

## **Рудная и акцессорная минерализация в отложениях южной части Уринского антиклинория**

Г.С. Анисимова\*, К.К. Стручков\*\*

\*Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г.Якутск

\*\*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.Аммосова, г.Якутск

*В пределах южной части Уринского антиклинория стратотипические разрезы, представленные обнажениями осадочных пород верхнего рифея, венда и нижнего кембрия на левом берегу р. Лены между устьями ручьев Тербяс и Трехверстный, в 4,5 км выше пос. Нохтуйск, образуют уникальный, хорошо изученный геологический объект, называемый Нохтуйским опорным разрезом. Уникальность разреза заключается в том, что ряд стратиграфических подразделений верхнего рифея, венда и нижнего кембрия здесь обнажен полностью и легко доступен для изучения. В данном сообщении приводятся результаты выявления уровня концентрации элементов-примесей и присутствия рудной и акцессорной минерализации в породах описываемого разреза. Как показали исследования, рудная минерализация, представляющая наибольший практический интерес, выполнена халькопиритом, Ni-содержащим пиритом, галенитом и самородным серебром. Акцессорные минералы представлены бадделеитом, цирконом, цирконолитом, апатитом, ильменитом и Mn-ильменитом, гематитом, редким минералом – бисмоклитом. Выявлены единичные значительные концентрации золота в известняках (до 4,47 г/т) и измененных карбонатно-сульфидно-Fe-оксидных рудах (2,25 г/т), концентрация рудогенных элементов выше в долерите. Руды относятся к Cu-Fe-Ni минералогическому типу.*

Ключевые слова: Уринский антиклинорий, Нохтуйский опорный разрез, силлы, габбро-долериты, доломиты, известняки, рудная и акцессорная минерализация, золотоносные карбонатно-сульфидно-Fe-оксидные руды.

## **Ore and Accessory Mineralization in the Sediments of the Southern Part of Urinsky Anticlinorium**

G.S. Anisimova\*, K.K. Struchkov\*\*

\*Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Yakutsk

\*\*M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk

*Within the southern part of Urinsky anticlinorium the stratigraphic sections, presented by outcrops of sedimentary rocks of the Upper Riphean, Vendian and Lower Cambrian on the left bank of the river Lena between the mouths of creeks Terbyas and Trehverstny, 4.5 km above the village Nohtuysk, form a unique, well-studied geological entity called Nohtuyskiy reference section. Uniqueness of the section is in the fact that a number of stratigraphic units of the Upper Riphean, Vendian and Lower Cambrian are fully exposed and easily accessible for study. In this report the results of detection of trace elements concentration level and of the presence of ore and accessory mineralization in rocks of the described section are given. The study has shown ore mineralization, representing the greatest practical interest, made by chalcopyrite, pyrite, galena, bismite and native silver. Accessory minerals are represented by baddeleyite, zircon, zirconolite, apatite, ilmenite and Mn-ilmenite, hematite, a rare mineral - bismoclite. Few significant concentrations of gold in limestone (up to 4.47 g / t) and altered carbonate-sulphide-Fe-oxide ores (2.25 g / t) are revealed. Concentration of ore genetic elements is higher in dolerite. The ores belong to Cu-Fe-Ni mineralogical and geochemical type.*

Key words: Urinsky anticlinorium, Nohtuysky reference section, sills, gabbro-dolerite, dolomite, limestone, ore and accessory mineralization, gold-bearing carbonate-sulphide-Fe-oxide ores.

