

ГЕАХІМІЯ

УДК 552.161/23(476)

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТАСОМАТИТОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА ЗАПАДА БЕЛАРУСИ (УЧАСТОК «ЕЛЬНЯ»)

А. А. Толкачикова, О. А. Пискун, М. П. Гуринович, Н. С. Завадич, О. И. Криволап

Государственное предприятие «НПЦ по геологии»
Филиал «Институт геологии»
ул. Академика Купревича, 7, 220084, Минск, Беларусь
E-mail: gmkf@geologiya.by, piskun_oleg@mail.ru, fundament@geologiya.by

Представлены результаты исследования малоизученных метасоматических пород участка «Ельня», расположенного на западе кристаллического фундамента Беларуси. Выявлены особенности их химизма и закономерности распределения малых элементов. Определены условия преобразования исходных пород. Сделан вывод, что измененные породы данного участка относятся к классу гидротермально-метасоматических с ведущей ролью проявления инфильтрационного и сопутствующего диффузионного метасоматоза. Установлено, что метасоматиты являются потенциально рудоносными на цветные и редкие металлы. Проявление «Ельня» принадлежит к комплексному сульфидно-полиметаллическому рудопроявлению жильного типа.

Ключевые слова: кристаллический фундамент, участок «Ельня», метасоматиты, геохимия, рудопроявление

ВВЕДЕНИЕ

В западном регионе докембрийского кристаллического фундамента Беларуси в районе между г. Мосты и г. Щучин, южнее проявления «Шнипки», выделен участок оруденения «Ельня». Рудопроявление, приуроченное к мощной зоне тектонических нарушений Щучинского разлома (рис. 1, 2), обусловлено присутствием здесь в разной степени метасоматически преобразованных пород с развитием в них сульфидной и магнетитовой минерализации. Локализовано оно в зонах дробления и милонитизации хлоритизированных, карбонатизированных, окварцованных, скаполитизированных, эпидотизированных, калишпатизированных, реже мусковитизированных, образований щучинской серии ($AR_1\check{s}\check{c}$), ультраметаморфического эндербит-чарнокитового комплекса ($AR_1e\check{c}$), в меньшей степени базитового березовского и комплекса высокотемпературных бластомилонитов (AR_2bm). Породы фундамента на данном участке вскрыты скважинами М (Мосты) 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, Щ (Щучин) 26, ОП (оценочно-поисковые) 10, 11.

О наличии тел с богатой сульфидной вкрапленностью свидетельствуют данные как минералого-геохимических исследований, так и электроразведки, в результате проведения которой на этой территории были выделены зоны с аномальной поляризуемостью (10–12 %). Более или менее четко выделяются 5 зон со средней мощностью 15–30 м и протяженно-

стью 200–400 м (по данным Л. К. Васильева, 1974). Рудные интервалы вскрыты на глубинах 165–340 м и представлены зонами прожилково-вкрапленной, гнездово-вкрапленной сульфидной и ильменит-магнетитовой минерализациями. Зоны располагаются согласно с простираем контролирующего Щучинского разлома на северо-восток.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом для изучения послужили образцы пород из керна 12 скважин, пробуренных Мостовской геологосъемочной партией (1970–1973) и Белорусской геолого-гидрологической экспедицией Республиканского унитарного предприятия «Белгеология» (1996–1999). Оптическим микроскопическим методом с использованием поляризационных микроскопов Альтами ПОЛАР 312, Carl Zeiss Axioskop 40 A Poi изучено более 300 шлифов разных типов метасоматических и неизмененных образований участка «Ельня», а также проведен минералогический количественный анализ 12 проб метасоматитов (Н. С. Завадич, Институт геологии, Минск). Для выявления особенностей химизма метасоматически измененных пород использовались аналитические данные 35 полных силикатных [4] и 130 спектрально-количественных анализов, выполненных в различных лабораториях (ПО «Центрказгеология», г. Караганда; Центральная лаборатория РУП «Белгеология»;

Институт минералогии и геохимии редких элементов, г. Москва), и 7 анализов, выполненных ICP-MS методом в лаборатории ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург, 2022). Также был проведен микрозондовый анализ минералов (Центральная лаборатория ВСЕГЕИ,

г. Санкт-Петербург). Процесс исследований заключался в комплексном анализе структурно-геологических, петрографических, минералогических и геохимических данных.

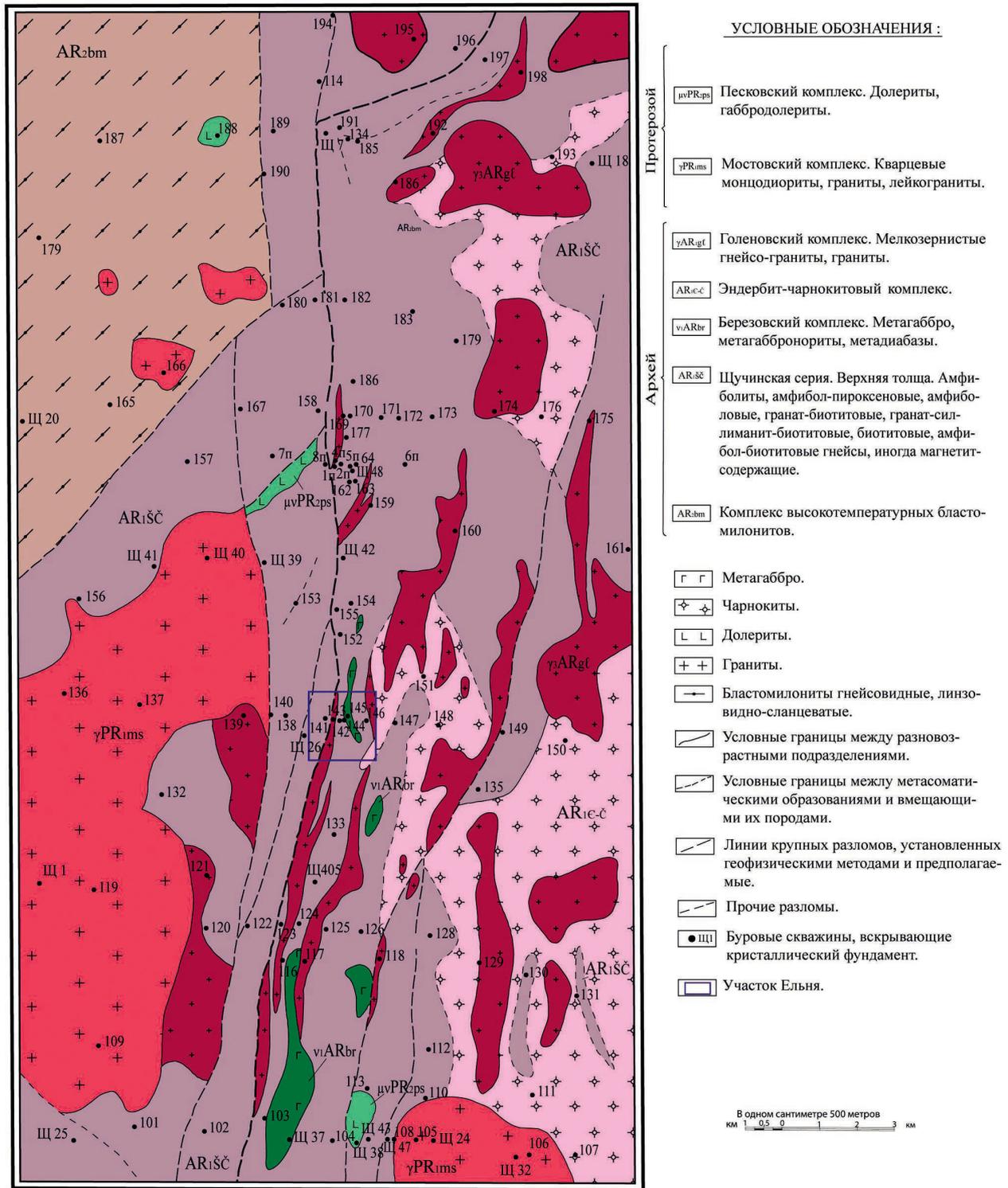
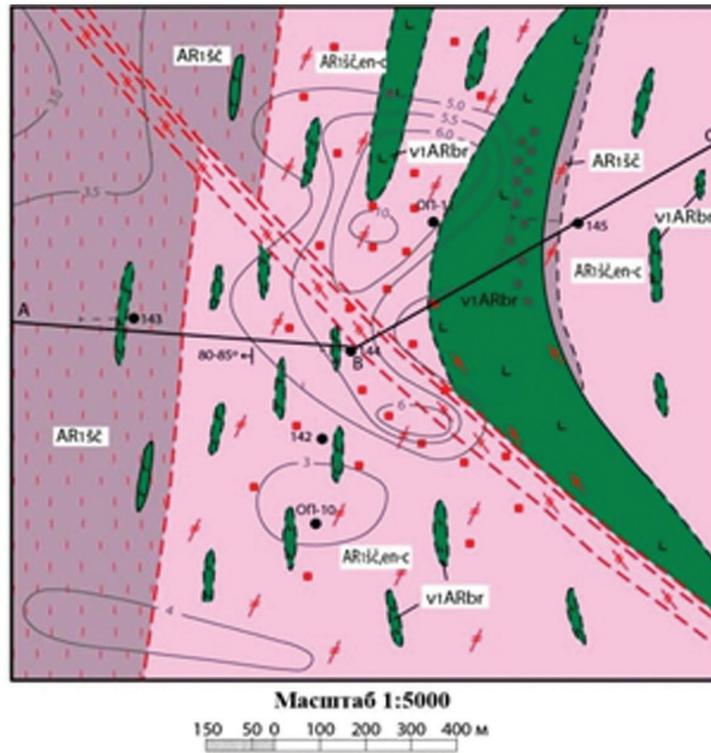


