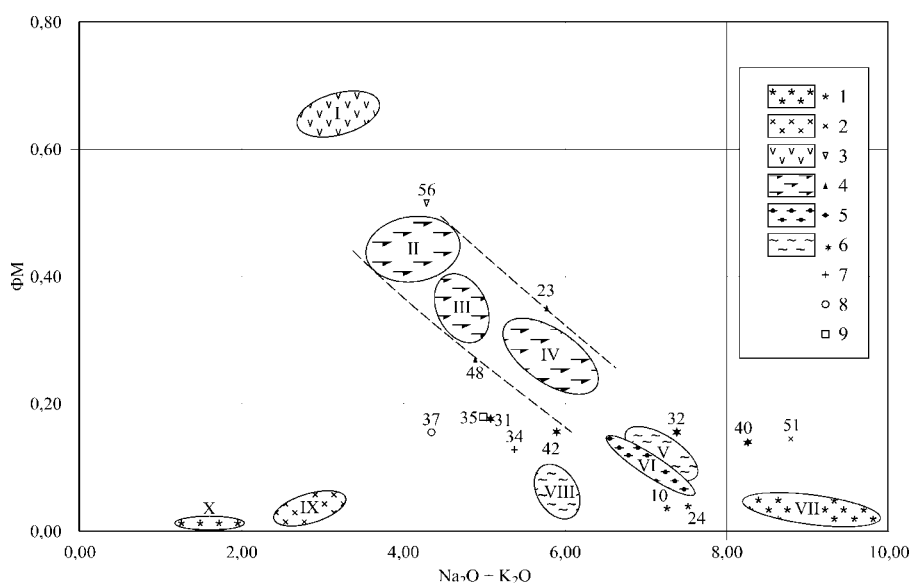


Рис. 2. Модульная диаграмма.

Условные обозначения: 1 — жилы; 2 — полевошпатовые кварциты; 3 — базиты; 4 — амфиболиты; 5 — кварцито-гнейсы; 6 — сланцы; 7 — граниты; 8 — метавулканы; 9 — известняки



Химический состав пород вне кластеров, мас. %

Компоненты и модули	Гипо-гидролизат		Нормосиаллит					Псевдосиаллит		Миосиаллит		
	23	56	32	34	40	31	51	48	35	10	24	37
SiO ₂	49.02	45.26	58.92	69.15	61.8	63.01	56.5	55.44	41.40	72.74	72.30	63.38
TiO ₂	1.22	2.97	0.73	0.33	0.97	0.85	0.97	1.41	0.47	0.17	0.21	0.79
Al ₂ O ₃	16.00	13.51	17.48	12.69	15.15	13.88	18.26	14.18	9.34	14.14	14.34	12.17
Fe ₂ O ₃	3.52	8.09	3.995	1.86	1.95	3.8	2.09	2.60	0.81	1.36	0.35	1.02
FeO	6.85	8.33	2.41	4.23	4.23	3.19	3.36	7.21	2.72	0.72	1.48	4.34
MnO	0.19	0.25	0.10	0.11	0.08	0.095	0.07	0.22	0.24	0.01	0.036	0.076
MgO	6.68	6.68	2.68	2.68	2.5	4.01	2.72	4.90	3.67	0.56	1.01	4.42
CaO	7.36	7.34	1.23	0.85	1.41	1.28	3.16	4.50	18.69	2.25	1.38	3.69
Na ₂ O	3.57	2.65	3.31	3.4	1.7	1.75	5.79	3.03	0.80	5.52	5.61	0.90
K ₂ O	2.19	1.64	4.06	1.97	6.39	3.31	3.00	1.83	4.19	1.74	1.91	3.44
P ₂ O ₅	0.21	0.09	0.088	0.073	0.085	0.16	0.400	0.11	0.065	0.028	0.044	0.11
ппп	3.15	3.41	4.05	3.02	3.21	4.59	3.27	3.99	16.93	0.87	1.07	4.91
Сумма	99.97	100.22	99.05	100.63	99.48	99.93	99.59	99.42	99.32	100.11	99.74	99.25
Na ₂ O+K ₂ O	5.76	4.29	7.77	7.57	8.09	5.06	8.79	4.86	4.99	7.16	7.52	4.34
ГМ	0.57	0.73	0.42	0.42	0.36	0.35	0.44	0.46	0.33	0.23	0.23	0.29
ФМ	0.35	0.52	0.16	0.16	0.13	0.18	0.15	0.27	0.18	0.04	0.04	0.16

