

Благороднометалльная минерализация Эндыбальской рудной горы (Западное Верхоянье, Россия)

А.В. Костин*, М.С. Желонкина*, Л.А. Саввинова**

*Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, Россия

**Акционерное общество «Прогноз», Якутск, Россия

kostin@diamond.ysn.ru

Аннотация. Эндыбальская рудная гора объединяет несколько проявлений серебра и золота, являясь частью крупного Эндыбальского серебрянорудного узла Западного Верхоянья (Восточная Якутия). Эта рудно-магматическая система с севера на юг включает проявления серебра Стержневое, Восточное, Верхнеэндыбальское и Нижнеэндыбальское. Во все периоды геологоразведочных работ этой площади основной интерес был сосредоточен вокруг серебряных руд. Основное рудное тело Нижнеэндыбальского проявления состоит из локальных зон брекчий с рудным цементом и многочисленных сближенных трещин, выполненных карбонатом, кварцем, сульфидами и серебряными сульфосолями. Замеры элементов залегания трещин с рудным выполнением в контурах штокверка показали ориентировки от 60 до 135° при углах падения от 15° до почти вертикального. Из-за этого разведка месторождения колонковым бурением неэффективна, наиболее оптимальным представляется крупнообъемное опробование. Руды представлены несколькими минеральными типами: пластовые сидерит-анкерит-серебросульфосольные прожилки с незначительной ролью галенита; секущие галенитовые прожилки с линзами арсенопирита, марматита, пирита, сидерита и вкраплениями пираргирита; зоны брекчий и прожилково-вкрапленной сидерит-халькопирит-пиритовой минерализации. Опробование пространственно сближенных серебряных и медных руд из скальных выходов Нижнеэндыбальского проявления показало наличие золота в количестве до 6 г/т. Золото и серебро в рудах образуют прямую корреляционную зависимость, золото по пробе относится к электрумму, а руды – к золотосеребряным.

Ключевые слова: золотосеребряный, золотомедный, IOCG, сфалерит, фрейбергит, Эндыбальский, Западное Верхоянье.

Благодарности. Статья подготовлена при финансовой поддержке проекта НИР № 0381-2019-0004 ИГАБМ СО РАН.

DOI

Precious metal mineralization of Endybal ore mountain (Western Verkhoyanye, Russia)

A.V. Kostin*, M.S. Zhelonkina*, L.A. Savvinova**

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

**Joint-stock company «Prognoz», Yakutsk, Russia

kostin@diamond.ysn.ru

Abstract. The Endybal Ore Mountain combines several forms of silver and gold as part of a major Endybal silver cluster in Western Verkhoyanye (Eastern Yakutia). This ore-magmatic system from North to South includes occurrences of silver Sterzhnevoy, Vostochniy, Verkhneendybal'skiy and Nizhneendybal'skiy. During all periods of exploration of this area, the main interest was concentrated around silver ores. The main ore body

of the Nizhneendybalskiy manifestation consists of local zones of breccia with ore cement and numerous closely spaced cracks filled with carbonate, quartz, sulfides and silver sulphosalts. Measurements of elements of occurrence of ore cracks in stockwork contours showed directions from 60 to 135° at angles of incidence from 15° to almost vertical. Because of this, the exploration of this manifestation by core drilling is inefficient, the most optimal is large-volume testing. Several mineral types represent the ores: stratabound siderite – ankerite - silver sulphosalt veinlets with minor galena; intersecting veinlets of galena with lenses of arsenopyrite, marmatite, pyrite, siderite and traces of pyrargyrite; the zones of breccias and vein-disseminated siderite-chalcopyrite-pyrite mineralization. Testing of spatially contiguous silver and copper ores from rock outcrops of the Nizhneendybalskiy manifestation showed the presence of gold – the grade is up to 6 g/t. Gold and silver in the ores form a direct correlation, gold in the sample refers to electrum, and the ores to gold-silver ones.

Key words: gold-silver, gold-copper, IOCG, sphalerite, freibergite, Endybal, West Verkhoyanye.

Acknowledgments. The article was prepared with the financial support of research project No. 0381-2019-0004 of Diamond and Precious Metal Geology Institute (DPMGI) SB RAS.

Введение

Эндыбальская перспективная площадь Западного Верхоянья является одним из перспективных благороднометалльных рудных районов северо-востока России. Основные месторождения, обеспечивающие его промышленную значимость, несут серебряную (Бурное, Мухалканское, Забытое, Мангазейское, Стержневое, Верхнеэндыбальское, Вертикальное, Восточное, Безмянное) и золотосеребряную (Нижнеэндыбальское, Кис-Кюельское) минерализацию и показаны на рис. 1.

Эндыбальский серебрянорудный узел расположен в бассейне р. Эндыбал, левого притока р. Аркачан. Рудные тела прослежены от среднего течения р. Мухалкан на севере до озера Кис-Кюель на юге. В геологическом отношении он приурочен к восточному крылу Куранахского антиклинория в зоне сочленения с Сартангским синклинорием [1]. Большинство рудных тел проявлений площади (Бурное, Мухалканское, Мангазейское, Стержневое, Восточное, Безмянное) являются стратифицированными. Разведка стратифицированных рудных тел включает риски, связанные со сложностями их отработки. Кроме этого, рудные тела выклиниваются на глубину, а их рудоподводящие структуры, в которых могут быть обнаружены крупные запасы руды, пока не обнаружены.

Секущие рудные тела, которые могут характеризовать минерализацию рудоподводящих структур, установлены в проявлениях Забытое, Верхнеэндыбальское, Нижнеэндыбальское и месторождении Вертикальное. Их масштабы, за исключением месторождения Вертикальное, не оценены.

Наибольший геологический и практический интерес представляет необычный для площади объект со штокверковой серебряной минерализацией (его историческое название Нижнеэндыбальское месторождение) расположенный в пределах «Эндыбальской рудной горы».

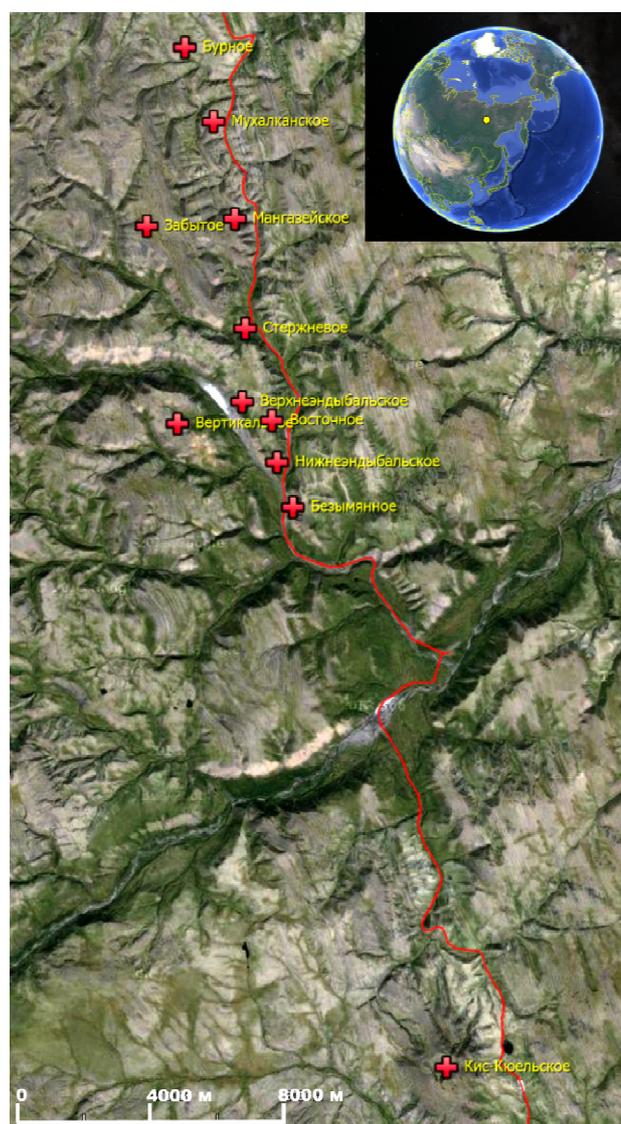


Рис. 1. Главные месторождения Эндыбальской перспективной площади и автозимник (основа – снимок Google)