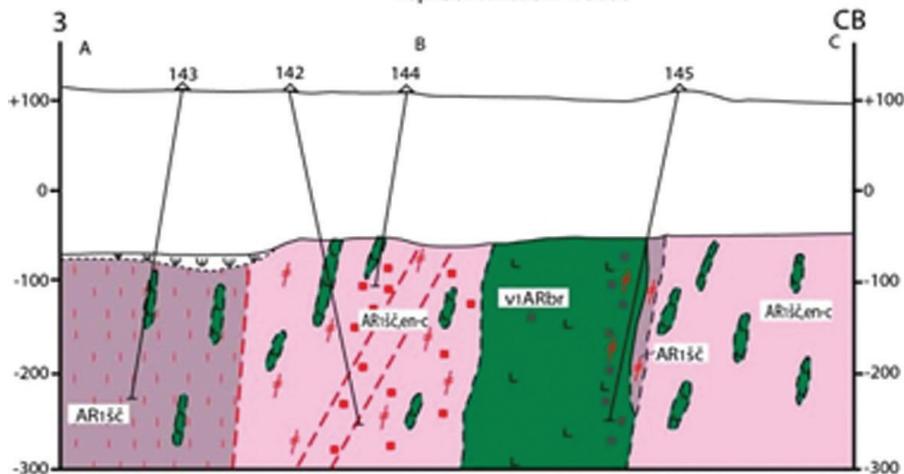
Рисунок 1 – Расположение участка «Ельня» на схематической геологической карте кристаллического фундамента запада Беларуси



a

РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ А-В-С

Масштаб: вертикальный 1: 5000
горизонтальный 1: 5000



б

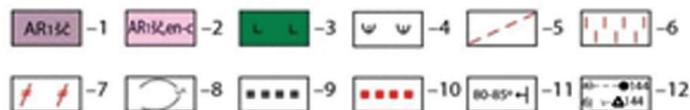
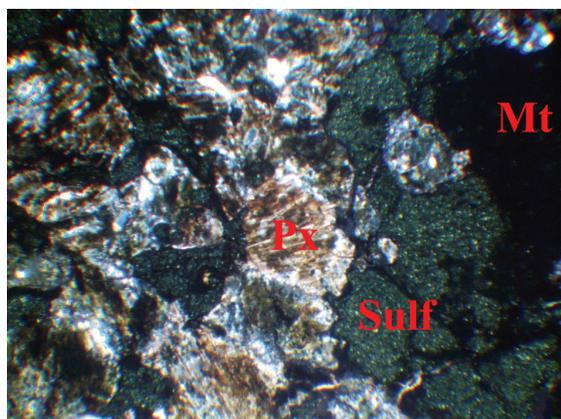


Рисунок 2 – Схематическая геологическая карта участка «Ельня» масштаба 1:5000:
 1 – щучинская серия (AR₁šć); 2 – эндербит-чарнокитовый комплекс (AR₁šćen-c); 3 – березовский комплекс (v₁ARbr);
 4 – кора выветривания; 5 – разломы; 6 – зона милонитизации; 7 – катаклазиты;
 8 – изолинии кажущейся поляризуемости (только на плане); 9 – участки, обогащенные магнетитом;
 10 – участки с густой сульфидной вкрапленностью; 11 – элементы залегания пород;
 12 – скважины, пробуренные Мостовской геологосъемочной партией их номера: а – на плане; б – на разрезе

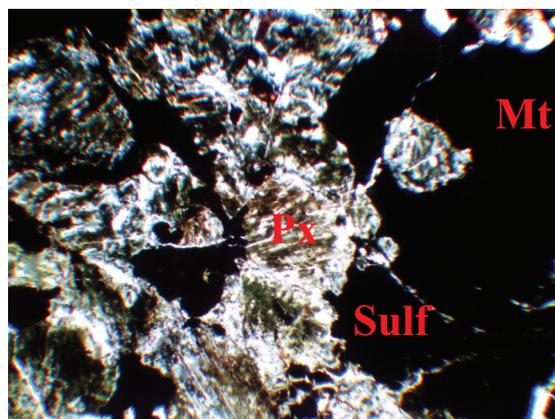
МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД

Породы проявления «Ельня» представлены в основном метасоматически измененными кристаллическими сланцами, плагиогнейсами, амфиболита-

ми, эндробитами, чарнокитами и blastsилонитами с развитием в них в отдельных зонах сульфидной и магнетитовой минерализации (рис. 3–7). Преобладающим типом пород являются измененные магнетит- и сульфидсодержащие кристаллические сланцы.