ткань, содержащая до 1—2 % рудных минералов, образована зернами олигоклаза и альбита, иногда образующими подобие базального цемента, и расщелена мелкозернистыми эпидот-хлоритовыми и серицит-кварцевыми прожилками. Видимо, сначала породы подвергались альбитизации, а затем последовали эпидотизация-хлоритизация. Плагиоклазы интенсивно сосюритизированы, часть амфибола замещена хлоритом. В обр. ВП 03/20 амфибол местами замещается пластинчатым «красным» биотитом, пятнистым — неравномерно окрашенным (вследствие хлоритизации?), плеохроирующим от бледно-розоватого до коричнево-красного, а порою рассекается прожилками (до 0.5 мм) амфибола-2.

В среднем породы состоят, %: из амфибола (~35), альбита и олигоклаза (~28), мусковита (~7), хлорита (~6), кварца (~5), биотита (4.6), эпидота (~4), ильменита (1), лейкоксена (1). Минералогический анализ тяжелых фракций протолочных проб добавляет к этому списку апатит, пирит, циркон, гематит, барит, турмалин, сфен, рутил, сфалерит и гидроксиды железа.

Особенностью не вошедшего в кластер III обр. ВП 03/48 является повышенное содержание хлорита (16 % против ~6 % в кластере), при меньшем содержании амфибола (~12 % против 35).

Гранитизированные габбро-амфиболиты

Эти породы (кластер IV) включают пробы из обнажения на правом берегу р. Ельмы, в 0.5 км ниже устья руч. Сас-

тумнел (обр. 7, 13, 14), и участка «Внуково» (обр. 41) и аттестуются как псевдосиаллиты.

Они отличаются пониженной фемичностью и заметно повышенной щелочностью. Это выражается в заметно меньшем содержании амфибола (~15 против ~35 % в кластере III), при почти полном исчезновении титансодержащих минералов, в обогащении плагиоклазом (41 против 27 %) и ортоклазом (10 %). Все эти изменения — следствие более сильного воздействия на апогабровые амфиболиты прорывающих их жильных тел молодых гранитов.

Под микроскопом наблюдается полосчатая габбровая, участками пойкилофитовая текстура, неравномерно-зернистая структура. Плагиоклаз составляет в мелкозернистых участках 60, в крупнозернистых — 40 % породы. Представлен гипидиоморфными зернами — либо удлиненными табличками, либо изометричными (до 2.0 мм). Характерна зональность, заметная по более интенсивной сосюритизации центральных частей кристаллов. В обр. ВП 03/41 в основной ткани присутствует примесь крупных зерен кварца, пигментированных графитовой пылью (до 10 %), и «красный» биотит (до 5 %). Такой биотит, интенсивно замещающий амфибол, отмечается и в других образцах, вошедших в этот кластер.

Можно предположить, что первичные амфиболиты (в данном случае — аподолеритовые) подверглись двухэтапному гидротермальному воздействию: (а) с разложением плагиоклаза и массовой эпидотизацией амфибола (и может быть,

отчасти и с привнесом Na — альбитизацией?), (б) с привнесом K — биотитизацией оставшегося амфибола, тотальной серицитизацией и калишпатизацией плагиоклаза, с разложением эпидота-2.

Особенностью обр. ВП 03/23, не вошедшего в этот кластер, является присутствие до 4.0 % пироксена.

Кварц-полевошпатовые кристаллосланцы (кластер V) из обнажения на правом берегу р. Ельмы, в 0.6 км ниже устья руч. Састумнел, аттестуются как гипосиаллиты.