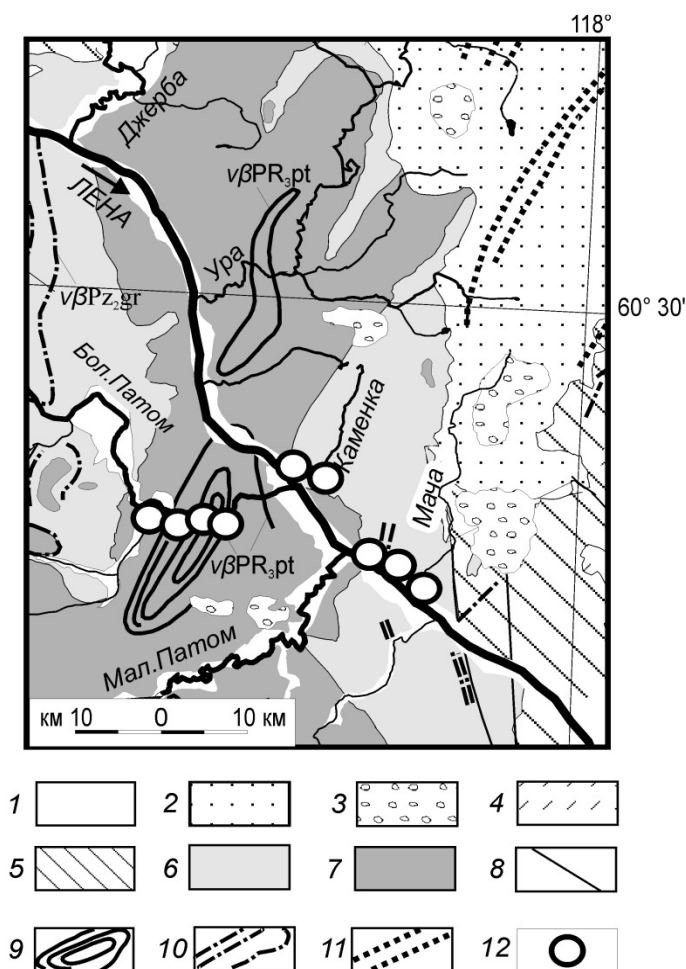
### Введение

Уринский антиклинорий расположен в зоне сочленения Сибирской платформы с Байкало-Патомским складчато-надвиговым поясом и прослеживается в северо-восточном направлении от низовьев р. Бол. Патом в бассейн р. Уры, а в юго-восточном – от низовьев р. Джербы до устья р. Мачи (рис.1). В пределах южной части антиклинория стратотипические разрезы, представленные обнажениями осадочных пород верхнего рифея, венда и нижнего кембрия на левом берегу р. Лены между устьями ручьев Тербяс и Трехверстный, в 4,5 км выше пос. Нохтуйск, образуют уникальный, хорошо изученный геологический объект, называемый Нохтуйским опорным разрезом [3, 6]. Уникальность разреза заключается в том, что ряд стратиграфических подразделений верхнего рифея, венда и нижнего кембрия здесь обнажен полностью и легко доступен для изучения. Благодаря

этому, для выяснения спорных вопросов стратиграфии древних отложений Нохтуйский опорный разрез неоднократно посещали советские, зарубежные и смешанные геологические экспедиции и комиссии, а также породы всесторонне изучались многими геологами [2, 4, 5, 8].

### Минералого-геохимические особенности отложений

Магматические образования в пределах Нохтуйского опорного разреза представлены двумя гипабиссальными пластовыми интрузиями долеритов и габбро-долеритов, залегающими согласно с вмещающими карбонатными породами. Они залегают в основании лимпейской свиты нижнего кембрия и разделены друг от друга 40-метровой пачкой переслаивания темно-серых, серых известняков и желтовато-серых, светло-серых доломитов.