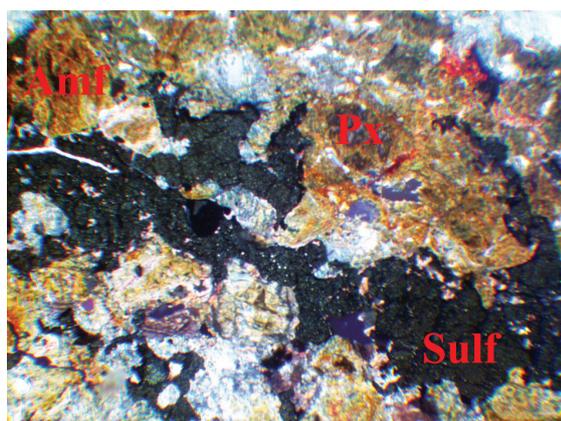


а

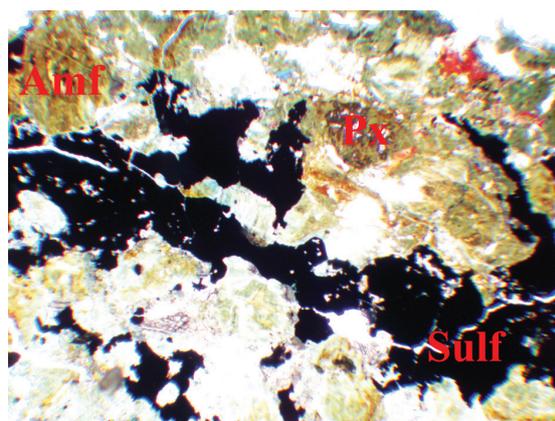


б

Рисунок 3 – Метасоматически измененный кристаллический сланец с магнетитом и сульфидами, скв. М 144, гл. 166 м. Здесь и далее – фото шлифа: а – с анализатором; б – без анализатора; видимое поле шлифа 3,0×2,5 мм

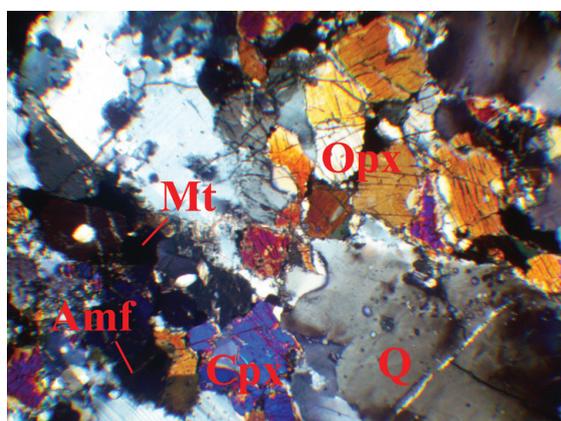


а

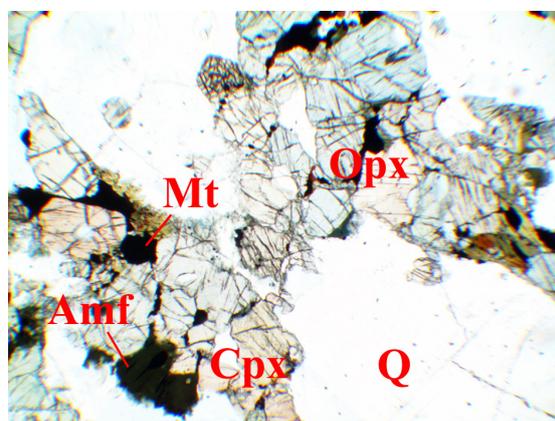


б

Рисунок 4 – Метасоматически измененный кристаллический сланец с магнетитом и сульфидами, скв. М 144, гл. 167 м



а



б

Рисунок 5 – Эндробит окварцованный с магнетитом, скв. М 142, гл. 329,2 м

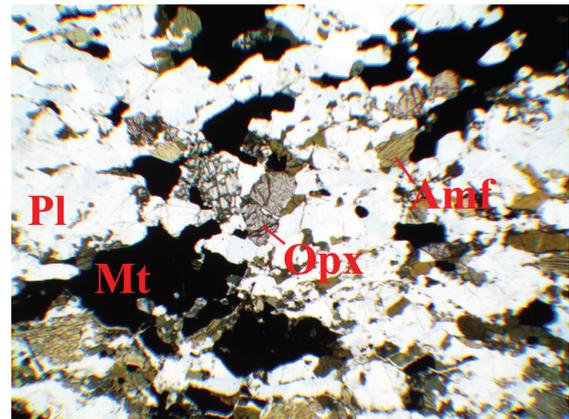
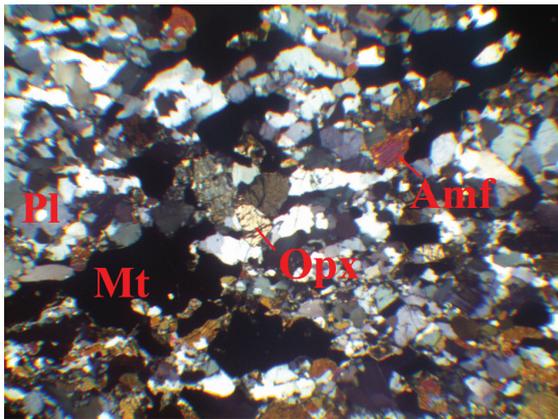


Рисунок 6 – Плагинейс пироксен-амфиболовый окварцованный с магнетитом, скв. М 144, гл. 170,0

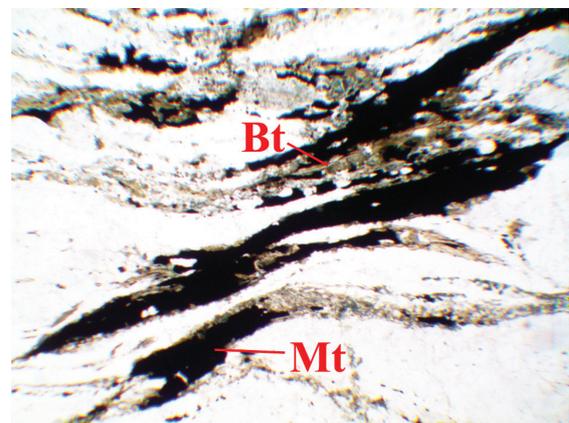
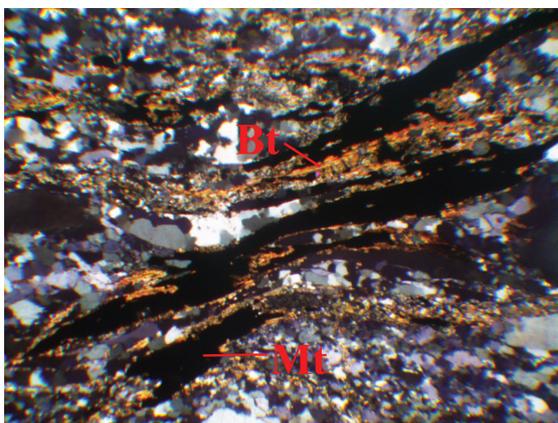


Рисунок 7 – Бластомилонит с магнетитом, скв. М 143, гл. 208,0 м

Рассматриваемые метасоматические образования участка «Ельня» относятся к породам основного, среднего и кислого состава (табл. 1), нормально- и умереннощелочного ряда, тип щелочности – натриевый, в плагинейсах и чарнокитах – калиевый. Породы характеризуются значительной вариабельностью содержания петрогенных компонентов, даже в пределах одного типа пород, что связано с разной степенью проявления гидротермальных преобразований в тектонически ослабленных зонах. Так, среди кристаллических сланцев выделяются разновидности как с умеренной ($t^{\circ} = 6-9$), так и с высокой титанистостью ($t^{\circ} = 11-16$), содержание оксида кремния варьирует от 43 до 49 %, магния – от 4,8 до 8,5 %, натрия – от 2 до 4 %, калия – от 0,4 до 1,5 %. Та же картина наблюдается и в измененных амфиболитах, плагинейсах, эндербитах. Петрохимически метасоматические преобразования в породах проявились в увеличении содержания оксидов кремния, титана, железа, в некоторых случаях кальция, щелочей, с преобладанием калия, в снижении концентрации оксидов магния и алюминия.