Fig. 1. Main deposits of Endybal promising area and winter road (base is Google image)

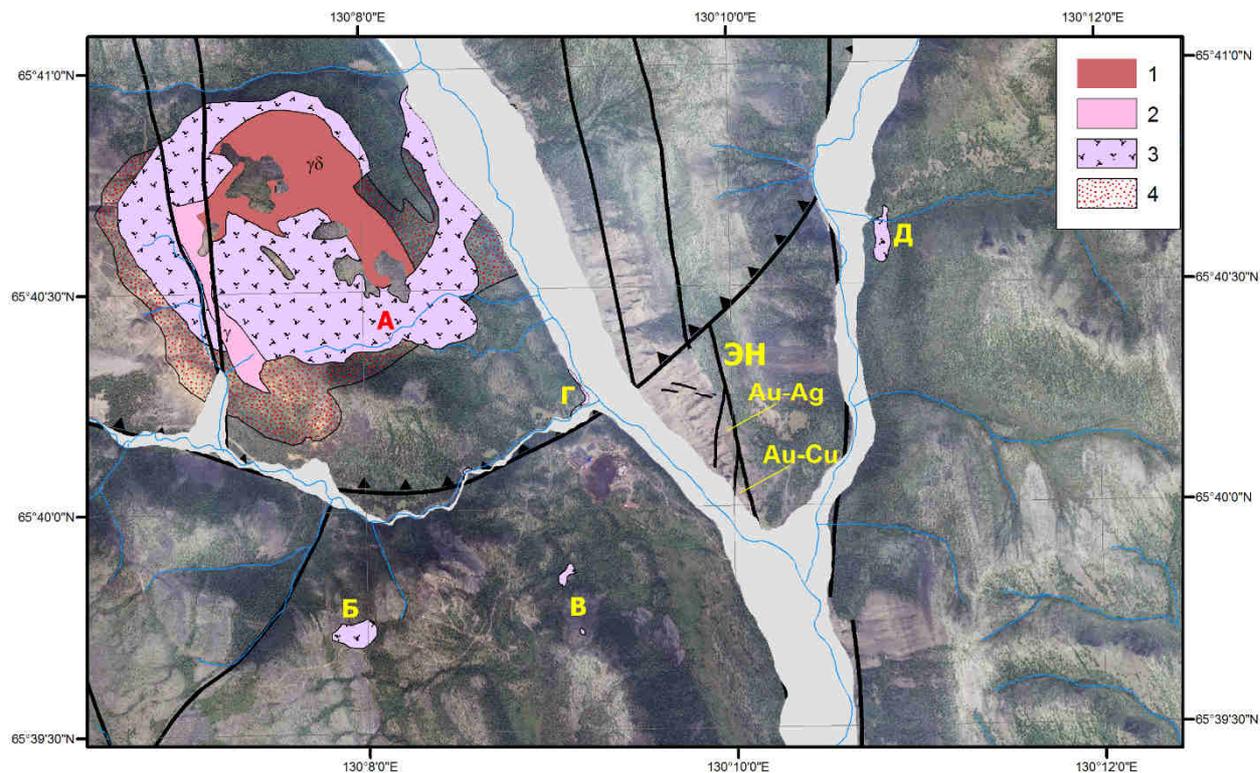


Рис. 2. Эндыбальская рудная гора (ЭН) в окружении выходов эруптивных брекчий (стрелками показано расположение Au-Ag и Au-Cu минеральных типов руд): 1 – гранодиорит; 2 – гранит; 3 – эруптивные брекчий (А – главный выход, Б, В, Г и Д – второстепенные выходы в небольших эрозионных окнах); 4 – ороговикованные породы

Fig. 2. Endybal ore mountain (ЭН) in environs of outcrops of eruptive breccias (arrows show location of Au-Ag and Au-Cu mineral types of ores): 1 – granodiorite; 2 – granite; 3 – eruptive breccias (A is main outcrop, Б, В, Г and Д are secondary outcrops in small erosion windows); 4 – hornfelsed rocks

Находки эруптивных брекчий на флангах Эндыбальской рудной горы (рис. 2) свидетельствуют, что рудная минерализация локализована над не вскрытой эрозией частью Эндыбальского субвулкана. При этом с глубиной рудные тела могут переходить в иные морфологические типы с другим вещественным составом руд.

Методика исследований

Анализ старых горных выработок. Объект под названием Нижнеэндыбальское месторождение, «серебряный рудник Коковина» известен с 1774 г. Здесь в небольших объемах проводились разведочно-эксплуатационные работы: было пройдено 6 штолен и 5 рудных шурфов, но никаких материалов по этим работам не сохранилось. Штольни проходились чуть выше уреза воды и вряд ли были протяженными, целью проходки была добыча свинцовых руд. Ранее часть штолен была закрыта осыпью, которая в последние несколько лет оказалась отработанной на строительные нужды рудником. В итоге сегодня открыты два вида штолен: вглубь горы (что косвенно подтверждает наличие рудных жил в глубине горы) и под небольшим углом,

почти параллельно обрывам. Весной 1917 г. были отведены под названием Коковинского рудника старые штольни серебряного рудника, разрабатывавшегося в 1776–1781 гг. Серьезной разработки на этом не производилось, т.к. найдены были лишь тонкие прожилки руды, расположенные высоко на отвесной скале. Весной 1917 г. подсчитали, что за зиму вывезено всего 10154 пудов руды. Произошло это вследствие «утонышения» жилы. Об этом упоминается в исторической сводке на сайте п. Себян-Кель <http://sebyan.ru/category/эндывал/>. *Замеры элементов залегания зон разломов и минерализованных рудами трещин проводились в разные годы практически по всем скальным выходам с целью сбора статистики для рудных прожилков и механизма их образования.* Это позволило установить штокверковый характер рудной минерализации. *Дешифрирование космических снимков Ikonos и Microsoft Bing Maps позволило выделить разрывные нарушения, которые контролируют размещение богатых руд и разделяют золотосеребряные и золотомедные минеральные типы.* Опробование и изучение рудного материала скальных выходов показало, что руд-