**Рис. 1. Схематическая геологическая карта Уринского антиклинория (составлена Е.Г.Глушковой [2] на основе [7]):**  
 1–7 – отложения: 1 – четвертичные, 2 – неоген-четвертичные, 3 – юрские, 4 – силурийские, 5 – ордовикские, 6 – раннекембрийские, 7 – метаморфизованные позднепротерозойские; 8 – разрывные нарушения; 9–10 – интрузии: 9 – позднепротерозойские силлы патомского комплекса ( $v\beta PR_3pt$ ), 10 – среднепалеозойские силлы и дайки жаровского комплекса ( $v\beta Pz_2gr$ ); 11 – линейные магнитные аномалии над дайками, не обнажающимися на дневной поверхности; 12 – район работ авторов

# РУДНАЯ И АКЦЕССОРНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ОТЛОЖЕНИЯХ

Долериты, слагающие силлы, представляют собой породы зеленовато-серого, темно-серого с зеленоватым оттенком цвета массивной текстуры. В узких эндоконтактных зонах структура пород афанитовая, тонкозернистая, а в центральной части силла – среднезернистая до крупнозернистой. Они состоят из моноклинного пироксена – авгита и основного плагиоклаза – лабрадора. Вторичные минералы представлены зеленовато-бурой роговой обманкой, хлоритом, также встречаются кальцит и гидроксиды железа. Контактново-метасоматическое воздействие долеритов на вмещающие карбонатные породы достаточно интенсивное и выражается в мраморизации и хлоритизации известняков и доломитов. Мощность нижнего силла имеет около 80 м,

а верхнего – 70 м. Средние составы магматических и осадочных пород и содержание элементов-примесей приводятся в табл. 1.

Основной базитовый магматизм района связан с активным проявлением среднепалеозойского тектономагматического цикла. На смежной территории Ангаро-Ленского прогиба однотипные по геологическому положению силлы долеритов по радиологическим данным охватывают интервал 370–430 млн. лет.

В то время как стратиграфия, палеонтология и петрография достаточно полно изучены, вопросы минерализации и геохимии этих отложений до сих пор оставались не затронутыми. Данная статья в какой-то мере восполняет этот пробел. Здесь приводятся результаты выявления уровня кон-

