

## ПЕРВАЯ НАХОДКА БЛАГОРОДНОЙ ШПИНЕЛИ НА СВЕТЛИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ГОРНОГО ХРУСТАЛЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Кисин А. Ю., Поленов Ю. А., Огородников В. Н., Томила А. В.

Приводятся результаты исследований благородной шпинели из месторождения горного хрусталя, залегающего в метаморфизованных метапелитах. Это первая находка шпинели на данном месторождении. В ассоциации со шпинелью отмечены форстерит, тальк, серпентин, хлорит, графит и монацит. Минеральные ассоциации благородной шпинели Светлинского месторождения такие же, как в мраморах. Вероятное время формирования шпинели – ранний регрессивный этап метаморфизма ( $S_2$  и  $P_1$ ).

**Ключевые слова:** минералогия; драгоценные камни; Урал.

Светлинское месторождение горного хрусталя находится в 100 км к югу от г. Челябинска и в 40 км к юго-западу от г. Пласт. Месторождение начинает свою историю в 1939 году, с открытия Аннинской россыпи пьезокварца [1]. Месторождение активно разведывалось и обрабатывалось более 40 лет. В 1969 году один из авторов (Поленов Ю. А.) участвовал в геологоразведочных работах на одном из самых богатых участков месторождения – «Ко-

саревский-II». Для этого участка характерны цветные разновидности кварца (дымчатый кварц, цитрин и аметист), андалузит-кварцевые, дистен-силлиманит-кварцевые жилы, которые хорошо изучены и описаны [1–3]. Структурная позиция месторождения (по [4]) отражена на рис. 1.

**Материалы и методы.** В нашем распоряжении для исследований оказались два образца «андалузит-микроклинового агрегата»



Рис. 1. Дешифрирование космоснимка (Яндекс карты) Светлинского месторождения горного хрусталя и его окрестностей:

1 – зона надвига, разделяющая Кочкарский антиклинорий и Зауральский синклиниорий; 2 – зона тектонического срыва, разделяющая карбонатную толщу (моноклиналь) и метаморфические толщи сводовых поднятий; 3 – тектонические срывы, ограничивающие купольные структуры; 4 – преобладающие породы (Са – мраморы, Сл – кристаллические сланцы и амфиболиты); 5 – элементы залегания; 6 – контур месторождения горного хрусталя и участок «Косаревский-II».

размерами  $5 \times 3,5 \times 2$  и  $3,5 \times 1,5 \times 1,5$  см (рис. 2), отобранные Ю. А. Поленовым в 1969 году на участке «Косаревский-II», предположитель-

но из керна скважины 1985, с глубины 47,2 м. Скважина вскрыла жилу молочно-белого кварца мощностью около 15 см, залегающую

в ставролит-биотит-кварцевых сланцах. В лещае контакте жилы, в интервале 47,1–47,3 м описывается «андалузит-мусковитовый агрегат», ниже сменяющийся «полевошпат-хлоритовой породой».

При осмотре данных образцов смутил необычный вид «полевого шпата» (желтый, на рис. 2) – отсутствие спайности, а на гранях «андалузита» (темно-коричневый) наличие скульптур в виде равносторонних треуголь-



Рис. 2. Общий вид исследованных образцов

ников. По внешним признакам они были диагностированы как форстерит и шпинель, соответственно. Крупночешуйчатый минерал серовато-серебристого цвета с совершенной спайностью в одном направлении и с включениями чешуек графита визуально был диагностирован как флогопит. Рентгеноструктурный анализ, выполненный в Института геологии и геохимии УрО РАН, подтвердил диагностику форстерита и шпинели, а светлый чешуйчатый минерал оказался тальком. Из наиболее крупного образца была вырезана пластина и изготовлен полированный прозрачный шлиф, который исследовался под микроскопом оптическими методами.

Основные виды лабораторных исследований проведены на базе Центра коллективного пользования «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН. Для изучения морфологии и внутреннего строения минералов и агрегатов, получения их изображения в режимах обратно рассеянных электронов или в режиме топографии, а также для определения их состава использован электронный сканирующий микроскоп *JSM-6390LV (JEOL)* с энергодиспер-

сионной приставкой *INCA Energy 450 X-Max 80* фирмы *Oxford Instruments* (аналитик С. П. Главатских). Состав минералов изучался на волновом рентгеновском микроанализаторе *CAMECA SX-100* с пятью спектрометрами, дополнительно оснащенном энергодисперсионной приставкой (аналитик Д. А. Замятин).