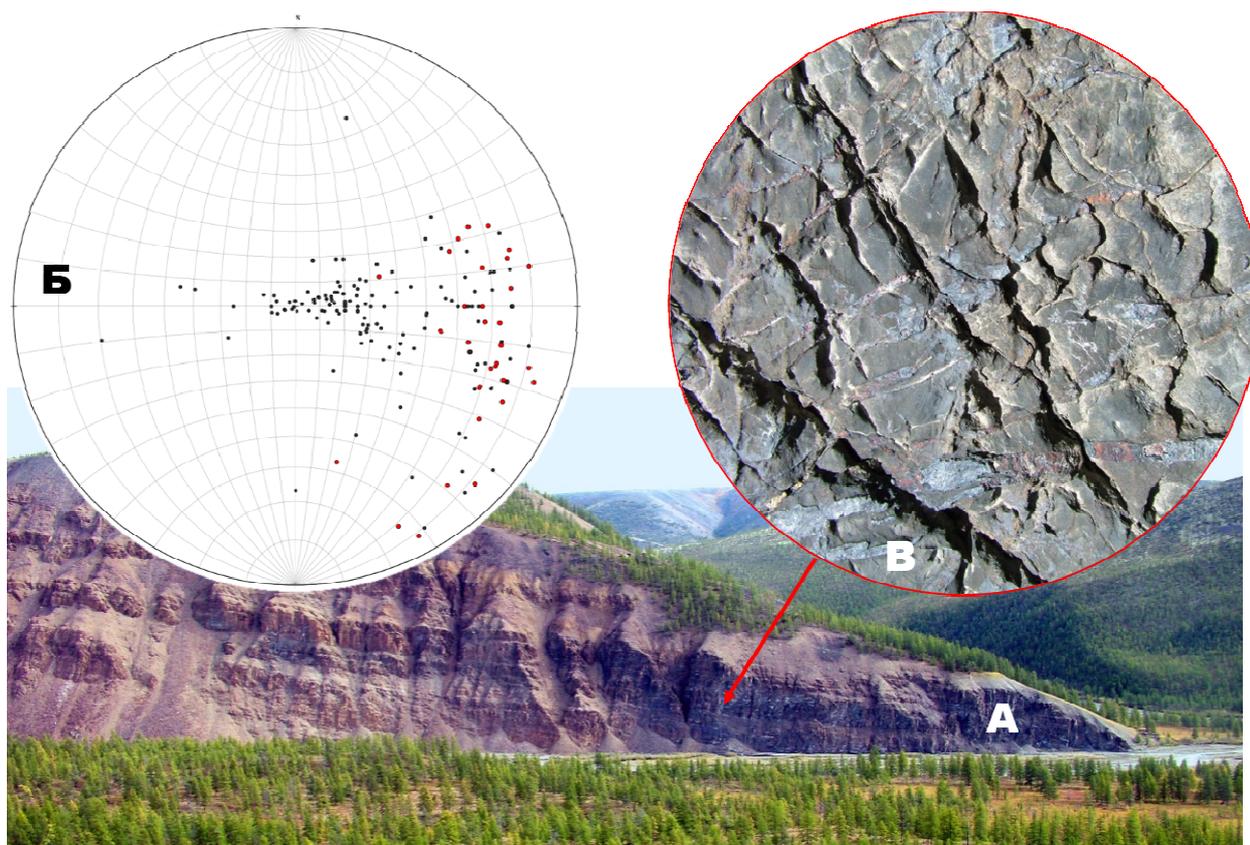


Рис. 3. Эндыбальская рудная гора: А – со штокверковой минерализацией; Б – ориентировка рудных прожилков и вмещающих песчаников на стереограмме Вульфа: черные точки: разноориентированные минерализованные трещины с пиритом, галенитом и пираргиритом обычно несогласны с вмещающими породами, что определяет штокверковый характер минерализации Нижнеэндыбальского месторождения; красные точки: залегание рудовмещающих песчаников; В – разноориентированные трещины в скальных обрывах, минерализованные пиритом, галенитом и пираргиритом

Fig. 3. Endybal ore mountain: А – with stockwork mineralization; Б – orientation of ore veins and ore hosting sandstones on Wulff stereogram: black dots: differently oriented mineralized cracks with pyrite, galena and pyrargyrite usually disagree with host rocks (red dots), which determines stockwork nature of mineralization of Nizneendybal'skiy field; red dots: occurrence of ore-bearing sandstones; В – differently oriented cracks in rocky cliffs, mineralized with pyrite, galena and pyrargyrite

ное тело скорее всего является рудным штокверком. Слагающие его прожилки несут разнообразную рудную минерализацию, среди которой серебряная была известна ранее, а золотую удалось установить лишь в последние годы. Содержания золота, серебра, свинца, цинка и меди исследовались в разные годы атомно-абсорбционным методом в лабораториях ГУГПП «Ян-геология», ИГАБМ СО РАН, АО «Прогноз». *Минералы руд* исследовались на сканирующем электронном микроскопе JSM-6480 LV с энергетическим спектрометром INCA-Energy. Образцы были приготовлены в виде аншлифов с полированной поверхностью, на которую был напылен тонкий проводящий слой углерода. Ускоряющее напряжение на катоде 20 кВ, ток пучка 1 нА.

Фактический материал

Трещины с рудным выполнением и их количество являются главным фактором, определя-

ющим качество руды. Изучение распределения рудной трещиноватости Эндыбальской рудной горы (рис. 3) позволило установить, что: 1) азимуты падения для 80 % всех рудных прожилков не превышают 135° и в целом близки к азимуту падения рудовмещающих песчаников; 2) примерно 70–75 % всех рудных прожилков являются секущими по отношению к напластованию рудовмещающих песчаников. Контроль рудной минерализации осуществляется разрывными нарушениями С-В простирания.

В 1993–1995 гг. выходы рудных зон в береговых обрывах Эндыбальской рудной горы были опробованы бороздовыми сечениями по сети 20–40 м. Это позволило установить, что рудное тело является линейным штокверком. Мощность его 24,7 м, длина 120 м, углы падения от 5° до 35° при восточном $65\text{--}110^\circ$ аз. пад. [2]. Основное рудное тело представлено минерализованной зоной дробления, полого секущей напластование песчаников. Анализ типового