Т а б л и ц а 1

Средний состав пород Нохтуйского опорного разреза

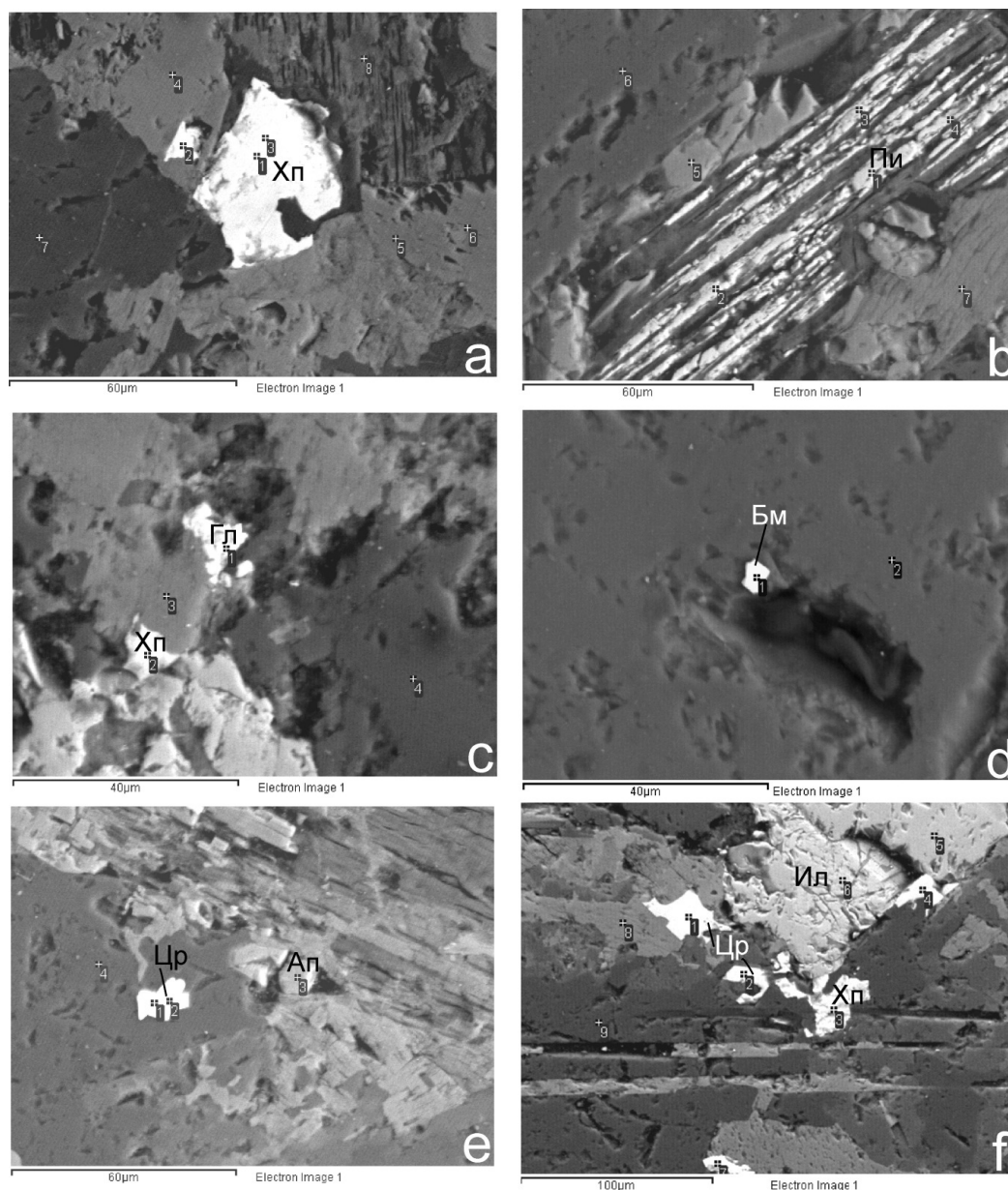
Компоненты, вес. %	Габбро-долерит	Доломит	Доломит окварцованный	Известняк	Известняк окварцов.	Известняк хлоритиз.	Карбонатно-сульфидно-Fe-оксидная руда
SiO <sub>2</sub>	47,54	1,74	12,79	6,17	15,80	14,80	9,46
TiO <sub>2</sub>	1,92	0,02	0,10	0,02	0,07	0,10	0,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,50	0,40	2,53	0,21	1,69	2,16	2,63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,90	0,27	1,36	0,18	0,43	0,48	45,24
FeO	5,68	0,43	0,57	0,29	0,55	0,57	0,86
MnO	0,20	0,06	0,04	0,03	0,04	0,11	0,02
MgO	7,51	16,30	14,72	0,79	4,30	7,24	6,39
CaO	9,81	35,42	29,06	51,32	42,77	41,07	8,82
Na <sub>2</sub> O	1,80	0,11	0,09	0,03	0,14	0,07	0,06
K <sub>2</sub> O	1,12	0,10	0,53	0,13	0,10	0,04	0,55
H <sub>2</sub> O-	1,05	0,23	0,34	0,16	0,34	0,37	1,16
H <sub>2</sub> O+	1,77	0,95	1,28	0,81	1,45	2,48	3,66
Ppp	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,22	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01
CO <sub>2</sub>	2,83	44,01	36,59	39,75	32,42	30,69	11,35
Li <sub>2</sub> O	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Rb <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S сульфидн.	0,03	0,03	0,04	0,09	0,04	0,03	11,64
SO <sub>3</sub>	0,01	0,03	0,05	0,06	0,05	0,08	4,20
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Сумма	99,97	99,82	99,74	99,82	99,87	99,92	99,24
Элементы-примеси, г/т							
Ni	82,52	6,00	18,43	8,77	12,73	14,10	14,10
Co	34,30	3	5,83	4,67	5,59	5,23	113,042
Cu	115,88	3,94	5,78	1,28	5,463	8,741	62,367
Zn	123,33	6,52	6,36	6,67	7,83	7,77	68
Pb	13,1	<5	<5	<5	<5	<5	69
Au	0,011	0,003	0,003	1,12	0,005	0,003	2,253
Ag	0,026	0,03	0,01	0,067	0,003	0	0,356
Fe	6,97		1,76		1,26	1,28	>10