Для них характерна сланцеватая текстура и неравномерно-зернистая, катакластическая, бластопорфировая структура. Размеры зерен основной ткани составляют 0.25—0.50 мм. Бластопорфировые вкрапленники представлены альбитом и ортоклазом, размером до 4 мм. У части зерен альбита наблюдаются пластические деформации и поперечные микротрещины, смещающие двойники. Ортоклаз встречается в виде бластопорфировых вкрапленников (размером до 3.5 мм) и в виде мелкозернистой массы (0.5—0.7 мм). Зерна ортоклаза содержат тонкие субпараллельные, иногда ветвящиеся пертитовые вроски альбита. Иногда в них развиты тонкие поперечные микротрещины, заполненные мелкозернистым хлоритом. Оба полевых шпата интенсивно пелитизированы. Кварц слагает линейные зоны мощностью до 1.0 мм, либо образует мелкогранулированный мезостази (зерна до 0.15 мм). В линейных зонах кристаллы кварца (0.6—1.0 и 0.2—0.4 мм) имеют неровные зазубренные края и волни-



тое погасание. Местами видна четкая ассоциация хлорита с эпидотом и сфеном. Очевидно, что титан для сфена брался из биотита, а кальций — из разложившегося плагиоклаза.

В среднем породы состоят в основном из полевых шпатов — 49 % (кислый плагиоклаз ~31, калиевый полевой шпат ~18), кварца (~26 %) и слюды (~8 %), заметную примесь образуют хлорит (~8 %) и рудные (~3 %). В акцессорных количествах присутствуют сфен (1.6 %), эпидот (0.9 %) и апатит (0.3 %). В частности, сфен наблюдался в виде крупных ромбовидных кристаллов размером до 1.2 мм и мелких агрегатов зерен. Минералогический анализ тяжелых фракций протоочных проб добавляет к этому списку пирит, халькопирит, пироксен, гидроксиды железа, циркон, барит.

По-видимому, эти породы следует трактовать как метаморфизованные плагиограниты.

Кварцито-гнейсы из коренных выходов на рудопоявлении «Внуково» и руч. Первач, первого левого притока р. Ельмы, аттестуемые как миосилиты, образуют **кластер VI**.

От очень близких к ним по составу плагиогранитов (?) кластера V данные породы отличаются несколько большим содержанием кварца (33 против 26 %) и значительно более высоким содержанием калишпата (31 против 18 %). По-видимому, породы надо трактовать как гнейсо-граниты.

Наблюдается крупнозернистая директивная микроструктура, в основном сложенная стебельчатым пигментированным графитовой пылью жильным пластически деформированным кварцем и полевыми шпатами, и отдельными чешуйками биотита. Субпараллельные слюдистые прожилки, к которым приурочены выделения мелкого сфена, эпидота и пирита, сложены мелкочешуйчатым хлоритом, серицитом и биотитом, в том числе и сильно разложившимся. В мелких прожилках иногда присутствует также пелитоморфный и микро-, мелкозернистый карбонат. В обр. ВП 03/39 в слюдистых полосах отмечен «красный» биотит, а в зернистых — хлоритизированный, обесцвеченный.

Кварц-полевошпатовые породы из жил на правом берегу р. Ельмы, в 0.6 км ниже устья руч. Састумнел, и на рудопоявлении «Внуково» образуют **кластер VII** и аттестуются как миосилиты.

Под микроскопом видно, что породы сложены крупнозернистой серицитизированной кварц-полевошпатовой тканью, рассеянной зональными прожилками, центральные части которых выполнены кварцем, а периферийные — полевыми шпатами с мелкими зернами эпидота в интерстициях. Последнее указывает на то, что эпидотизация (привнос Са из вмещающих амфиболитов) произошла позже кристаллизации кварц-полевошпатового матрикса. В акцессорных количествах присутствуют хлорит и мусковит.

В среднем породы состоят из полевых шпатов (в том числе олигоклаза ~27, и ортоклаза ~30 %) и кварца (~33 %). Остальное приходится на светлую слюду (4 %) и хлорит (3 %). В акцессорных количествах присутствуют эпидот, рудные, апатит и карбонат. В тяжелых фракциях протоочных проб обнаружены также пирит, циркон, барит, турмалин, гранат, гидроксиды железа по пириту, рутил.

В обр. ВП 03/10 (точка вне кластера) в поле крупнозернистого кварца и альбита сохранился ксенолит амфиболита — мелко-, среднезернистого плагиоклаз-амфиболового агрегата со сфеном и эпидотом, что подчеркивает метасоматическую природу этих жильных образований.