Для микроэлементного состава метасоматически измененных пород также характерна вари-

абельность содержания малых элементов. В целом в таких образованиях наблюдается увеличение сидерофильных (хрома, кобальта, иногда ванадия и скандия) и халькофильных (меди, свинца, цинка и олова) элементов по сравнению с неизмененными породами.

Результаты геохимических исследований показали, что в метасоматитах минерализованных зон отмечается значительно высокое содержание халькофильных элементов: Pb – 280 г/т (выше кларковых значений по [1] в 18 раз), Zn – 740 г/т (выше кларка в 10 раз), Cu – 290 г/т (выше кларка в 8 раз), Ag – 1 г/т (выше кларка почти в 15 раз); некоторых сидерофильных: Cr – 320–400 г/т (выше кларка в 6–8 раз), Co – 70–160 г/т (выше кларка в 7–16 раз) и Mo – 3–8 г/т (выше кларка в 3–9 раз), а также редкоземельных элементов (РЗЭ) – Sc, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, содержания которых превышают кларковые значения иногда в несколько десятков раз (табл. 2, 3). Максимальное содержание Co и халькофильных элементов фиксируется в метасоматически измененных амфиболитах и кристаллических сланцах, вскрытых скв. М 144.

Таблица 1 – Хімічны состав (мас. %) метасаматычна зменных парод рудопрояўлення «Ельня»

Оксид	Кристаллические сланцы						Амфиболиты						Плагиогнейсы						Эндербиты			Мангеро-эндербиты	Чарнокит	Бласто-милонит	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	17	18	19	17	18	19
SiO ₂	42,84	46,47	46,64	47,29	48,77	49,21	43,85	48,22	55,72	68,79	69,34	70,41	70,46	74,40	40,75	45,58	55,42	58,19	69,02	55,42	58,19	69,02	55,42	58,19	69,02
TiO ₂	2,25	2,92	2,96	1,99	1,06	1,31	0,72	1,70	1,65	0,55	0,55	0,20	0,18	0,47	1,43	0,80	0,71	0,41	0,26	0,71	0,41	0,26	0,71	0,41	0,26
Al ₂ O ₃	12,45	12,40	13,64	13,20	12,27	13,05	13,26	14,09	10,16	14,69	14,83	15,12	15,07	12,07	12,63	13,46	13,91	14,50	9,68	13,91	14,50	9,68	13,91	14,50	9,68
Fe ₂ O ₃	8,84	9,42	9,60	5,90	9,35	6,56	10,28	8,39	5,96	1,70	1,22	0,83	0,81	1,47	13,72	7,04	4,65	4,25	0,75	4,65	4,25	0,75	4,65	4,25	0,75
FeO	11,38	9,49	9,05	10,32	7,96	8,07	7,65	7,11	6,80	2,47	2,70	1,94	1,88	1,88	8,36	9,03	7,17	3,25	6,90	7,17	3,25	6,90	7,17	3,25	6,90
MnO	0,23	0,25	0,16	0,07	0,21	0,22	0,25	0,15	0,22	0,01	0,01	0,05	0,08	0,01	0,24	0,27	0,22	0,02	0,12	0,22	0,02	0,12	0,22	0,02	0,12
MgO	8,47	5,01	4,71	7,35	4,90	5,17	7,31	7,30	0,65	1,40	1,59	0,60	0,99	1,21	6,21	11,50	4,37	3,92	6,51	4,37	3,92	6,51	4,37	3,92	6,51
CaO	4,69	7,71	7,92	9,43	3,93	8,29	6,53	6,77	13,43	1,69	1,95	2,35	2,35	1,30	4,58	4,30	5,19	7,91	1,30	5,19	7,91	1,30	5,19	7,91	1,30
Na ₂ O	3,07	4,22	2,63	2,12	3,59	3,99	3,83	0,92	3,22	3,55	4,00	3,65	3,63	3,02	3,15	3,05	4,83	3,72	1,33	4,83	3,72	1,33	4,83	3,72	1,33
K ₂ O	0,95	0,84	0,72	0,37	1,50	1,07	0,71	1,13	0,68	3,87	2,90	3,94	3,80	2,62	1,46	1,07	0,87	0,82	2,60	0,87	0,82	2,60	0,87	0,82	2,60
P ₂ O ₅	0,23	0,31	0,34	0,16	0,19	0,17	0,20	0,29	0,13	0,12	0,12	0,18	0,18	0,08	0,34	0,10	0,21	0,06	0,05	0,21	0,06	0,05	0,21	0,06	0,05
SO ₃	-	-	0,05	0,42	0,30	0,05	0,08	0,16	-	0,06	0,04	-	-	0,03	0,15	0,04	0,03	1,00	0,33	0,03	1,00	0,33	1,00	0,33	-
П.п.л.	4,56	1,01	1,60	1,34	5,99	2,80	5,32	3,78	1,38	1,09	0,74	0,72	0,55	1,48	6,98	3,77	2,42	1,95	1,15	2,42	1,95	1,15	2,42	1,95	1,15
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Фообщ	0,71	0,79	0,80	0,69	0,78	0,74	0,71	0,68	0,95	0,75	0,71	0,82	0,74	0,74	0,78	0,59	0,73	0,66	0,54	0,73	0,66	0,54	0,66	0,62	0,54
t'	11,11	15,45	15,89	12,25	6,10	8,92	4,03	10,97	12,93	13,19	14,03	7,22	6,69	14,03	6,48	5,01	6,02	5,49	3,41	6,02	5,49	3,41	6,02	5,49	3,41
al'	0,43	0,52	0,58	0,56	0,55	0,66	0,53	0,62	0,76	2,64	2,69	4,48	4,10	2,65	0,45	0,49	0,86	1,27	0,68	0,86	1,27	0,68	1,27	0,86	1,27
mg#	0,29	0,21	0,20	0,31	0,22	0,26	0,29	0,32	0,05	0,25	0,29	0,18	0,26	0,26	0,22	0,41	0,27	0,34	0,46	0,27	0,34	0,46	0,34	0,27	0,46
FeO*/MgO	2,28	3,58	3,75	2,13	3,34	2,70	2,31	2,01	18,71	2,86	2,39	4,48	2,64	2,65	3,33	1,34	2,60	1,81	1,16	2,60	1,81	1,16	2,60	1,81	1,16
Na ₂ O+K ₂ O	4,02	5,05	3,35	2,49	5,10	5,06	4,54	2,05	3,90	7,42	6,90	7,58	7,44	5,64	4,61	4,11	5,70	4,54	3,93	5,70	4,54	3,93	4,54	4,51	3,93
Na ₂ O/K ₂ O	3,24	5,04	3,64	5,73	2,39	3,71	5,37	0,81	4,74	0,92	1,38	0,93	0,96	1,15	2,16	2,86	5,54	4,51	0,51	5,54	4,51	0,51	4,51	4,51	0,51
n	4	1	1	1	6	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	3	1	1	3	1	1