**Примечание.** Анализы выполнены в ИГАБМ СО РАН: состав пород – силикатный, элементы-примеси – атомно-абсорбционный и спектральный анализы. Аналитики Дьяконова С.Е., Санникова А.Е., Коркина С.Ю.

центрации элементов-примесей и присутствия рудной и акцессорной минерализации в породах описываемого разреза. Содержания элементов определены в ИГАБМ СО РАН атомно-абсорбционным и полуколичественным спектральными методами, а также на анализаторе многоканального атомно-эмиссионных спектров (аналитики Санникова А.Е., Коркина С.Ю.). Состав минералов диагностирован на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6480LV с энергетическим спектрометром фирмы OXFORD (аналитики Попова С.К., Карпова С.А.).

**Рудная минерализация.** Как показали исследования, рудная минерализация, представляющая наибольший практический интерес, выполнена халькопиритом, Ni-содержащим пиритом, галенитом и самородным серебром [1].

*Халькопирит*,  $CuFeS_2$ , наиболее распространенный сульфид. Наблюдается во вмещающих осадочных породах: доломитах и известняках. Образует обособленные выделения или сростки с пиритом, ильменитом (рис.2, а, с, ф). Данный минерал по составу характеризуется низкими содержаниями Fe, но более высокими значениями Cu (табл.2).



**Рис. 2. Включения минералов в доломите:** а – халькопирита (Хп); б – Ni-содержащего пирита; с – халькопирита (Хп) и галенита (Гл); d – бисмута (Бм); e – циркона (Цр) и апатита (Ап); f – тесного срастания ильменита (Ил), циркона (Цр) и халькопирита (Хп)

Средние составы рудных минералов

Минерал	Ag	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	S	O	Сумма
Самородное серебро	101,1								101,1
Халькопирит		35,11	30,5				34,89		100,50
Ni- пирит			43,7	5,3			51,15		100,15
Cu-Fe-Zn- галенит		3,41	5,04		72,9	5,7	13,18		100,23

**Примечание.** Анализы выполнены в ИГАБМ СО РАН на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6480LV с энергетическим спектрометром фирмы OXFORD. Аналитик Карпова С.А.

*Ni-содержащий пирит,  $FeS_2$* , распространен в доломитах. Образует удлинённые кристаллы, разъеденные гидроксидами железа (рис.2, b). Отмечается часто в ассоциации с халькопиритом. По химическому составу минерал обеднен Fe, но выделяется значительными концентрациями Ni (до 6%), что говорит о том, что мы наблюдаем сульфидную ассоциацию относительно глубоких горизонтов разреза (табл.2).