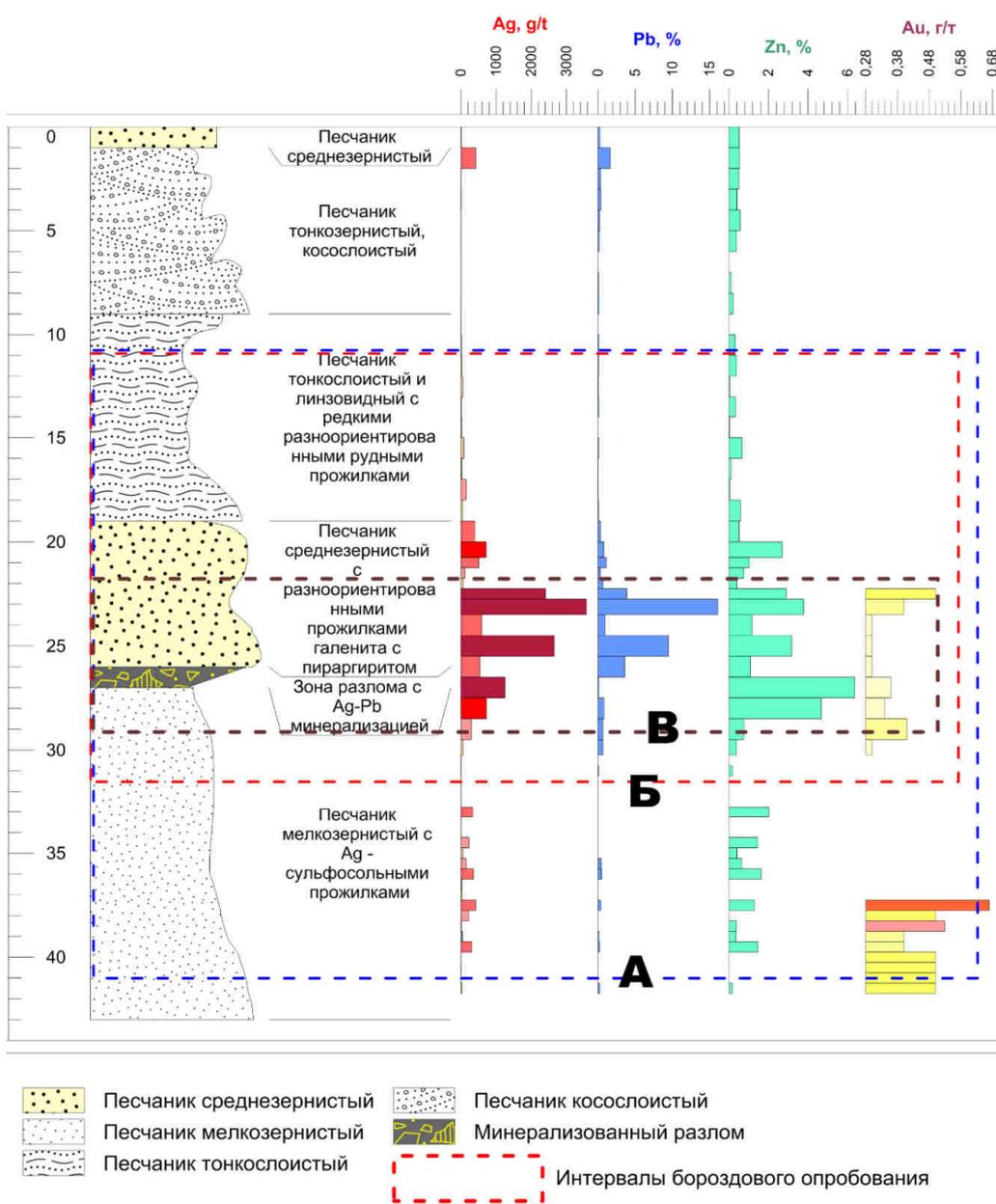


Рис. 4. Литологическая колонка и распределение серебра, свинца, цинка и золота в скальных обрывах Эндыбальской рудной горы (сечение-258, опробование проведено в 1994 г.): интервал А – 29 м с 416,23 г/т Ag; включая интервал Б – 21 м с 561,27 г/т Ag; включая интервал В – 7 м с 1286,06 г/т Ag

Fig. 4. Lithological column and distribution of silver, lead, zinc and gold in rock cliffs of Endybal ore mountain (section-258, sampling was carried out in 1994): interval A – 29 m contains 416.23 g/t of Ag; including interval B – 21 m with 561.27 g/t of Ag; including interval B – 7 m with 1286.06 g/t of Ag

сечения (рис. 4) показывает, что у рудного тела визуальных границ нет, оконтуривание возможно только по результатам опробования.

Типы руд

В результате обследования скальных выходов Эндыбальской рудной горы обнаружено несколько систем рудных прожилков, имеющих генетическое и минералогическое различие (рис. 5).

Первая система представлена секущими напластование песчаников разноориентированными прожилками мощностью 2–10 см, в которых в разных количествах присутствуют галенит, пираргирит, фрейбергит, пирит, арсенопирит, халькопирит и марматит. Прожилки сопровождаются минерализованными сульфидами песчаниками. Вторая связана с плоскостями межпластовых срывов: в ней преобладают жилы сидерит-анкерит-серебросульфосольного со-

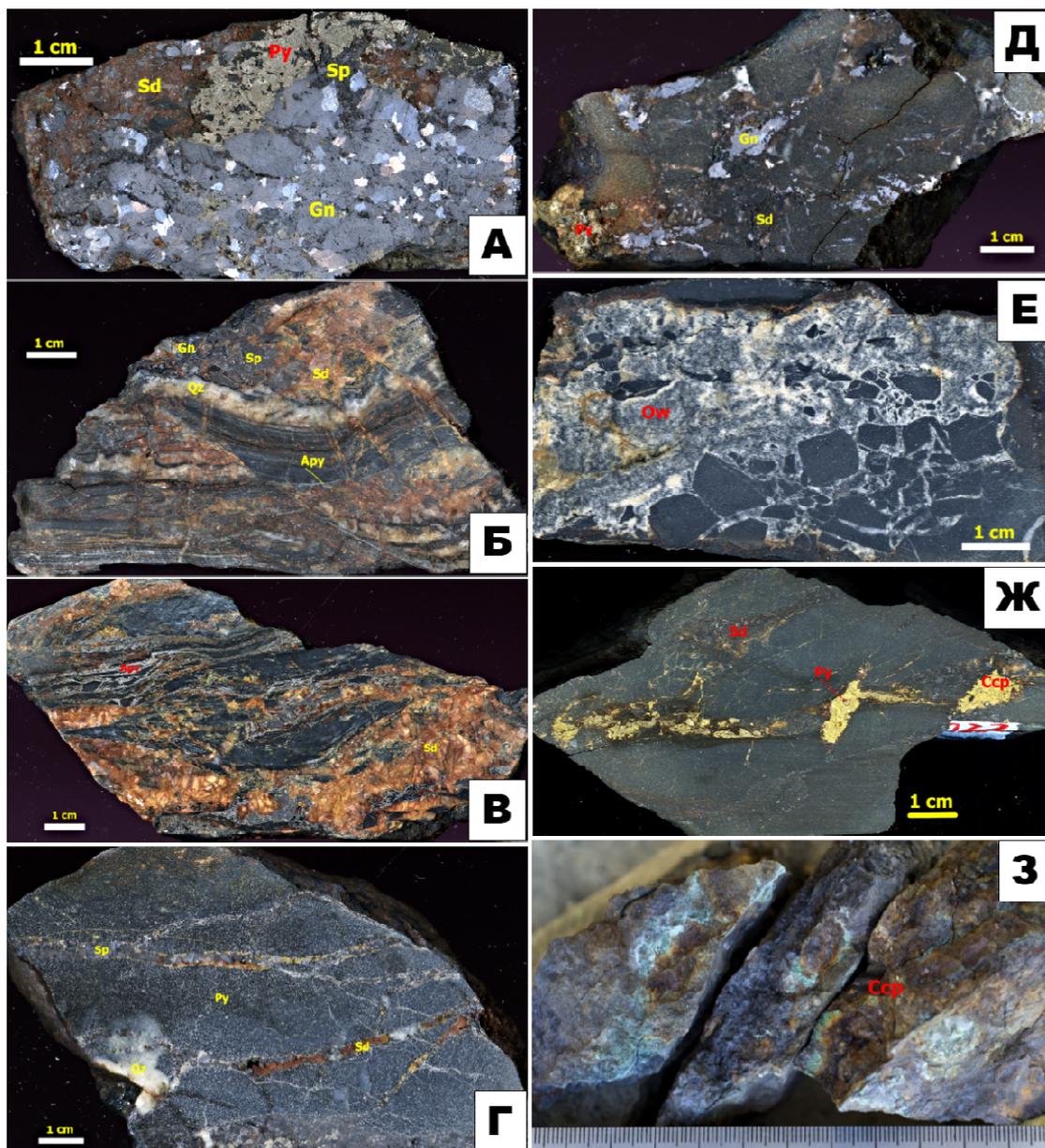


Рис. 5. Главные типы руд Эндыбальской рудной горы:

А–Е – золотосеребряные: А – обр. 88004-В, Б – обр. 88004, В – обр. 88004-Б, Г – обр. 88002, Д – обр. 88005, Е – обр. 88003; Ж–З – золотомедные: Ж – обр. 880029, З – обр. 88019

Fig. 5. Main types of ores of Endybal ore mountain:

А–Е – gold-silver: А – sample 88004-В, Б – sample 88004, В – sample 88004-Б, Г – sample 88002, Д – sample 88005, Е – sample 88003; Ж–З – gold-copper: Ж – sample 880029, З – sample 88019

става, роль галенита невелика. Третья – зона разноориентированного прожилкования и брекчирования с халькопиритовой минерализацией.