Порода обр. ВП 03/24 из аплитовой жилы в амфиболитах на правом берегу р. Ельмы аттестуется как миосилит. Под микроскопом видна мелкозернистая роговиковоподобная кварц-альбитовая ткань, с вкраплением более крупных зерен кварца и ортоклаза и лишь с акцессорными примесями эпидота, серицита и хлорита.

Кварц-полевошпатовые сланцы (катаклазированные граниты) из обнажений на правом и левом берегах Ельмы, в 1.3—1.5 км от устья, образуют **кластер VIII** и аттестуются как миосилиты.

Под микроскопом видна крупнозернистая пигментированная графитовой пылью кварц-полевошпатовая ткань с большим количеством пластически деформированного жильного кварца и сохранившимися участками первичного субстрата с гранитной структурой, рассеянная хлорит-серицитовыми, с примесью тонкораспыленного рудного вещества, прожилками. В обр. ВП 03/27 с серицитовыми прожилками ассоциируется мелкокристаллический новообразованный турмалин. Отмечаются так-

же прожилки и скопления мелких кристаллов эпидота (нередко с ортитовыми ядрами). Вероятно, есть две генерации минерала: мелкий почти бесцветный эпидот-1 и более крупный зеленый эпидот-2. При этом гранит нельзя назвать диафторированным, так как у плагиоклазов довольно свежий облик. Очевидно, эпидотизация — это просто эндо-контактовое изменение (привнос Са из габбро-амфиболитов?).

В среднем породы состоят из полевых шпатов (33 % плагиоклазов и 14 % калиевых полевых шпатов) и кварца (~41 %). Второстепенные минералы представлены, %: хлоритом (~4), магнетитом (~4), карбонатом (~2) и биотитом (1.6); в акцессорных количествах отмечены эпидот (0.7), мусковит (0.4), ильменит (0.4) и лейкоксен (0.3). В тяжелых фракциях протоочных проб обнаружены: циркон (в том числе циртолит), сфен, рутил, апатит, гидроксиды железа по пириту, амфибол, пирит, барит, гранат, гематит и халькопирит.

Полевошпатовые кварциты (окварцованные и катаклазированные гнейсо-граниты?) из коренных выходов на левом берегу р. Ельмы, в устье первого левого притока (**кластер IX**), аттестуются как суперсилиты.

Под микроскопом видна существенно кварцевая, неравномерно-зернистая, с преобладанием крупнозернистой, директивная ткань, особенностью которой является раздробленность всех более или менее крупных зерен. Трешины выполнены хлоритом, серицитом и более мелкозернистым, пластически деформированным, пигментированным графитовой пылью кварцем-2.

Породы в среднем состоят из кварца и полевых шпатов, составляющих в сумме около 85 % (кварц — 71, ортоклаз ~13, плагиоклаз ~2); остальное приходится на примеси мусковита (~3), хлорита (~3), карбоната (~1.8), эпидота (2.7) и сфена (0.6). В тяжелых фракциях протоочных проб присутствуют также циркон, пирит, рутил, барит, апатит, гидроксиды железа, амфибол, гранат.

Существенно кварцевые породы **кластера X** из жил в гранитизированных амфиболитах в устье ручья, первого левого притока р. Ельмы, аттестуются как гиперсилиты. Породы на 95 % сложены крупнозернистым пластически деформированным кварцем с графитовым пигментом (~86 %) и включениями мелких зерен полевых шпатов, в



основном ортоклаза (~9 %). Эта ткань рассечена сетью микрозернистых кварцевых и карбонатных (0.5 %) прожилков с небольшой примесью серицита и мелких листочков мусковита, агрегированных в нитевидные прожилки толщиной до 0.05 мм.

Поскольку ортоклаз замещается серицитом и карбонатом, можно предположить, что это был анортоклаз. Последовательность процесса рисуется так: сначала щелочной флюид был окислительным (формирование калишпата и частичное замещение его карбонатом и серицитом), потом флюид стал кислым и восстановительным — и последовало формирование кварца с графитовым пигментом.

Акцессорные минералы представлены сфеном, цирконом, рутилом, апатитом, гидроксидами железа по пириту, пиритом, баритом, лейкоксеном и гематитом.

Кроме уже отмеченных выше, остались образцы пород, имеющих существенные особенности состава, не позволяющие их усреднять в кластерах.