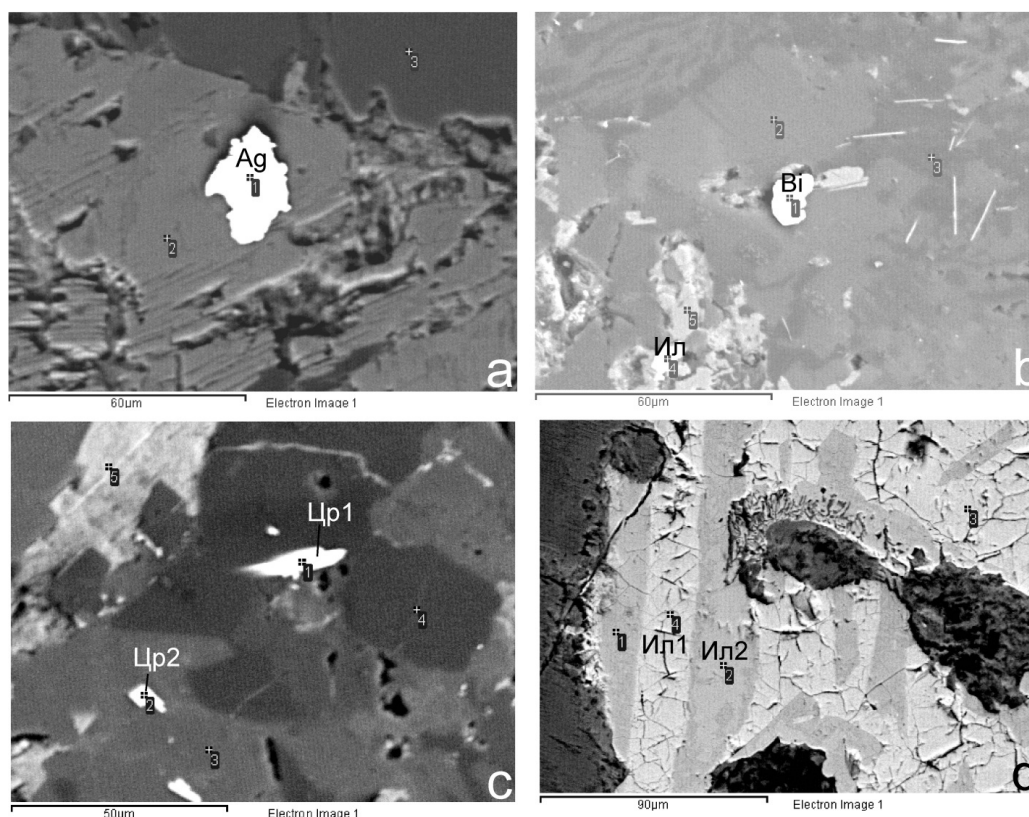
*Галенит,  $PbS$* , спорадический минерал. Мельчайшие единичные вкрапления минерала в тесной ассоциации с халькопиритом отмечаются в доломитах (рис.1, c). В составе галенита присутствуют примеси Fe и Cu, что обусловлено соседством с халькопиритом и Zn (табл. 2).

*Самородное серебро, Ag*. В габбро-долерите обнаружено ксеноморфное зерно самородного

серебра, достоверность выделения которого вызывает некоторые сомнения (рис.2, a). Не исключено что это техногенное заражение. По составу это 100% Ag (табл.2).

*Акцессорные минералы* отмечены в виде бадделеита, циркона, цирконолита, ильменита, апатита и редких минералов бисмоклита, силленита.

*Минералы циркона* представлены бадделеитом,  $ZrO_2$ , цирконом,  $ZrSiO_4$ , цирконолитом,  $(Ca, Ce)Zr(Ti, Nb, Fe)_2O_7$ , которые встречаются как в доломитах, так и габбро-долерите. Из них наиболее распространен циркон. Минералы тесно ассоциируют с ильменитом, апатитом и халькопиритом (рис.2, e, f, рис.3, c). В бадделеите отмечаются незначительные концентрации Fe, Hf, Ti, Si, составы остальных минералов Zr стехиометричны (табл.3).



**Рис. 3. Включения минералов в долерите:** а – самородного серебра (Ag); б – силленита (Bi); в – титанистого (Цр1) и железистого (Цр2) циркона; d – чередование собственно ильменита (Ил1) и марганцовистого ильменита (Ил2)