А – Обр. 88004-В. Минерализованная зона разлома в темно-сером песчанике с галенит-пирит-сидеритовой крутопадающей жилкой мощностью до 10 см. В галените много включений фрейбергита, в котором присутствуют вкрапления электрума. Пиритовая часть жилы частично окислена. Сидерит окислен, поэтому

цвет минерала темно-коричневый. На фоне темных песчаников выделяются желтоватыми оттенками продукты окисления пирита. Ag – 10067,57 г/т, Au – 3,1 г/т, Cu – 0,31 %, Pb – 42,51 %, Zn – 3,22 %.

Б – Обр. 88004. Минерализованная зона разлома с обрывками слоев тонкослоистого мелкозернистого песчаника и участков кварц-карбонатной минерализации смещена по тектоническим трещинам. В кварц-карбонатной ча-

сти видны темные волнистые образования, похожие на стилолитовые швы и гнезда галенит-сфалеритовой минерализации. В стилолитовых швах могут концентрироваться благородные металлы. Ag – 1886,68 г/т, Au – 0,36 г/т, Cu – 0,084 %, Pb – 0,4 %, Zn – 6,67 %.

В – Обр. 88004-Б. Минерализованная зона разлома с несколькими стадиями минерализации. Зона разлома с арсенопирит-сидеритовой минерализацией. Арсенопирит тонкозернистый, сгруппирован в полосы вокруг обломков вмещающих пород. Наблюдается дробление и разлинзование вмещающих темно-серых мелкозернистых песчаников. Это фрагмент рудной минерализации зоны разлома, описанной в обр. 88004. Ag – 1981,95 г/т, Au – 2,2 г/т, Cu – 0,052 %, Pb – 2,39 %, Zn – 4,64 %.

Г – Обр. 88002. Серый среднезернистый массивный песчаник, с осветленными участками и пятнами белого скрытокристаллического кварца. В песчанике отмечается обильная тонкая вкрапленность пирита и игольчатого арсенопирита, предположительно гидротермально-метасоматической природы. Отмечаются разноориентированные кварц-сидеритовые прожилки с темным сфалеритом и галенитом. Ag – 3725,06 г/т, Au – 0,74 г/т, Cu – 0,15 %, Pb – 2,33 %, Zn – 5,76 %.

Д – Обр. 88005. В береговом обрыве зона брекчированного песчаника с галенит-пирит-сидеритовым цементом. Параметры и простирание установить сложно, т.к. обрывы покрыты тонкой темно-коричневой пленкой окислов марганца (от окисленного мангансидерита). Минеральный состав: сидерит, галенит. Ag – 654,77 г/т, Au – 0,36 г/т, Cu – 0,04 %, Pb – 18,07 %, Zn – 1,78 %.

Е – Обр. 88003. В темно-сером мелкозернистом полосчатом песчанике межпластовые зоны брекчирования и минерализации – оперяющие субвертикальные минерализованные зоны разлома (обычно зоны межпластовых срывов надвиговой кинематики характеризуются притертыми поверхностями с зеркалами скольжения и не имеют участков развития брекчий). Поскольку это межпластовые брекчии, то предположительно их распространение от секущих рудоподводящих зон небольшое – первые метры. Песчаник брекчирован, цемент представлен смесью доломита (преобладает) и сидерита, в которых присутствуют серые игольчатые сульфосоли серебра, изредка отмечаются гнезда галенита. Только в этих структурах обнаружен белый карбонат. Ag – 532,52 г/т, Au – 0,1 г/т, Cu – 0,023 %, Pb – 2,86 %, Zn – 3,66 %.

Ж – Обр. 88029. Минерализованная зона дробления светло-серого среднезернистого пес-

чаника с халькопирит-сидеритовым цементом. Микроскопическими и микронзондовыми исследованиями в халькопирите и на контакте с пиритом обнаружены мелкие выделения золота (электрума). Встречаются гнезда халькопирита размером до 5 см. Ag – 45,0 г/т, Au – 2,06 г/т, Cu – 1,64 %, Pb – 0,06 %, Zn – 0,3 %.

З – Обр. 88019. Тектонический контакт осветленными пиритизированными среднезернистыми песчаниками и темными алевропесчаниками (аналог обр. 88017). Вдоль контакта сидеритовая жила с пирит-халькопиритовой минерализацией в зальбандах (Аркачанский Au-Cu тип). Поверхность жилы волнистая (аз. пад. 265/15; 94/37). В серых среднезернистых песчаниках серия разноориентированных секущих прожилков (аз. пад. 114/77; 105/89; 97/73; 104/60; 98/63), сложенных сидеритом, пиритом и халькопиритом. По плоскостям трещин малахитовые примазки. Проба взята в 1 м ниже зоны тектонического контакта из прожилка (аз. пад. 108/31) с богатой медной минерализацией (халькопирит, малахит, сидерит), мощность до 5 см. Ag – 57,0 г/т, Au – 0,15 г/т, Cu – 6,0 %, Pb – 0,4 %, Zn – 0,4 %.

Микронзондовые исследования минералов

Рудные образцы исследовались на сканирующем электронном микроскопе JSM-6480 LV с энергетическим спектрометром INCA-Energy (рентгеноспектральный микроанализ – РСМА) для определения элементного (химического) состава рудных минералов. Данным методом анализируется состав микрообъема, в котором происходит возбуждение рентгеновского излучения пучком электронов. Минимальный размер области генерации, определяемый размером пучка и свойствами исследуемого вещества, составляет около 1 мк, что делает возможным анализ очень мелких включений, к которым в рудах относится золото. Метод является неразрушающим, так как при его применении в объекте не происходит необратимых изменений.

В рудах установлены галенит, сфалерит, халькопирит, пирит, арсенопирит, акантит, стефанит, фрейбергит, диафорит, буланжерит, пираргирит, золото самородное.