#### Результаты исследований и обсуждение.

**Шпинель.** Представлена обломками кристаллов октаэдрического габитуса размером до 4 см по наибольшему измерению. Цвет коричневатопурпурный (цвет алмадина), в массе кажется очень темным. Прозрачная, но очень трещиноватая. В качестве особенностей отметим отдельность, которую можно принять за совершенную спайность или за отдельность в корунде. По трещинам часто наблюдаются темно-коричневые непрозрачные пленки (возможно, гематита) и крупночешуйчатый тальк. Тальк обычно отделяет шпинель от форстерита (рис. 3). Для этой шпинели характерны газово-жидкие включения и негативные кристаллы октаэдрического облика (рис. 4). Химический состав шпинели



приведен в табл. 1. Как следует из таблицы, шпинель содержит небольшую примесь  $TiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $V_2O_5$ ,  $MnO$ ,  $NiO$  (0,0n вес. %),  $ZnO$  до

0.19 и  $FeO$  до 1.59 вес. %, что близко к составу некоторых шпинелей месторождения Кухи-Лал [5, 6, 9] и Горон [7] на Памире. Хотя

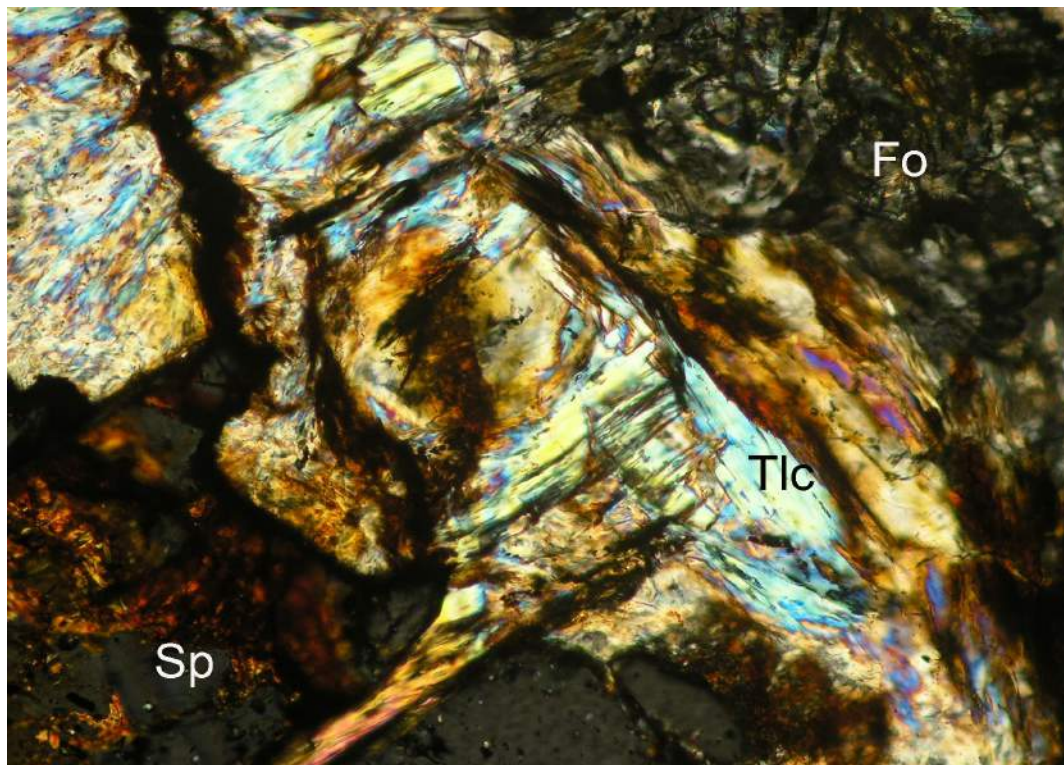


Рис. 3. Характер контакта шпинели с форстеритом. Шлиф. Ув. 10х. Ник. Х.  
Sp – шпинель, Fo – форстерит, Tlc – тальк.