Биотит-хлоритовые сланцы с гранатом отличаются повышенным содержанием слюд (обр. ВП 03/31, 32, 42) или хлорита (обр. ВП 03/40). Для них характерна полосчатая текстура: чередование крупно-, и среднезернистых кварц-полевошпатовых полос с полосами гранат-биотитового состава. Явно реликтовые, с корродированной поверхностью, часто трещиноватые, расчлененные тонкими прожилками буровато-зеленого хлорит-слюдистого материала зерна граната достигают размера 1.1—1.5 мм.

В обр. ВП 03/32 присутствует уже

не раз упомянутый «красный» биотит. Природу необычной окраски биотита нам выяснить не удалось — микрондовые анализы двух пластинок биотита показали вполне обычный состав, %: SiO_2 — 35.95—36.64, Fe_2O_3 — 23.34—20.83, Al_2O_3 — 20.83—20.36, K_2O — 9.21—9.39, MgO — 7.75—9.13, TiO_2 — 1.87—3.05, Ca — 0.24. Возможно, что красный оттенок биотиту придает не определявшийся в анализе фтор?

Биотит-хлоритовые сланцы с гранатом представляют собой скарны, образовавшиеся на контакте вендских графитоносных биотитовых плагиигранитов и вмещающих нижнерифейских слюдисто-карбонатных сланцев с линзами мраморов. В них, так же как и в гранитоидах, В. С. Озеровым установлена графитоносность [3].

В составе **альбитизированного полевошпатового кварцита** (обр. ВП 03/51, очевидно, это альбитовый метасоматит по граниту) полевые шпаты составляют в сумме около 77 %. Отличительной особенностью **окварцованно-**

го пегматоидного плагиигранита (обр. ВП 03/34) является низкое содержанием калиевого полевого шпата (всего около 2 %). Вне кластеров остались также обр. ВП 03/35 и ВП 03/37. Первый соответствует известковому алевролиту, особенностью которого является присутствие в составе около 32 % карбоната и 40 % полевых шпатов, второй — слюдистому аркозовому метавулканику.

Нейтронно-активационный анализ* восьми образцов амфиболитов, по одному образцу полевошпатового кварцита, кварц-полевошпатового сланца и кварц-полевошпатовой жильной породы показал (табл. 3), что значения суммы редкоземельных элементов (РЗЭ) в породах лежат в пределах от 63 до 321 г/т. Заметно отличается обр. ВП 03/46 (полевошпатовый кварцит из кластера IX), в котором отмечается минимальное содержание лантаноидов — всего 28 г/т. Кривые распределения РЗЭ (нормированные по среднему составу верхней континентальной коры) подобны и имеют лишь незначительные различия