Галенит. По распространенности – главный минерал Эндыбальской рудной горы в коренных обнажениях левого борта р. Сириландже. В основном встречается в разноориентированных секущих жилах и прожилках, реже в пластовых. Галенит значительно преобладает над сфалеритом и другими сульфидами, но при этом практически не несет рассеянного серебра в виде изоморфной примеси. Все серебро, связанное с галенитовой минерализацией, сосредоточено в

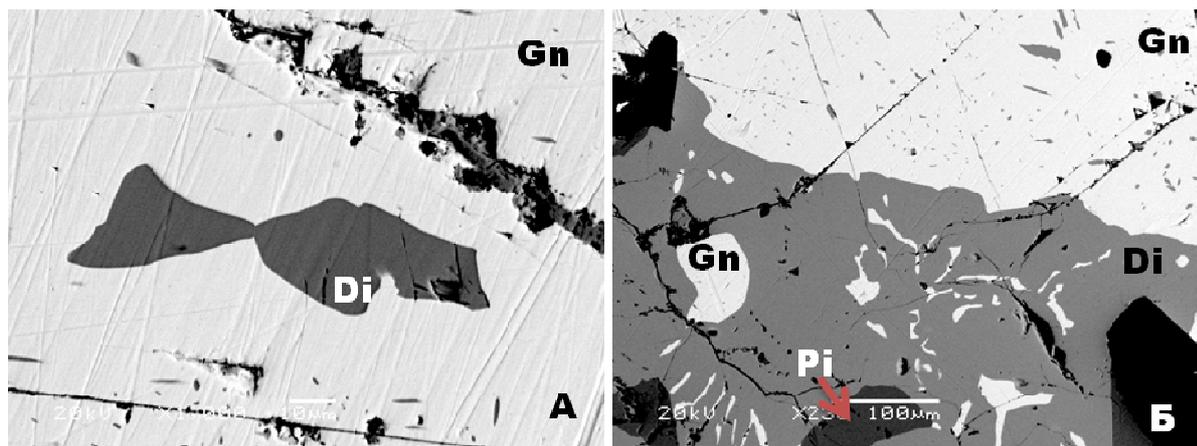


Рис. 6. Галенит в сростаниях с серебряными сульфосолями: Gn – галенит, Di – диафорит, Pi – пирит, Pr – пираргирит

Fig. 6. The intergrowths in galena and silver sulfosalts: Gn – galena, Di – diaphorite, Pi – pyrite, Pr – pyrargyrite

сростаниях или включениях в галените пираргирита, фрейбергита, акантита и других минералов серебра (рис. 6).

Сфалерит (табл. 1). Сфалерит, как и галенит, является главным минералом руд. При этом зачастую свинцовые и цинковые руды относятся к разным стадиям минералообразования и в пространстве разделены. Сфалерит встречается в виде вкрапленности в песчаниках и в разноориентированных прожилках в ассоциации с сидеритом и арсенопиритом. Характеризуется повышенной железистостью, что обусловило его темный до черного цвет. С ним ассоциируют значительные количества серебряных сульфосолой, которые образуют линейные вкрапления по спайности сфалерита (рис. 7). Поэтому сфалеритовые руды без существенных количеств галенита обычно высоко сереброносны.

Халькопирит. Является второстепенным минералом в золотосеребряных рудах и главным – в золотомедных. В Эндыбальской рудной горе

халькопирит наиболее часто встречается в цементе брекчий, значительно реже – в межпластовых прожилках, где ассоциирует с галенитом, пиритом, марматитом и сидеритом.

Пирит. Относится к сквозным минералам, присутствующим во всех минеральных парагенезисах, но по степени распространенности является второстепенным. Выделяются несколько генераций минерала. Ранняя – представлена тонкой рассеянной вкрапленностью в терригенных породах, поздняя – присутствует во всех типах рудных прожилков.

Арсенопирит (табл. 2). Является второстепенным минералом. Представлен мелкозернистыми агрегатами, кристаллики которого сгруппированы в цепочки или псевдослойки и с кристаллизацией которых обычно начинается образование всех рудных прожилков. Арсенопирит ассоциирует со сфалеритом, пиритом, кварцем и блеклыми рудами с невысоким содержанием серебра, которые цементируют раздробленные его кристаллики и агрегаты.

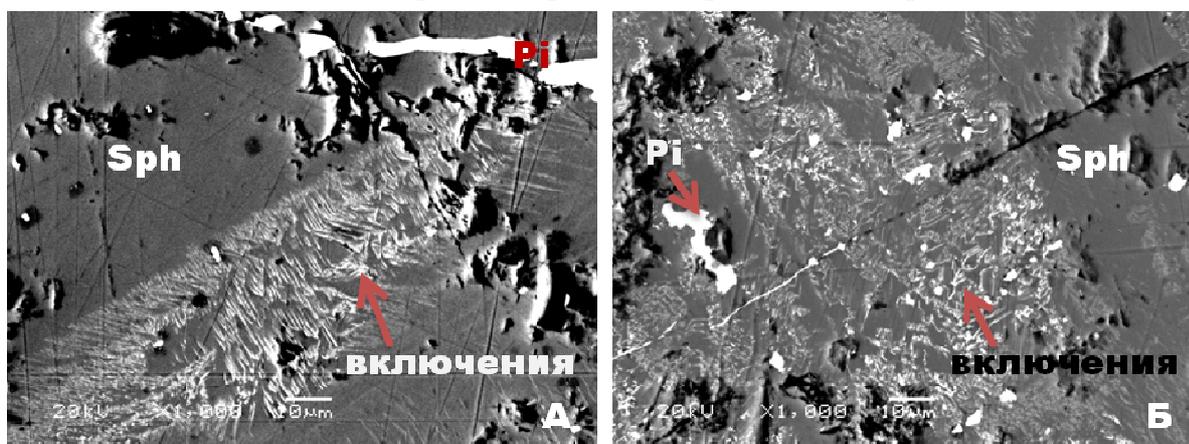


Рис. 7. Сфалерит в сростаниях с серебряными сульфосолями (включения): Sph – сфалерит, Pi – пирит, Pr – пираргирит

Fig. 7. In sphalerite intergrowths with silver sulfosalts (inclusion): Sph – sphalerite, Pi – pyrite, Pr – pyrargyrite

Микрозондовые анализы сфалеритов и их сростаний с минералами серебра, вес. %

Таблица 1

Microprobe analyses of sphalerites and their accretions with silver minerals, wt %

Table 1

№ обр. Sample	Ag	Au	Cu	Zn	Sb	Fe	S	Cd	Сумма Total
Составы сфалеритов Compositions of sphalerites									
88002	-	-	-	66,67	-	-	32,3	0,28	99,25
88002	-	-	-	65,58	-	-	32,03	1	98,61
88002	-	-	-	61,87	-	3,74	32,96	0,81	99,38
88002	-	-	-	61,5	-	3,69	34,1	1,01	100,3
88002	-	-	-	60,6	-	4,97	33,87	1,04	100,48
88002	-	-	-	58,97	-	4,38	33,53	0,47	97,35
88003	-	-	-	65,52	-	1,45	33,12	0,22	100,31
88003	-	-	-	61,82	-	3,15	31,95	0,3	97,22
88003	-	-	-	59,16	-	6,12	32,68	0,38	98,34
Смешанные составы тонких сростаний сфалерита с минералами серебра Mixed compositions of fine intergrowths of sphalerite with silver minerals									
88002	0,09	0,6	-	58,68	-	7,51	30,31	-	97,19
88002	0,14	0,34	-	61,32	-	6,57	29,33	-	97,7
88002	0,42	-	-	66,14	-	-	32,86	0,82	100,24
88002	0,47	-	-	68,13	-	-	32,32	-	100,92
88002	0,9	-	-	60,17	-	4,61	31,59	-	97,27
88002	1,25	-	-	61,96	-	3,57	31,84	-	98,62
88002	1,29	0,27	0,78	59,3	-	5,81	30,88	-	98,33
88002	1,63	0,36	2,75	57,74	-	3,46	34,25	-	100,19
88002	1,83	-	2,32	58,33	-	4,12	32,32	0,49	99,41
88002	1,98	1,64	2,93	57,83	-	4,23	29,57	-	98,18
88002	2,45	-	-	62,44	-	2,53	29,9	-	97,32
88002	2,83	-	1,11	60,84	-	2,79	31,64	-	99,21
88002	3,91	-	2,41	61,29	-	2,53	29,71	-	99,85
88002	4,51	-	2,35	53,74	3,09	3,44	30,38	-	97,51
88002	4,54	-	2,36	49,23	3,2	6,35	31,87	-	97,55
88002	4,63	-	2,86	56,81	3,2	2,37	28,47	-	98,34
88002	5,29	-	4,43	50,83	4,94	3,24	30,55	-	99,28
88002	5,36	-	3,12	49,64	4,61	6	30,03	-	98,76
88002	5,4	-	2,8	51,23	5,85	5,58	28,19	-	99,05
88002	5,41	-	-	59,1	-	1,13	31,85	-	97,49
88002	6,54	-	2,75	56,48	-	5,92	28,08	-	99,77
88004В	3,44	-	-	60,63	-	3,78	31,81	-	99,66

Акантит (табл. 3). Большинство находок минерала связаны с галенистовыми рудами. Он обычно образует мелкие включения в галените или каймы вокруг его зерен. Акантит и галенит в виде самостоятельной минеральной ассоциации слагают гнезда в серебросульфосольных рудах.