хром в составе данной шпинели анализами установлен, но в УФ-лучах она инертна. Ве-

роятно, примесь железа подавляет люминесценцию, как это бывает в рубинах.

Таблица 1

**Химический состав шпинели участка «Косаревский-II» (вес.%)**

№ анализа	Оксиды											Сумма
	$SiO_2$	$TiO_2$	$Al_2O_3$	$Cr_2O_3$	$V_2O_5$	$FeO$	$MnO$	$MgO$	$CaO$	$NiO$	$ZnO$	
68	0,04	0	69,79	0	0,08	1,09	0,01	27,77	0,01	0,04	0,19	99,02
69	0,05	0,01	69,84	0,03	0,04	1,59	0,05	27,07	0	0	0,17	98,86
70	0,01	0,02	69,93	0,06	0,07	1,13	0	27,61	0	0,07	0,13	99,03

№ анализа	Атомный процент											Сумма
	Si	Ti	Al	Cr	V	Fe	Mn	Mg	O	Ni	Zn	
68	0,01	0	28,28	0	0,02	0,31	0	14,23	57,08	0,01	0,05	100
69	0,02	0	28,41	0,01	0,01	0,46	0,02	13,93	57,12	0	0,04	100,02
70	0	0,01	28,34	0,02	0,02	0,32	0	14,15	57,1	0,02	0,03	100,01

**Форстерит.** Представлен крупными бесцветными прозрачными, но сильно трещиноватыми зернами. Бездефектные участки не превышают 1 мм по наибольшему измерению. По трещинам форстерит замещается мелкозернистым серпентином желто-зелено-

го цвета, придающим всему зерну аналогичную окраску (см. рис. 1) и сетчатую структуру (рис. 5). К жилкам серпентинита обычно приурочены чешуйки графита, иногда образующие плотные скопления. В качестве включений в форстерите отмечены негативные

кристаллы, образующие цепочки, возможно, фиксирующие залеченные трещинки (рис. 6). В УФ длинноволновых лучах фосфорит люминесцирует бледно-розовым цветом. Хи-

мический состав минерала приведен в табл. 2. Хром и ванадий не выявлены, содержание FeO (Fe общее) в данном форстерите составляет 1,88–2,13 вес. % (маложелезистый).

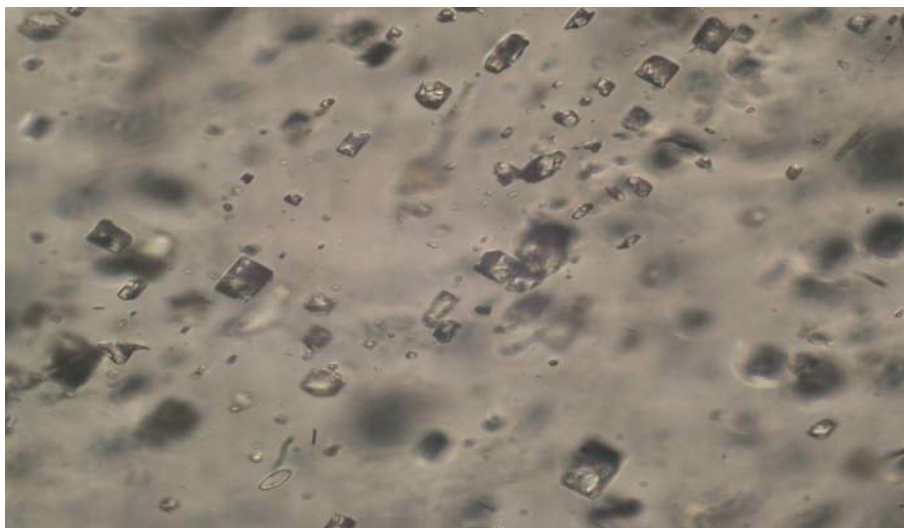


Рис. 4. Включения негативных кристаллов в шпинели. Шлиф. Ув.50х. Ник. П.