Примечание. Метасаматычны зменныя: 1-6 – кристалічныя сланцы; 1 – скв. М 144-185,0-190,0 м; 2-3 – скв. М 144-186,0 м; 4 – скв. М 145-236,6 м; 5 – скв. М 144-70,0-176,0 м; 6 – скв. М 144-165,2-170,0 м; 7-9 – амфиболіты; 7 – скв. М 144-195,0 м; 8 – скв. М 141-259,0 м; 9 – скв. М 143-299,0 м; 10-14 – плагиогнейсы; 10 – скв. М 141-253,7 м; 11 – скв. М 141-325,5 м; 12-13 – скв. М 141-307,0 м; 14 – скв. М 141-266,0 м; 15-16 – эндербіты; 15 – скв. М 144-209,3 м; 16 – скв. М 144-210,0-214,0 м; 17-18 – мангероэндербіты; 17 – скв. М 144-214,0-215,2 м; 18 – скв. М 145-193,7 м; 19 – чарнокіт, скв. М 142-277,9 м; 20 – бластомилоніт, скв. М 143-210,3 м. Ааналізы вняты из [4].
 $F_{\text{общ}} = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO})/(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})$, мас. % – аобщая желязистась парод; $al' = \text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO})$, мас. % – каэфіцыент желязистась парод; $t' = (\text{TiO}_2 \cdot 100)/(F_{\text{общ}} + \text{FeO})$, мас. % – титаністась парод; $mg\# = \text{MgO}/(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})$, мас. % – каэфіцыент магназіальнась парод; $\text{FeO}^* = \text{FeO} + 0,9\text{Fe}_2\text{O}_3$ – мас. % – аобщее желязо. В погери при прокаливании (П.п.л.) вклучены содержание CO₂; прочерк – содержание элемента не определено или данные отсутствуют.

Таблица 2 – Кларки концентраций (Кк) микроэлементов в метасоматитах минерализованных зон участка «Ельня» (на основе приближенно-количественного спектрального анализа)

Элемент	1	2	3	4	5
Ti	0,84	0,83	0,65	0,73	0,51
V	2,36	2,33	1,34	0,91	0,73
Cr	1,99	4,57	1,70	1,62	0,80
Ni	1,52	2,02	1,01	0,96	0,79
Co	6,80	6,27	3,79	3,98	2,57
Cu	7,69	4,29	5,94	8,25	4,75
Pb	18,41	1,01	12,01	1,04	9,54
Zn	9,51	2,16	10,30	4,05	4,59
Ag	14,69	1,90	8,68	3,33	9,29
Mo	2,83	1,50	2,92	2,42	1,71
Sn	3,54	4,10	3,08	3,15	2,53
Ga	1,13	1,23	1,00	1,10	1,82
Sr	0,23	0,29	0,29	0,30	0,42
Ba	0,58	0,37	0,79	0,62	1,66
Be	8,92	0,71	0,84	1,00	15,51
Zr	0,73	0,73	0,75	1,81	1,16
Nb	0,73	0,46	0,75	0,78	1,32
Ge	1,40	1,17	2,00	1,33	1,33
P	0,78	1,13	0,67	0,56	0,71
Th	–	2,86	4,29	–	–
Sc	3,30	4,17	2,91	2,95	1,63
Y	1,08	3,22	1,74	1,94	0,64
La	0,93	1,74	1,90	0,86	0,69
Ce	1,48	4,12	1,60	1,23	2,06
Nd	–	9,09	3,03	3,03	4,55
Gd	2,27	13,07	2,84	5,68	3,41
Dy	1,59	6,88	6,88	15,87	1,22
Ho	5,56	12,96	13,89	11,11	–
Er	2,86	14,29	5,71	14,29	2,86
Tm	–	16,67	33,33	33,33	–
Yb	1,09	2,72	1,75	1,86	0,92
n	41	15	24	12	38

Примечание. 1–5 – метасоматически измененные породы: 1 – кристаллические сланцы (скв. М 142, 144, 145); 2 – амфиболиты (скв. М 141, 142, 143, 144, 145); 3 – гнейсы (скв. М 141, 142, 144); 4 – чарнокиты и эндербиты (скв. М 142, 144, 145); 5 – бластомилониты (скв. М 141, 142, 143, 144). Пропуск (здесь и далее) – элемент не определялся или ниже границы чувствительности метода. Кк – кларк концентрации – отношение среднего содержания элемента в породе к кларку этого элемента в земной коре. Кларки концентраций всех элементов рассчитаны в сравнении с кларками соответствующего состава пород по А. П. Виноградову [1]. Цветовые обозначения: Кк < 0,6; Кк = 0,6–1,0; Кк = 1,0–2,0; Кк = 2,00–5,00; Кк = 5,0–10,00; Кк > 10,00.

Таблица 3 – Кларки концентраций (Кк) микроэлементов в метасоматитах минерализованных зон участка «Ельня» (на основе метода ICP-MS)

Элемент	1	2	3	4	5	6	7
V	0,9	3,1	2,1	2,6	3,3	0,1	2,7
Cr	2,1	2,2	2,0	2,6	6,3	3,1	8,0
Ni	0,7	0,4	2,3	0,2	1,3	0,1	1,0
Co	5,1	5,5	16,3	1,9	3,9	0,2	3,8
Cu	9,3	3,3	7,8	0,8	1,8	0,2	1,7
Zn	5,3	3,7	4,4	4,6	1,3	0,5	1,2
Ag	9,3	5,6	10,4	3,7	2,6	4,3	3,1
Mo	1,6	1,6	9,4	0,7	0,7	0,9	0,9
Ga	1,2	1,3	0,8	1,2	0,9	0,7	0,8
Sr	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
Ba	0,4	0,5	0,3	2,4	0,2	2,5	0,2
Be	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Zr	0,9	0,4	0,5	0,4	0,2	1,8	0,3
Nb	0,8	0,7	0,5	0,6	0,2	0,5	0,1
Li	0,3	0,3	0,2	0,5	0,2	0,3	0,2
W	1,5	1,3	1,4	0,6	2,0	1,8	2,4
Th	0,3	0,3	0,6	0,0	0,1	1,7	0,1
Hf	1,8	0,9	1,1	0,7	0,5	3,8	0,5
Cd	6,3	4,4	4,7	3,9	3,2	7,2	3,5
U	0,7	0,6	1,5	0,2	0,3	0,9	1,1
Ce	0,7	1,4	1,8	0,5	0,2	1,2	0,3
La	0,7	1,1	1,6	0,6	0,2	1,1	0,2
Pr	0,8	1,9	2,4	0,6	0,3	1,4	0,4
Nd	0,7	1,8	2,3	0,5	0,4	1,3	0,4
Sm	0,5	1,6	1,7	0,3	0,3	0,9	0,4
Eu	1,4	2,1	1,5	1,0	0,9	1,9	0,7
Gd	0,5	1,5	1,8	0,3	0,4	0,7	0,4
Tb	0,6	1,8	2,0	0,4	0,5	0,6	0,5
Dy	0,9	2,3	2,5	0,5	0,6	0,8	0,7
Ho	0,8	1,7	1,8	0,4	0,4	0,6	0,5
Er	1,4	2,7	2,8	0,7	0,8	1,0	0,8
Tm	2,7	4,1	4,7	1,2	1,2	1,7	1,2
Yb	1,9	2,4	2,9	0,8	0,8	1,2	0,8
Lu	0,9	1,0	1,1	0,4	0,3	0,5	0,3

Примечание. 1-7 – метасоматически измененные породы: 1 – амфиболит с сульфидами (скв. М 144-164,0 м); 2-3 – кристаллический сланец с сульфидами: 2 – скв. М 144-166,0 м; 3 – скв. М 144-167,0 м; 4 – плагиогнейс с сульфидами (скв. М 144-168,5 м); 5 – кристаллический сланец (скв. ОП 10-272,8 м); 6 – плагиогнейс с сульфидами (скв. ОП 10-349,5 м); 7 – кристаллический сланец (скв. ОП 11-232,8 м). Анализы выполнены во ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург, 2022 г.), аналитики В. А. Шишлов, В. Л. Кудряшов, Pb не определялся.