Стефанит (табл. 4). Встречается в ассоциации с фрейбергитом, пираргиритом, акантитом, галенитом, сфалеритом. Форма выделения стефанита – тонкие прожилки в серебряных сульфосолях и друзы хорошо ограненных кристаллов, сцементированных самородным серебром.

Фрейбергит (табл. 5). В Эндыбальской рудной горе встречается часто и из минералов серебра по распространенности уступает только пираргириту. Для него характерны сростания с пиритом, пираргиритом, галенитом и железистым сфалеритом. В последнем наблюдаются многочисленные включения фрейбергита, имеющие вид мельчайших капель удлиненной формы. Находки минерала отмечаются в послойных карбонатных прожилках вместе с галенитом, пираргиритом и битуминозным веществом – шунгитом. В отраженном свете блеклые руды с большим содержанием серебра имеют светло-голубоватые оттенки (рис. 8).

БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ЭНДЫБАЛЬСКОЙ РУДНОЙ ГОРЫ

Т а б л и ц а 2
Микрозондовые анализы арсенипирита, вес. %
Table 2
Microprobe analyses of arsenopyrite, wt %

№ обр. Sample	As	Fe	S	Ni	Сумма Total
88003	41,8	35,91	22,33	-	100,04
88003	41,5	34,98	21,33	-	97,81
88003	40,3	35,79	22,29	-	98,38
88002	42,56	35,7	22,72	-	100,98
88002	44,63	35,18	20,89	-	100,7
88002	43,01	35,12	20,94	-	100,98
88002	41,54	34,19	22,53	-	98,26
88002	41,9	33,99	21,81	-	100,98
88002	42,47	33,86	22,07	-	98,4
88002	42,52	33,84	20,23	1,32	100,98
88002	42,63	33,49	22,04	-	98,16
88002	42,17	33,33	21,97	-	100,98
88002	42,49	33,27	22,12	-	97,88

Т а б л и ц а 3
Микрозондовые анализы акантита, вес. %
Table 3
Microprobe analyses of acanthite, wt %

№ обр. Sample	Ag	S	Сумма Total
88002	89,28	9,31	98,59
88002	87,28	10,77	98,05
88002	86,82	12,41	99,23

Т а б л и ц а 4
Микрозондовые анализы стефанита, вес. %
Table 4
Microprobe analyses of stephanite, wt %

№ обр. Sample	Ag	Au	Sb	S	Сумма Total
88002	65,3	1,77	19,04	14,83	100,94
88002	63,4	0,5	20,73	13,95	98,58
88002	63,06	-	20,76	15,72	99,54
88002	62	-	20,63	16,53	99,16
88004	63,68	-	19,56	16,39	99,63
88004	62,34	-	17	18,78	98,12

Диафорит (табл. 6). В рудах Нижнеэндыбальского месторождения встречается редко. В рудах с незначительным количеством галенита диафорит выделяется в одну из последних стадий минерализации вместе с мангансидеритом и серебряными сульфосолями, образуя довольно крупные мономинеральные выделения. В ассоциации с овихитом выполняет межзерновые пространства в жилах, сложенных прозрачными кристалликами кварца. В существенно галенитовых рудах диафорит образует мельчайшие вкрапления и является одним из главных носителей серебра. Монокристаллы размером 0,5–1 см с хорошо сохранившимися гранями встречались в рудах Серебряной рудной горы в ассоциации с друзовидным кальцитом.

Т а б л и ц а 5
Микрозондовые анализы фрейбергита, вес. %
Table 5
Microprobe analyses of freibergite, wt %

№ обр. Sample	Ag	Cu	Zn	Sb	Fe	S	Сумма Total
2 разновидность фрейбергита / 2nd variety of freibergite							
88003	14,74	15,39	18,65	19,52	5,15	26,39	99,84
88003	16,09	19,78	11,01	24,08	5,36	24,02	100,34
88003	17,49	23,5	4,74	26,61	2,35	22,61	97,3
88003	17,82	23,7	5,97	26,43	1,82	21,82	97,56
88003	18,09	19,58	10,3	23,89	3,99	23,77	99,62
88003	19,55	20,49	4,04	27,37	4,7	21,59	97,74
88003	19,64	23,12	5,27	26,68	2,24	22,21	99,16
88003	19,74	20,79	5,8	25,13	4,28	22,7	98,44
88003	19,92	23,08	3,88	25,98	5,04	22,16	100,06
88003	20,04	20,17	4,52	26,02	5,35	22,95	99,05
88002	20,14	12,28	15,96	18,79	7,25	25,63	100,05
88002	20,3	14,87	12,04	20,77	6,56	24,76	99,3
88004B	21,99	22,41		27,93	5	21,23	98,56
88004B	22,49	22,41		27,24	4,22	23,08	99,44
88004B	22,86	19,61	4,41	26,34	3,66	22,95	99,83
88004B	23,31	20,36		29,75	4,44	21,88	99,74
88004B	23,33	22,34		27,62	5,18	22,12	100,59
88004B	23,57	20,54	3,43	25,55	3,99	21,95	99,03
88004B	24,15	21,84	2,96	25,04	4,03	22,75	100,77
88004B	24,16	21,06		25,59	5,47	22,54	98,82
88004B	24,39	21,93		25,18	4,71	21,49	97,7
88004B	24,6	21,89		26,73	3,11	22,31	98,64
88004B	24,78	20,9		27,84	5,63	21,23	100,38
88004B	24,97	20,74	2,83	23,72	4,49	23,13	99,88
88004B	25,06	21,01		26,37	3,55	21,74	97,73
88004B	25,06	21,24		25,93	3,48	23,87	99,58
88004B	25,24	21,38		25,26	4,22	23,05	99,15
1 разновидность фрейбергита / 1st variety of freibergite							
88004B	27,37	16,62		28,25	4,43	20,92	97,59
88004B	28,49	18,47		27,19	4,94	20,65	99,74
88004B	28,86	17,13		26,77	3,41	21,02	97,19
88004B	30,16	17,51		26,67	3,62	21,13	99,09
88004B	30,22	16,19		27,42	4,25	20,27	98,35
88004B	30,5	15,02	3,21	24,92	3,77	20,08	97,5
88004B	30,99	17,58		24,79	5,15	20,51	99,02
88004B	31,08	16,49	2,98	24,82	4,22	20,3	99,89
88004B	31,33	17,39		26,78	4,21	21,03	100,74
88004B	31,94	15,49		26,11	3,86	19,81	97,21
88004B	32	16,57		25,56	4,17	19,98	98,28
88004B	32,05	15		25,45	4,09	20,71	97,3
88004B	32,15	18,02		24,6	3,93	20,57	99,27
88004B	32,81	16,33		25,43	4,46	20,28	99,31
88004B	32,83	15,52		26,54	4,75	20,27	99,91
88004B	32,84	15,43		25,27	4,85	21,39	99,78
88004B	33,22	15,42	3,81	23,38	3,83	19,99	99,65
88004B	33,52	16,25		25,05	4,54	21,23	100,59
88004B	33,71	14,45		25,19	5,04	20,43	98,82
88004B	33,8	15,23		25,25	4,16	20,56	99
88004B	34,31	14,65		26,29	3,58	21,03	99,86
88004B	34,34	16,17		23,82	4,66	20,39	99,38
88004B	34,41	13,49	3,44	23,9	3,59	21,23	100,06