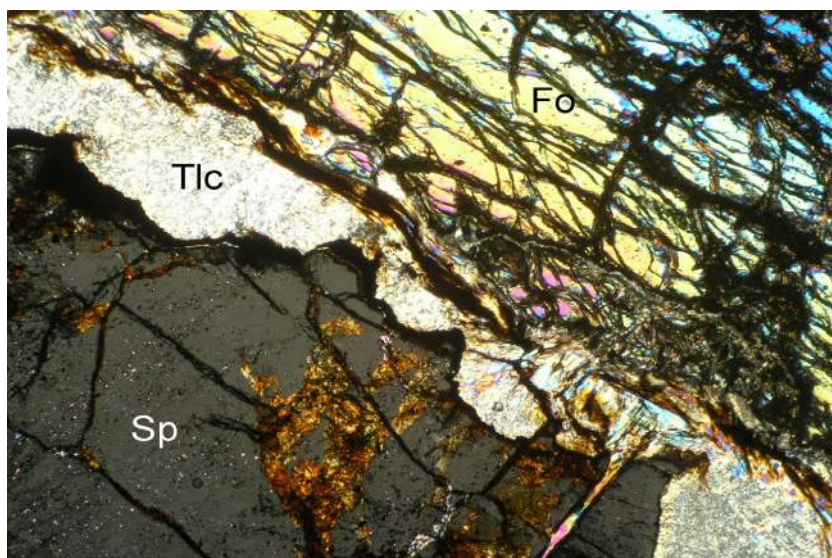


Рис. 5. Шпинель-форстеритовый агрегат с тальком. Шлиф. Ув. 2.5х. Ник. Х. Sp – шпинель, Fo – форстерит, Tlc – тальк. Темные жилки в форстерите – серпентин

Таблица 2

**Химический состав форстерита Светлинского месторождения (вес.%)**

№ анализа	Оксиды									Сумма
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	
77	42,9	0,03	0,02	0	0	1,88	0,03	55,22	0	100,08
78	42,72	0,01	0	0	0	2,13	0,01	54,92	0,02	99,8

№ анализа	Атомный процент										Сумма
	Si	Ti	Al	Cr	V	Fe	Mn	Mg	Ca	O	
77	14,47	0,01	0,01	0	0	0,53	0,01	27,77	0	57,24	100,03
78	14,47	0	0	0	0	0,6	0	27,74	0,01	57,23	100,05

**Хлорит.** Наблюдается в виде тонкозернистой просвечивающей массы, цементирующей кристаллы талька. Цвет зеленовато-серый до желто-зеленого. Массивный. Иногда содержит

скопления графита. Химический состав хлоритов приведен в табл. 3. Под электронным микроскопом в хлорите установлены скопления монацита, обогащенного Ce, La, Pr, Nd (табл. 4).

Таблица 3

Химический состав хлоритов (вес. %)

№ анализа	Оксиды											Сумма
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	
72	30,45	0,14	19,7	0,03	0,01	0,42	0	31,72	0	0	0,01	82,48
73	30,25	0,11	20,8	0,02	0,05	0,32	0	31,3	0	0	0,04	82,88
74	31,01	0,06	19,96	0,11	0,04	0,28	0	32,3	0,01	0,02	0,05	83,83
78	28,56	0,08	20,48	0,17	0,01	0,62	0	32,44	0,03	0,02	0,02	82,43

№ анализа	Атомный процент											Сумма	
	Si	Ti	Al	Cr	V	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K		O
72	12,43	0,04	9,48	0,01	0	0,14	0	19,3	0	0	0	58,61	100,02
73	12,28	0,03	9,95	0,01	0,02	0,11	0	18,94	0	0	0,02	58,65	100,02
74	12,45	0,02	9,44	0,04	0,01	0,09	0	19,33	0	0,02	0,02	58,59	100,01
78	11,69	0,02	9,88	0,05	0	0,21	0	19,78	0,01	0,01	0,01	58,33	100,01

Таблица 4

Химический состав монацита (вес.%)

№ спектра	O	P	La	Ce	Pr	Nd	Сумма
10	23,85	13,79	20,16	30,31	2,51	9,39	100
11	21,32	13,44	20,43	30,66	3,45	10,71	100
12	21,7	13,36	22,18	30,32	3	9,44	100

**Обсуждение.** Насколько нам известно из литературных источников [5, 8, 9 и др.], благородная шпинель и форстерит на месторождениях горного хрусталя прежде не встречались. Тем более что на месторождении распространены ставролит-биотит-кварцевые, биотит-полевошпат-кварцевые сланцы и амфиболиты. На площади Кочкарского антиклинория благородная шпинель в ассоциации с форстеритом, норбергитом, рубином, графитом и другими минералами известна в Mg-кальцитовых и доломит-кальцитовых мраморах [10]. На Светлинском месторождении горного хрусталя карбонатные породы не отмечались. Однако в одном из изученных нами образцов шпинель-форстеритового агрегата имеется зерно карбоната 10 мм поперечником (характерная спайность), которое не реагирует на 10 % раствор соляной кислоты. Исследования под электронным микроскопом показали, что это магnezит с приме-