Минералогический анализ и микронзондовые аналитические исследования метасоматических пород позволили выявить следующие рудные и акцессорные минералы: магнетит, титаномагнетит, ильменит, гематит, сульфиды (пирит, пирротин, халькопирит, молибденит, антимонит, галенит, сфалерит, арсенопирит, марказит), монацит, апатит, перовскит, хризоколлу, циркон (рис. 8–10).

Химический состав окисно-рудных минералов – *ильменита и магнетита* (табл. 4) характеризуется незначительным содержанием примесей ванадия, марганца, хрома, магния, суммарное количество которых не превышает 3 %.

		
а Магнетит, ув. 3,2	б Титаномагнетит, ув. 3,2	в Гематит, ув. 2,5
		
г Халькопирит, ув. 2,0	д Пирротин, ув. 2,0	е Антимонит, ув. 4,0
		
ж Молибденит, ув. 4,0	з Перовскит, ув. 4,0	и Хризоколла, ув. 4,0

Рисунок 8 – Фото рудных минералов

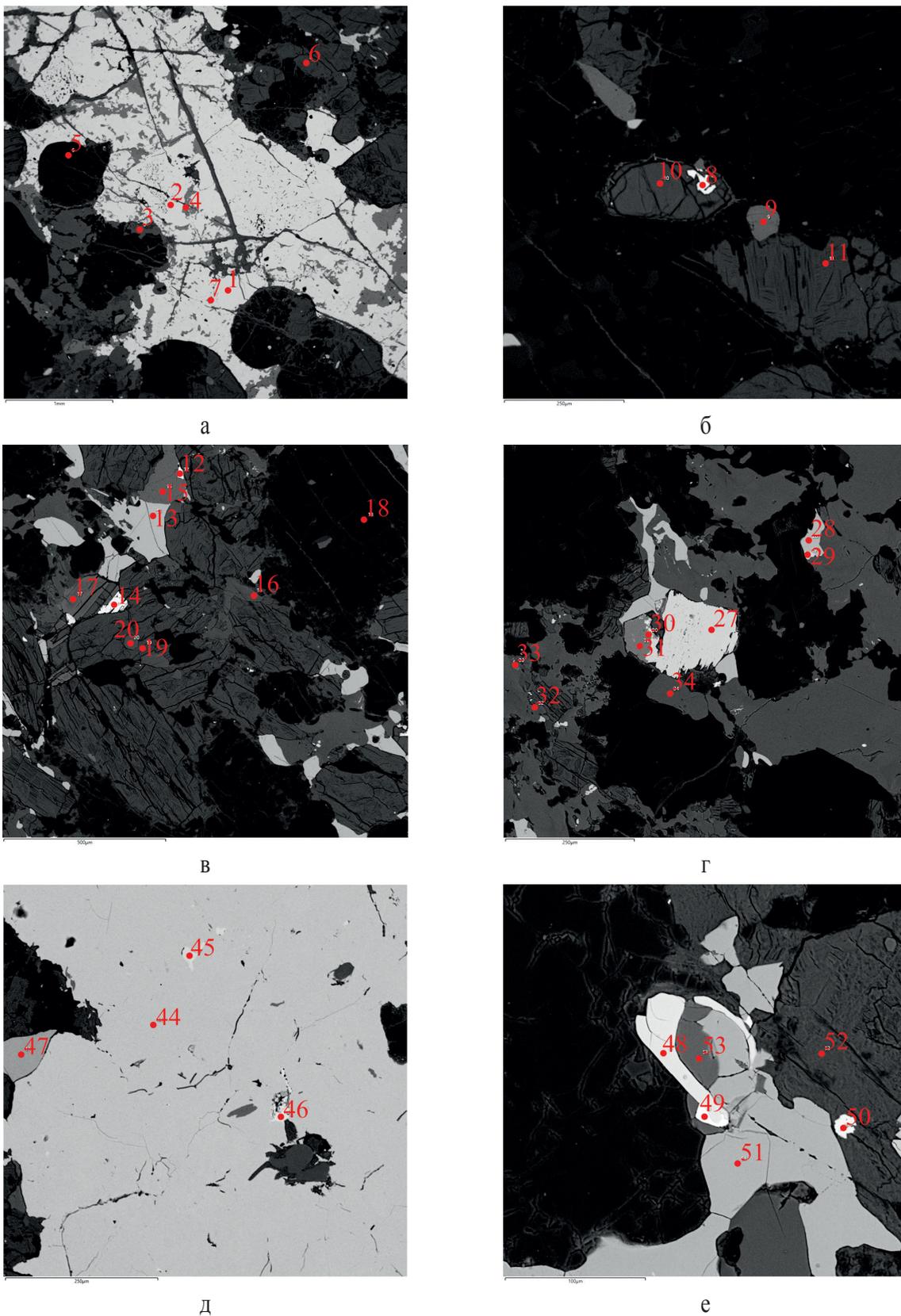


Рисунок 9 – Фото аншлифа метасоматически измененного кристаллического сланца, скв. М 144–166,0 м:
 спектры: 1, 2, 27, 44 – пирит; 4 – карбонат; 10, 34, 52 – хлорит; 8, 14, 19, 30, 50 – сфалерит; 20 – амфибол;
 12, 32, 33, 49 – монацит; 7, 45, 46 – халькопирит; 13, 28, 47, 51 – ильменит; 29 – магнетит;
 9, 15, 53 – апатит; 48 – циркон