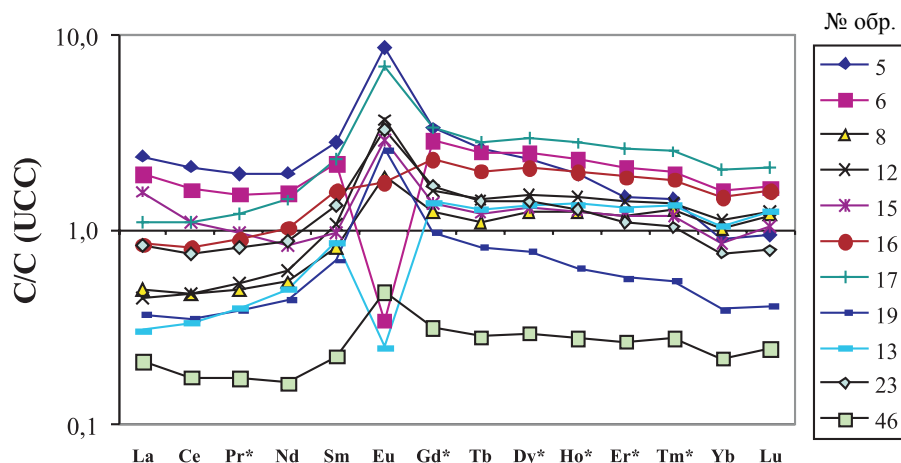


Рис. 3. Распределение нормированных содержаний РЗЭ

Таблица 3

Содержание редкоземельных элементов, г/т

№ образца	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Σ
5	71,70	134,70	13,70	50,80	12,70	7,66	12,60	1,68	8,11	1,56	3,37	0,47	1,99	0,30	0,004	321,34
6	58,00	103,00	10,80	40,00	9,88	0,30	10,90	1,60	8,70	1,84	4,82	0,65	3,48	0,53	0,004	254,50
8	14,70	29,70	3,46	14,00	3,67	1,65	4,67	0,70	4,32	0,99	2,73	0,42	2,21	0,38	0,002	83,60
12	13,40	30,00	3,75	15,90	4,81	3,23	6,02	0,91	5,27	1,17	3,20	0,45	2,48	0,40	0,000	90,99
15	47,00	70,30	6,82	21,50	4,38	2,56	5,20	0,78	4,50	1,00	2,71	0,39	1,88	0,33	0,003	169,35
16	25,20	51,50	6,30	26,50	7,13	1,54	8,80	1,28	7,32	1,59	4,30	0,60	3,22	0,51	0,003	145,79
17	32,80	69,80	8,53	36,90	10,30	6,15	12,60	1,80	10,40	2,23	5,98	0,83	4,47	0,67	0,001	203,46
19	11,00	22,30	2,74	11,40	3,13	2,29	3,70	0,52	2,70	0,51	1,30	0,18	0,86	0,13	0,001	62,76
13	9,09	21,30	2,82	12,90	3,90	0,22	5,28	0,82	4,72	1,09	2,97	0,44	2,31	0,40		68,26
23	24,70	48,10	5,72	22,70	6,01	2,89	6,42	0,90	4,86	1,01	2,50	0,34	1,67	0,25	0,001	128,07
46	6,33	11,20	1,22	4,22	1,01	0,42	1,19	0,18	1,03	0,22	0,61	0,091	0,48	0,078	0,000	28,28

* Содержания РЗЭ определяли методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) в лаборатории ГЕОХИ (Г. М. Колесов).

(рис. 3). В альбитизированном и эпидотизированном амфиболите обр. 6 (кластер III) и гранитизированном амфиболите обр. 13 (кластер IV) отмечаются резкие отрицательные аномалии европия, а в обр. 16 (альбитизированный амфиболит, кластер II) европиевый минимум сильно выположен. В остальных образцах наблюдается резкая положительная аномалия европия, обусловленная повышенным содержанием в породах плагиоклазов. В целом же распределение РЗЭ определяется, по-видимому, в основном количеством кальциевых минералов — роговой обманки и анортитового минала плагиоклазов и никакой специальной генетической информации не несет.

Проблема изотопного датирования

Полевые наблюдения дают ясные свидетельства сильного изменения габ-

бия находят полное подтверждение и при изучении шлифов, где хорошо видны не только метасоматические изменения пород, но и признаки сильного катаклаза.

Хотя такой материал — неблагоприятный объект для изотопного анализа, мы попросили В. Л. Андреичева выполнить рубидий-стронциевое датирование 12 наших проб. Результат получился неутешительный: по мнению аналитика, разброс экспериментальных данных (табл. 4) так велик, что ни о каком проведении изохронных прямых не может быть и речи.

Тем не менее мы на свой страх и риск попробовали построить два уравнения регрессии по небольшой выборке экспериментальных точек. Эти «псевдоизохронные» линии дают два значения возраста: одно — позднерифейское и другое — позднепермское/раннетри-

строить еще одну линию регрессии, дающую возраст около 1 млрд лет с громадной ошибкой (± 300 млн лет). Однако на этот «смелый» шаг в духе В. С. Озерова мы все же не решаемся; вопрос остается открытым для будущих исследований.

Выводы

1. Исследование магматических и метаморфических пород в верховьях Печоры (р. Ельма) еще раз подтвердило эффективность литохимической методики (предназначенной, вообще говоря, для пород осадочных и параметаморфитов [4]. Во всяком случае, классификация химических составов метаморфитов позволила выделить достаточно четкие группы горных пород, заметно отличающихся друг от друга — либо по признаку первичного субстрата, либо по степени проявления вторичных процессов изменения, имевших преимущественно метасоматический характер. В частности, выделяется группа магнетитовых габбро-амфиболитов (кластер I), которые, по мнению В. С. Озерова, могут быть обогащены ильменитом до промышленных кондиций.