сью доломита. Карбонат выполняет каверну на границе форстерита и талька; поверхность ксеноморфная. Цвет серовато-белый, полупрозрачный. Наблюдаются редкие включения графита. Карбонат не деформирован, в отличие от форстерита и, судя по этим признакам, отложился позднее его из гидротермальных растворов.

Ассоциация шпинели с магnezитом, доломитом, форстеритом, графитом, тальком, серпентином весьма близка к ассоциации благородной шпинели месторождения Кух-и-Лал [5–7, 9]. Ввиду отсутствия на Светлинском месторождении карбонатных пород магnezитового или доломитового состава предполагается, что Mg в систему был привнесен. Ранее для рубиноносных мраморов Кучинского и Чуксинского проявлений было установлено, что Mg-метасоматоз имел место на раннем прогрессивном этапе метаморфизма и повторился на раннем регрессивном этапе [10, 11].



С первым этапом Mg-метасоматоза связано образование шпинели 1 типа ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до 20 вес. %), а со вторым – шпинели 2 типа ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до

2,2 вес. %). Шпинель 2 типа ассоциирует с форстеритом, норбергитом, бесцветным флогопитом и графитом. Шпинель Светлинского

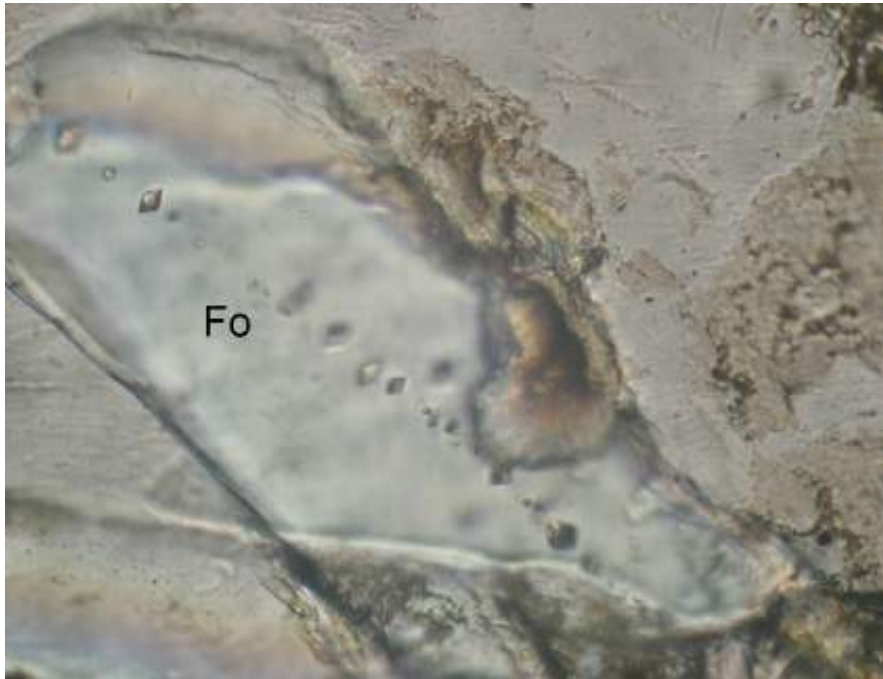


Рис. 6. Негативные кристаллы в форстерите. Шлиф. Ув. 50х. Ник. X

месторождения близка к шпинели 2 типа и по химическому составу, и по минеральным ассоциациям. Вероятно, она также образовалась на раннем регрессивном этапе (сброс стрессовых напряжений, скачок температур, изменение флюидного режима). Алюминий в систему также привносился. К такому мнению независимо пришли по Светлинскому месторождению Ю. А. Поленов [1], а по рубиноносным мраморам Кочкарского антиклинория – А. Ю. Кисин [4, 10]. С кварцевыми жилами Светлинского месторождения ранее описывались корунд и такие высокоглиноземистые минералы как андалузит, силлиманит и кианит [1–3]. Мелкие зерна рубина были обнаружены и описаны Е. В. Бурлаковым в гнездовом выполнении хрусталеносных жил Неройского района Приполярного Урала. Рубин здесь ассоциирует с кальцитом, что сбли-

жает его с рубинами, приуроченными к мраморам.