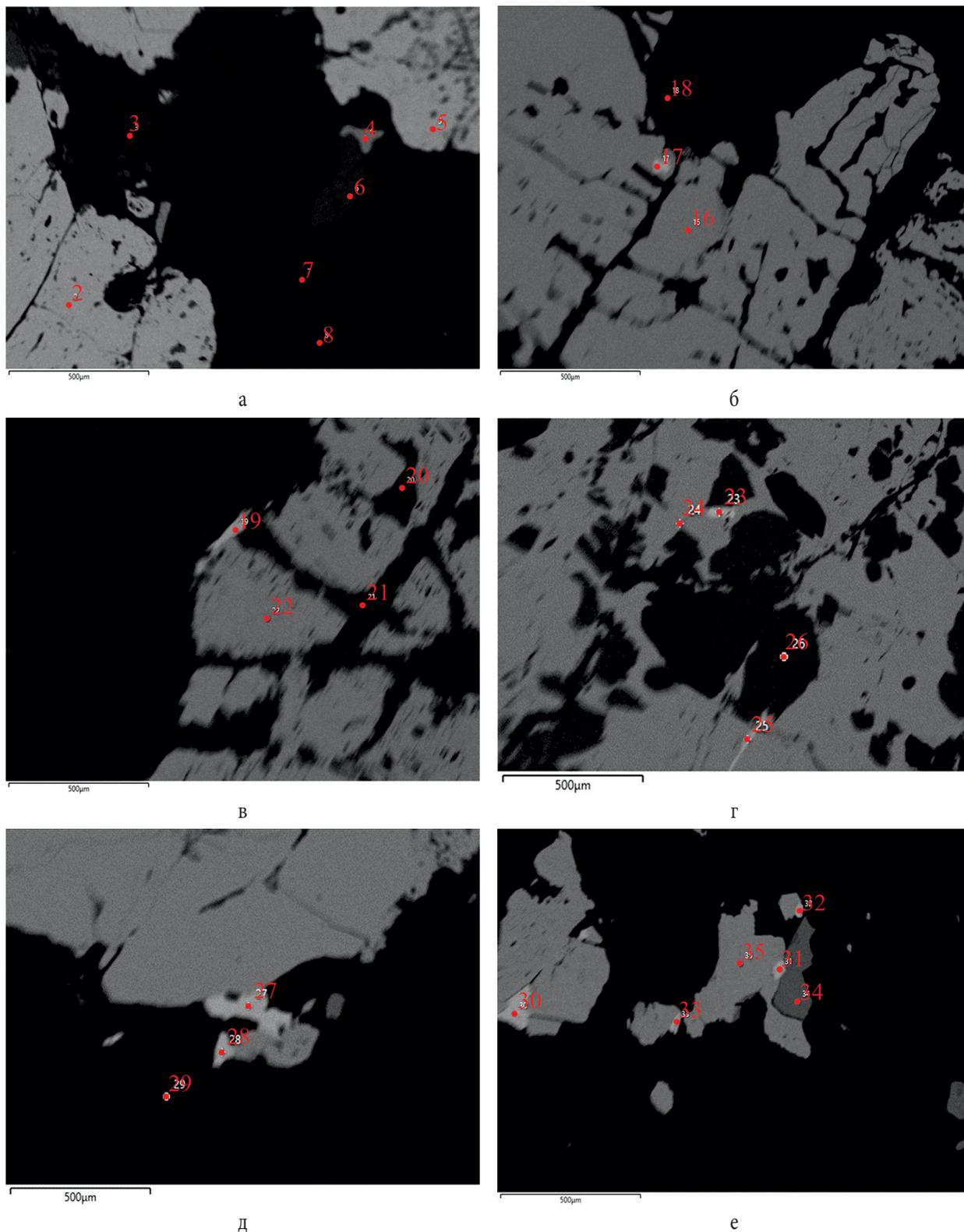


Рисунок 10 – Фото аншлафа метасоматически измененного кристаллического сланца, скв. М 144–167,0 м: спектры: 17, 23 – сфалерит; 19, 24, 25, 27, 28, 30, 31, 32, 33 – халькопирит; 26 – гетит; 29 – амфибол; 4, 34 – ильменит; 2, 5, 16, 22, 35 – пирит; 6 – апатит

В химическом составе сульфидных минералов – *пирита* (табл. 5), *халькопирита* и *сфалерита* (табл. 6) отмечается наличие таких примесей, как никеля (до 0,7 %), кобальта (до 0,7 %) и мышьяка (до 0,2 %) – в пирите; железа (до 4 %) и кадмия (до 0,2 %) – в сфалерите.

Химический состав аксессуарных минералов – апатита, монацита и циркона представлен в табли-

це 7. В *цирконе* присутствует примесь гафния (0,9 %), железа (0,24 %), а также наблюдается единичная примесь алюминия (0,1 %). Химический состав *апатита* соответствует фторапатиту [3] с содержанием фтора 1,1–4,1 %. В *монаците*, кроме основных элементов – редких земель и фосфора, содержится примесь алюминия (0,33 %), кальция (0,22 %) и неодима (3,9 %).

Таблица 4 – Химический состав (мас. %) ильменита и магнетита

Элемент	Ильменит			Магнетит	
	М 144–166,0 м		М 144–167,0 м	М 144–166,0 м	
	№ спектра				
	13	28	47	4	29
Ti	30,30	36,49	31,45	30,40	0,36
Fe	36,80	30,29	37,32	35,60	73,43
V	0,34	0,21	–	–	0,51
O	31,39	–	31,91	31,90	23,53
Mn	1,17	0,54	0,36	0,90	–
Mg	–	0,46	0,17	0,60	0,39
Al	–	0,16	–	0,20	0,52
Cr	–	–	–	–	0,26
Si	–	0,11	–	0,40	0,83
Ca	–	0,11	–	–	0,17
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Примечание. Здесь и далее анализы выполнены методом электронно-зондового микроанализа в лаборатории ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург). Аналитик О. А. Яковлева.

Таблица 5 – Химический состав (мас. %) пирита

Элемент	М 144–166,0 м			М 144–167,0 м			
	№ спектра						
	1	27	44	2	5	16	22
S	23,89	53,55	53,42	54,30	54,40	54,60	54,40
Fe	23,18	45,88	46,30	45,20	45,10	44,40	45,30
Co	0,65	0,29	0,20	–	–	0,10	–
Ni	0,04	0,11	0,07	0,50	0,40	0,70	0,30
O	49,24	–	–	–	–	–	–
As	–	0,17	–	–	0,10	0,20	–
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Таблица 6 – Химический состав (мас. %) халькопирита и сфалерита

Элемент	Халькопирит			Сфалерит		
	М 144–166,0 м		М 144–167,0 м	М 144–166,0 м		М 144–167,0 м
	№ спектра					
	7	46	19	8	14	17
S	35,55	35,15	37,40	32,86	33,10	36,40
Fe	30,83	30,74	30,50	2,80	3,20	3,80
Cu	33,62	34,12	32,10	–	–	–
Zn	–	–	–	64,12	63,70	59,79
Cd	–	–	–	0,21	0,01	–
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Таблица 7 – Химический состав (мас. %) акцессорных минералов

Элемент	Апатит		Монацит		Циркон
	М 144–166,0 м		М 144–167,0 м		М 144–166,0 м
	№ спектра				
	9	15	6	12	48
Ca	37,04	38,58	37,9	0,22	–
O	39,09	39,08	38,4	27,79	34,62
P	17,34	18,34	18,1	13,35	–
F	1,12	–	4,1	–	–
Cl	2,87	1,33	1,5	–	–
Fe	0,89	–	–	–	0,24
Al	0,33	–	–	0,33	0,1
Mg	0,46	–	–	–	–
Si	0,85	–	–	0,16	14,87
Zr	–	–	–	–	34,62
Hf	–	–	–	–	0,98
La	–	–	–	28,38	–
Ce	–	–	–	25,89	–
Nd	–	–	–	3,88	–
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Исходя из текстурно-структурных особенностей рудных минералов и их взаимоотношения между собой можно выделить три генерации: 1-я генерация представлена существенно магнетитом, ильменитом, реже пиритом и пирротинном; 2-я генерация – преимущественно сульфидная – пиритом, пирротинном и примесью марказита; 3-я наиболее поздняя генерация представлена галенитом, сфалеритом с примесью халькопирита, арсенопирита и марказита.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метасоматические породы участка «Ельня» характеризуются обогащенностью халькофильными, некоторыми сидерофильными, благороднометаллическими и редкоземельными элементами. Выявлены довольно высокие концентрации *Cr, Co, Pb, Zn, Cu, Ag, Mo*, превышающие кларковые значения по [1] в 8–18 раз, а *Tm* и *Cd* в 4–7 раз. Также отмечается повышенное содержание некоторых редкоземельных элементов (*Pr, Nd, Eu, Gd, Dy, Ho, Yb, Er*), превышающее величину кларка в 2–3 раза.