Химический состав аксессуарных минералов

Минерал	O	Si	Hf	Fe	Ti	Zr	Ce	Nd	Bi	Cl	F	Mn	Ca	P	Сумма
Бадделеит	27,72					72,47									100,19
Fe-бадделеит	30,03			1,7		68,31									100,04
Hf-бадделеит	32,36		3,32		1,33	63,89									100,9
Ti-бадделеит	31,18				1,00	68,63									100,81
Si-бадделеит	33,13	3,26				64,12									100,51
Циркон	34,42	16,8				47,83									99,05
Цирконолит*	37,71			8,26	14,7	19,88	4,15	3,79							89,74
Бисмоклит	7,86								79,9	12,6					100,36
Силленит	11,40	1,20							86,8						99,40
Ильменит	30,9			37,95	30,5										99,35
Mn-ильменит	31,6			35,05	24,5							7,95			99,1
Гематит	34,17			65,04											99,21
Апатит	35,80										2,84		39,6	20,9	99,14

**Примечание.** Анализы выполнены в ИГАБМ СО РАН на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6480LV с энергетическим спектрометром фирмы OXFORD. \*В цирконолите определен La – 1,25%. Аналитик Карпова С.А.

*Апатит, CaP*, единичные зерна минерала выделяются в доломите (рис.2, е). Рядом с ним нередко заметен циркон. Состав апатита стехиометричен (табл.3).

*Ильменит, FeTiO<sub>3</sub>*, преимущественно локализуется в габбро-долерите. Образует таблитчатые, удлиненные, аллотриоморфные выделения. Ассоциирует с халькопиритом, апатитом и цирконом (рис.2, f). Часто отмечается чередование собственно ильменита и Mn-содержащего ильменита (рис.2, d). Минерал в виде примеси содержит марганец (табл.3).

*Бисмоклит, BiOCl*, редкий минерал. Вкрапления минерала микронных размеров найдены в габбро-долерите (рис.2, d). Состав минерала стехиометричен (табл.3).

*Силленит, Bi<sub>2</sub>SiO<sub>20</sub>*, редкий минерал. Единичные зерна силленита отмечены в массе долерита в ассоциации с ильменитом (рис.3, b).

*Карбонатно-сульфидно-Fe-оксидные руды.* В контактовой части известняков и габбро-долеритов наблюдаются изменения, представленные, судя по химическому составу, сыпучими карбонатно-сульфидно-железооксидными рудами (табл. 1). Золотоносность этих руд достигает 2,25 г/т, сереброносность – 0,35 г/т, отмечаются повышенные концентрации Fe, Co, Pb, чуть ниже Zn, Cu.

### Заключение

Проведенные исследования отложений Нохтуйского опорного разреза (Мачинский рудно-магматический узел) позволили выделить следующее:

1. Впервые в породах диагностирована вкрапленная рудная минерализация, представленная в доломитах – халькопиритом, Ni-пиритом, галенитом, в габбро-долерите – микровключениями самородного серебра. Самым распространенным рудным минералом является халькопирит.

2. Аксессуарные минералы представлены бадделеитом, цирконом, цирконолитом, апатитом, ильменитом и Mn-ильменитом, гематитом, редкими минералами – бисмоклитом и силленитом.

3. Выявлены единичные значительные концентрации золота в известняках (до 4,47 г/т) и в контактовых измененных карбонатно-сульфидно-Fe-оксидных рудах (2,25 г/т), в которых отмечаются также повышенные содержания Fe, Co, Pb.

4. Концентрация рудогенных элементов (Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Au, Ag) выше в долерите, чем во вмещающих известняках и доломитах (табл.1).

5. В целом руды Мачинского рудно-магматического узла Уринского антиклинория относятся к Cu-Fe-Ni минералого-геохимическому типу.

*Работа выполнена в рамках плана НИР ИГАБМ СО РАН на 2014–2016 гг. и учебного плана ГРФ СВФУ.*

### Литература

1. Анисимова Г.С., Стручков К.К. Рудная минерализация в отложениях южной части Уринского антиклинория // Геология и минеральные ресурсы Северо-Востока Азии: Мат-лы Всерос.

научно-практ. конф., 6–8 апреля 2016 г. / Отв. ред. Е.И. Полуфунтикова. Якутск: Изд. дом СВФУ, 2016. С. 23–27.