Итак, благородная шпинель на месторождении горного хрусталя, залегающего среди метаморфизованных метапелитов, описана впервые. Возможно, что часть «андалузит-микроклиновых агрегатов» на Светлинском месторождении, вскрытых скважинами и горными выработками, также являются шпинель-форстеритовыми агрегатами. Минеральные ассоциации благородной шпинели Светлинского месторождения мало отличаются от минеральных ассоциаций благородной шпинели в мраморах, включая ассоциации всемирно известного месторождения Кух-и-Лал на Памире. Вероятное время формирования шпинели на Светлинском месторождении – ранний регрессивный этап метаморфизма, который имел место на рубеже  $S_2$  и  $P_1$ .

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поленов Ю. А. Эндогенные кварцево-жильные образования Урала. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008. 269 с.
2. Вертушков Г. Н. Андалузит, силлиманит, кианит и корунд из кварцевых жил Южного Урала // Зап. ВМО. 1948. Т. 77. № 2. С. 142–146.
3. Огородников В. Н., Сазонов В. Н., Поленов Ю. А. Минералогия шовных зон Урала. Ч. 1. Кочкарский руд-

ный район (Южный Урал). Екатеринбург: УГГА, 2004. 216 с.

4. Кисин А. Ю. Закономерности размещения и прогноз месторождений полезных ископаемых на основе модели блоковой складчатости: дис. ... докт. геол.-минерал. наук. ПГУ, г. Пермь, 2009. 356 с.

5. Петрова З. И., Левицкий В. И., Гормашева Г. С. Химические особенности шпинели формации магнезиальных скарнов. Зап. ВМО. Ч. CVIII. Вып. 4. 1979. С. 454–465.

6. Литвиненко А. К. Генетическая позиция благородной шпинели в магнезиальных скарнах Юго-Западного Памира // Зап. РМО. 2003. Ч. CXXXII. № 1. С. 76–82.

7. Aparyev S. A., Konovalenko S. I. Morphological and gemological features of gem-quality spinel from the Goron deposit, southwestern Pamirs, Tajikistan // The Journal of Gemmology. 2012. V. 33. № 1–4. P. 15–18.

8. Киевленко Е. Я., Сенкевич Н. Н., Гаврилов А. П. Геология месторождений драгоценных камней. М.: Недра, 1974. 328 с. (1982. 279 с.)

9. Колесникова Т. А. Благородная шпинель, клиногумит и манассеит месторождения Кухилал (Памир) // в сб.: Драгоценные и цветные камни. М.: Наука, 1980. С. 181–199.

10. Кисин А. Ю. Месторождения рубинов в мраморах (на примере Урала). Свердловск: Изд. УрО АН СССР, 1991. 130 с.

11. Кисин А. Ю. Роль метасоматических процессов в формировании рубиноносных мраморов // XVIV Всерос. науч. конф «Уральская минералогическая школа – 2013»: сб. статей. Екатеринбург: Изд. ИГТ УрО РАН, 2013. С. 62–66.

12. Бурлаков Е. В. Минералогия кварцево-жильных месторождений и минералого-геохимические признаки рудообразующих тектонических разрывов (на примере Неройского района Приполярного Урала): дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Сыктывкар, 1989. 210 с.

*Работа выполнена в рамках Программы Президиума УрО РАН № 15-11-5-17.*

Поступила в редакцию 30 июня 2015 г.

**Кисин Александр Юрьевич** – доктор геолого-минералогических наук, зав. лабораторией геохимии и рудообразующих процессов. 620075, Екатеринбург, пер. Почтовый, 7, Институт геологии и геохимии УрО РАН. E-mail: kissin@igg.uran.ru

**Поленов Юрий Алексеевич** – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.

**Огородников Виталий Николаевич** – доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой геологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.

**Томилина Алена Вячеславовна** – аспирантка. 620075, Екатеринбург, пер. Почтовый, 7, Институт геологии и геохимии УрО РАН.