По своему типу проявление «Ельня» металлогенически специализировано на цветные и редкие металлы: свинец, цинк, медь, молибден, серебро, кобальт, кадмий и редкоземельные элементы: в большей степени тулий, а также иттербий, неодим, эрбий, диспрозий. Повышенные содержания серебра и кадмия являются типичными для рудопроявлений данного типа. Серебро довольно часто является примесью в минералах свинца (чаще в галените), а основная масса кадмия сосредоточена в минералах цинка, чаще всего в сфалерите.

Метасоматиты участка «Ельня» относятся к классу гидротермально-метасоматических с ведущей ролью проявления инфильтрационного и сопутствующего диффузионного метасоматоза. По характеру замещения исходных пород и в зависимости от геологической позиции рудопроявления «Ельня» тип метасоматоза определяется как контактовый, возникающий на контакте магматического тела (интрузии мостовского комплекса) и вмещающих пород. Преобразование сопровождается локальным перемещением петрогенных элементов с образованием существенных концентраций рудного вещества в составе рудных жил и метасоматических зон. Рудные интервалы на данном участке вскрыты на глубинах 165–340 м и представлены зонами прожилково-вкрапленной, гнездово-вкрапленной рудной минерализации.

Полученные результаты минералого-геохимического исследования метасоматитов позволили сделать вывод, что проявление «Ельня» относится к комплексному сульфидно-полиметаллическому рудопроявлению жильного типа. Подобные образования представляют собой класс среднетемпературных образований, формирование которых происходит при температурах 250–450 °С [2]. В результате остывания циркулирующих горячих минерализованных растворов происходит отложение минералов в ослабленных трещиноватых зонах. Источник флюида для образований такого типа минерализации часто связан с кислым и средним магматизмом. В случае с рудопроявлением «Ельня» вероятным источником флюида могли служить остывающие интрузии мостовского гранитоидного

комплекса, складаючыя два крупных масіва (Мостоский и Выгодский) вблизи изучаемого участка.

Руды данного типа характеризуются многообразием текстурно-структурных признаков, видов рудных минералов, значительным диапазоном колебаний размеров рудного вкрапления и отличаются от других формационных типов более легкой обогатимостью полезного компонента. В результате переработки таких руд есть возможность получать кондиционные медный, свинцовый и цинковый концентраты, а также сопутствующие серебро и редкий кадмий. В комплексных свинцово-цинковых рудах, содержащих примеси серебра, кадмия и других элементов, количество свинца и цинка (в сумме) должно быть не ниже 3 %, причем свинца не менее 1 %. На участке «Ельня» в некоторых пробах фиксируется суммарное содержание свинца и цинка от 0,8 до 1 %, из которых 0,6–0,7 % при-

ходится на цинк и 0,2–0,3 % на свинец. Наибольший интерес представляет тело, верхняя часть которого пробурена скважиной М 144, вскрывшей породы с богатой вкрапленностью сульфидов. Протяженность тела по простиранию составляет около 400 м при ориентировочной мощности около 30 м.

Можно сказать, что участок «Ельня», где породы фундамента залегают на небольшой глубине, является интересным и потенциальным объектом для поиска и обнаружения значительной концентрации полезных ископаемых. Приведенные выше данные свидетельствуют о перспективности данного рудопроявления и необходимости дальнейшего детального его изучения.

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг. (подпрограмма 10.4 «Белорусские недра»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Виноградов, А. П.** Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры / А. П. Виноградов // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–571.
2. **Коржинский, Д. С.** Избранные труды. Основы метасотатизма и метамагматизма / Д. С. Коржинский. – М. : Наука, 1993. – 239 с.
3. **Породообразующие минералы.** Т. 5. Несиликатные минералы / У. А. Дир [и др.]. – М. : Мир, 1966. – 408 с.
4. **Химические анализы горных пород кристаллического фундамента Белоруссии.** Справочник / А. М. Пап [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1988. – 243 с.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 14.09.2023

Рэцэнзент А. Г. Лапцэвіч

МІНЕРАЛАГА-ГЕАХІМІЧНЫЯ АСАБЛІВАСЦІ МЕТАСАМАТЫТАЎ КРЫШТАЛІЧНАГА ФУНДАМЕНТУ ЗАХАДУ БЕЛАРУСІ (УЧАСТАК «ЕЛЬНЯ»)

А. А. Талкачыкава, А. А. Піскун, М. П. Гурыновіч, Н. С. Завадзіч, А. І. Крывалап

Дзяржаўнае прадпрыемства «НВЦ по геалогіі»
Філіял «Інстытут геалогіі»
вул. Акадэміка Купрэвіча, 7, 220084, Мінск, Беларусь
E-mail: gmkf@geologiya.by, piskun_oleg@mail.ru, fundament@geologiya.by

Прадстаўлены вынікі даследавання малавывучаных метасаматычных парод участка «Ельня», размешчанага на захадзе крышталічнага фундаменту Беларусі. Выяўлены асаблівасці іх хімізму і заканамернасці размеркавання малых элементаў. Вызначаны ўмовы пераўтварэння зыходных парод. Зроблена выснова, што зменення пароды дадзенага ўчастка ставяцца да класа гідратэрмальна-метасаматычных з вядучай роляй праявы інфільтрацыйнага і спадарожнага дыфузійнага метасаматозу. Устаноўлена, што метасаматыты з'яўляюцца патэнцыйна руданоснымі на каляровыя і рэдкія металы. Праяўленне «Ельня» належыць да комплекснага сульфідна-поліметалічнага рудапраяўлення жылнага тыпу.

Ключавыя словы: крышталічны фундамент, участак «Ельня», метасаматыты, геахімія, рудапраяўленне.

POTENTIAL ORE CONTAINMENT OF EARLY PROTEROZOIC GRANITOIDS OF THE CRYSTALLINE BASEMENT OF THE WEST OF BELARUS

A. Tolkachikova, A. Piskun, M. Hurynovich, N. Zavadich, A. Kryvalap

State Enterprise “Research and Production Center for Geology”

Branch “Institute of Geology”

7 Akademika Kuprevicha St, 220084, Minsk, Belarus

E-mail: gmkf@geologiya.by, piskun_oleg@mail.ru, fundament@geologiya.by

The findings of the understudied metasomatic rocks investigation in the “Yelnya” site, located in the western part of the crystalline basement of Belarus, are presented. The peculiarities of their chemistry and the distribution of small elements patterns have been revealed. The conditions of the original rocks transformation have been determined. It is concluded that the altered rocks of this area belong to the class of hydrothermal-metasomatic rocks with the leading role of infiltration and accompanying diffusion metasomatism. It was found that metasomatites are potentially ore-bearing for non-ferrous and rare metals. The Yelnya occurrence belongs to a complex sulfide-polymetallic ore occurrence of the vein type.

Keywords: crystalline basement, “Yelnya” site, metasomatites, geochemistry, ore occurrence.