2. Глушкова Е.Г., Никифорова З.С. О коренных источниках россыпного золота Уринского антиклинория (юго-восток Сибирской платформы) // Тихоокеанская геология. 2013. Т.32, №3. С. 118–123.

3. Колодезников И.И., Рукович В.Н., Семенов В.П., Сластенов Ю.Л. Учебная общегеологическая практика на Нохтуйском полигоне: Методические указания. Якутск: Изд-во ЯГУ, 1992. 64 с.

4. Колосов П.Н. Фациально-генетические типы органогенных карбонатных пород и потенциальные коллекторы нефти и газа в каланчевской свите неопротерозоя Предпатомской нефтегазоносной области // Отечественная геология. 2010. №6. С. 49–56.

5. Колосов П.Н. Органогенные породы и потенциальные коллекторы нефти и газа в неопротерозое Предпатомского прогиба // Отечественная геология. 2011. №5. С. 43–49.

6. Рожин С.С. Микрофитолиты, строматолиты Нохтуйского разреза // Геология и минеральные ресурсы Северо-Востока России: Мат-лы Всерос. научно-практ. конф., 31 марта–2 апреля 2015 г. Якутск: Изд. дом СВФУ, 2015. С.410–413.

7. Трейлоб Р.Э., Леонов Б.Н., Лунгерсгаузен Г.Ф., Высоцкий Б.П., Дехтерева Н.А. Геологическая карта СССР. 1:1000000. Лист Р-50 (Сунтар) и объяснительная записка. Ч. I. М., 1956.

8. Якишин М.С. Водорослевые микрофоссилии из опорного разреза венда Патомского нагорья (Сибирская платформа) // Новости палеонтологии и стратиграфии. 2002. Вып. 5. С. 12–31. Приложение к журналу «Геология и геофизика», т. 43.

Поступила в редакцию 12.05.2016

УДК 553.411(571.56-11)

## Актуальность ретроспективной оценки рудника Бадран

В.М. Суплецов, Е.С. Серкебаева

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г.Якутск

В прогнозно-поисковых построениях наиболее важную роль играет промышленная идентификация исследуемого объекта со всеми исходными параметрами оруденения. Это формы нахождения и содержания полезных компонентов, ценные и вредные примеси руд, определяющие качество и полноту извлечения добываемого минерального сырья. За всю историю изучения месторождения Бадран претерпело кардинальные изменения в отношении геолого-промышленной типизации руд, что позволило в итоге переоценить реальные и потенциальные ресурсы исследуемого рудника, в том числе смежные территории Мугурдах-Селериканской металлогенической зоны Восточной Якутии. На основе детального изучения материалов шихового опробования по водотокам Бадранского рудно-россыпного узла выявляются неординарность и новые перспективы эродированного коренного источника. В аллювии в значительном количестве содержатся бурый железняк (10–50%) и магнетит (до 10%), единичными зернами представлены: шеелит, ильменит, циркон, рутил, арсенопирит, анатаз, апатит, барит, гранат, гематит, лейкоксен, мусковит, пирит, сфен, турмалин, халькопирит и шпинель. Кроме того, наряду с мелким самородным золотом повышенной пробы, присутствует морфологически разнообразный электрум. Обращает на себя внимание наличие барита и железосодержащих минералов, образующих единый ряд преобразования и разложения пирита в процессе окислительно-восстановительных реакций нового этапа эпитеермального минералообразования. Процессы гипогенного окисления и разложения минералов поздними эпитеермальными растворами были неоднократными. Будущее рудника Бадран видится в переоценке структурно-вещественных признаков и построении геолого-генетической (позиционной) модели искомого месторождения, рассматриваемого в качестве эталона регенерированной эпитеермальной минерализации Au и Ag.

Ключевые слова: рудник, Au, россыпь, регенерированная руда, окисленная зона.