2. Вполне вероятно, что часть выделенных в итоге групп горных пород имеет и различный геологический возраст. В частности, мы допускаем присутствие в Ельминском метаморфическом комплексе по меньшей мере двух групп разновозрастных пород — с изотопным возрастом около 750 и около 250 млн лет.

3. Вопрос о наличии здесь более древних образований фундамента (раннепротерозойских, по В. С. Озерову) пока остается открытым.

Авторы благодарят за консультации к. г.-м. н. Л. В. Андреичева, к. г.-м. н. А. А. Соболеву и А. Н. Шулепову.

Литература

1. Геохимия древних толщ Севера Урала / Отв. ред. академик Н. П. Юшкин; Ред.-сост. Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис. Сыктывкар: Геопринт, 2002. 333 с.
2. Кузнецова Н. С. Амфиболиты Елиминского комплекса Северного Урала // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Информ. мат.-лы. 12-й науч. конф. Сыктывкар: Геопринт, 2003. С. 141—143.
3. Озеров В. С., Озерова Э. Н. Рудопоявление чешуйчатого графита в верховьях Печоры // Углерод: минералогия, геохимия и космохимия: Мат.-лы Междунар. конф. Сыктывкар: Геопринт, 2003. С. 88—89.
4. Юдович Я. Э. Кетрис М. П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.

Т а б л и ц а 4

Результаты изотопного анализа рубидия и стронция

Образец	Rb, мкг/г	Sr, мкг/г	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 2\sigma$
ВП 03/1	71.2	167.5	1.231	0.72683 $\pm$ 12
ВП 03/2	136.2	185.1	2.132	0.72556 $\pm$ 13
ВП 03/3	142.4	297.9	1.384	0.72232 $\pm$ 20
ВП 03/5	80.1	304.8	0.761	0.71614 $\pm$ 28
ВП 03/4	33.0	643.5	0.148	0.71243 $\pm$ 20
ВП 03/7	49.0	269.5	0.532	0.71443 $\pm$ 23
ВП 03/11	34.0	548.8	0.179	0.71134 $\pm$ 9
ВП 03/16	34.6	299.1	0.335	0.71181 $\pm$ 24
ВП 03/19	96.0	325.5	0.853	0.71213 $\pm$ 10
ВП 03/10	30.6	408.6	0.217	0.71064 $\pm$ 15
ВП 03/22	170.7	137.5	3.599	0.73038 $\pm$ 19
ВП 03/24	64.2	126.2	1.474	0.72309 $\pm$ 20

броидов и габбро-амфиболитов — они прорываются жилами гранитов и аплитов, поблизости от которых породы отчетливо освещаются (альбитизация, калишпатизация, окварцевание), а также «озеленяются» (эпидотизация и реже — хлоритизация). Эти наблюде-

асовое (рис. 4). Едва ли случайно, что эти цифры соответствуют хорошо известным и неоднократно полученным в нашем регионе датировкам, отвечающим катангскому и герцинскому этапам тектогенеза [1, с. 199].

Итак, эти данные вместе с геологическими и петрологическими наблюдениями позволяют нам предположить, что в Ельминском комплексе действительно присутствуют горные породы как минимум двух возрастов: позднерифейские габброиды и апогабровые амфиболиты и позднепермские гранитоиды и метасоматиты по субстрату габброидов.

Остается открытым вопрос о датировании более древних — предположительно карельских (?) амфиболитов, составы которых образуют на модульной диаграмме (рис. 2) кластеры II и III. При очень большом желании по выборке точек на рис. 4 можно попробовать по-

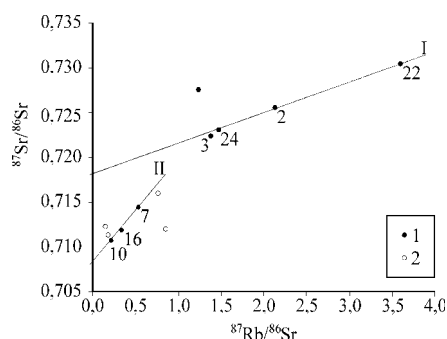


Рис. 4. Изотопная диаграмма (аналитик В. Л. Андреичев, интерпретация Я. Э. Юдовича). Условные обозначения: 1 — образцы, использованные для датировки; 2 — прочие образцы