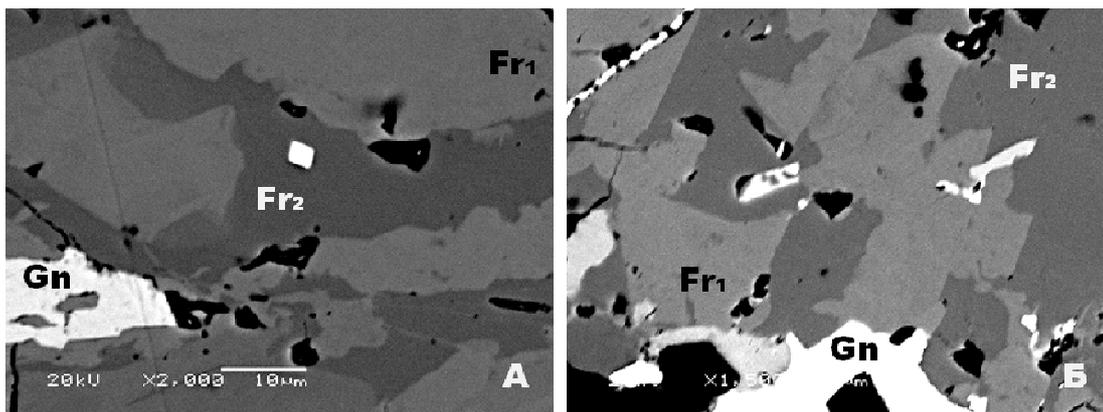


Рис. 8. Срастания разновидностей фрейбергита, чем более сереброносен минерал, тем он светлее. Fr – фрейбергит, Gn – галенит (состав разновидностей фрейбергита в табл. 5)

Fig. 8. Intergrowths of freibergite varieties – the more argentiferous the mineral is, the lighter it is. Fr – freibergite, Gn – galena (composition of freibergite varieties is in table 5)

Таблица 6

Микрозондовые анализы диафорита, вес. %

Table 6

Microprobe analyses of diaphorite, wt %

№ обр. Sample	Ag	Au	Bi	Pb	As	Sb	S	Te	Сумма Total
88002	24,42	-	-	31,78	0,65	25,83	18,25	-	100,93
88002	24,3	-	-	30,65	-	27,12	18,27	-	100,34
88002	24,28	-	-	30,63	-	28,43	15,93	-	99,27
88002	23,32	-	-	30,51	0,95	26,27	18,55	-	99,6
88002	23,52	-	-	29,66	-	27,38	16,54	1,09	98,19
88002	25,85	-	-	29,57	0,47	26,07	18,72	-	100,68
88002	22,58	-	-	29,53	-	27,96	19,41	-	99,48
88002	23,42	-	-	29,52	-	25,77	18,51	-	97,22
88002	24,54	1,23	-	29,44	0,53	25,54	17,99	-	99,27
88002	23,88	-	1,03	28,85	-	27,08	18,93	-	99,77

Буланжерит (табл. 7). В галенитовых рудах в ассоциации с железистыми карбонатами минерал представлен мелкокристаллической разновидностью, образующей плотный войлокоподобный агрегат зерен, размером в первые сотые доли миллиметра. Агрегаты буланжерита имеют линейную ориентировку вдоль тончайших трещин в галените и создают струйчатый облик руды. В серебряных рудах буланжерит вместе с диафоритом образует спутанно-волокнистые агрегаты в интерстициях между кристалликами прозрачного кварца, часто отмечается замещение буланжеритом кварца и крупнозернистого арсенопирита.

Пираргирит (табл. 8). Главный носитель серебра в рудах Эндыбальской рудной горы. Формы выделения пираргирита достаточно разнообразны и зависят от типа руд. Наиболее ранние выделения пираргирита установлены на Нижнеэндыбальском месторождении, где он образует вкрапления в марматит-галенит-пирит-арсенопиритовых жилах и столбчатые призматического габитуса кристаллы до 1 см высотой. Такие кристаллы изредка встречаются в марматит-кварцевых друзах. Пираргирит

Таблица 7

Микрозондовые анализы буланжерита, вес. %

Table 7

Microprobe analyses of boulangierite, wt %

№ обр. Sample	Ag	Bi	Pb	Sb	S	Сумма Total
88003	-	-	56,51	25,46	18,06	100,03
88003	-	-	56,29	25,2	18,17	99,66
88003	0,14	-	55,89	25,77	18,51	100,31
88003	-	0,55	55,88	24,95	16,89	98,27
88003	-	-	55,49	26,4	18,53	100,42
88003	-	-	55,34	25,52	18,39	99,25
88003	-	-	55,08	26,74	18,94	100,76
88003	-	-	55,06	24,21	18,97	98,24
88003	-	-	54,87	24,79	19,15	98,81
88003	-	-	54,7	26,37	18,99	100,06
88003	-	-	54,47	26,42	18,55	99,44
88003	0,57	-	54,41	27,36	18,64	100,98
88003	-	-	54,18	25,68	18,17	98,03
88003	0,02	-	54,12	25,61	18,22	97,97
88003	0,18	-	53,76	26,76	18,34	99,04
88003	-	-	53,04	26,01	18,56	97,61
88003	-	-	52,98	27,3	17,94	98,22
88003	0,18	-	52,95	26,63	18,53	98,29
88003	-	-	52,89	26,1	19,48	98,47

Микрозондовые анализы пираргирита, вес. %

Table 8

Microprobe analyses of pyrrargyrite, wt %

№ обр. Sample	Ag	Au	Bi	Zn	Sb	Fe	S	Te	Сумма Total
88004 В	61,29	-	-	-	19,99	-	17,82	-	99,1
88004 В	59,92	-	-	-	22,69	-	17,05	-	99,66
88004 В	59,71	-	-	-	23,02	-	16,25	-	98,98
88004 В	59,2	-	-	-	23,96	-	16,88	-	100,04
88004 В	59,14	-	-	-	22,31	-	17,39	-	98,84
88002	61,7	-	-	-	22,37	-	15,48	-	99,55
88002	61,12	-	-	3,16	20,09	0,84	15,33	-	100,54
88002	60,22	-	-	-	22,56	-	18,02	-	100,8
88002	59,9	-	-	-	22,89	-	17,69	-	100,48
88002	59,67	0,49	-	-	22,93	-	15,21	-	98,3
88002	59,65	0,22	-	-	22,22	-	15,77	-	97,86
88002	59,12	0,49	-	-	20,37	-	17,22	-	97,2
88002	58,65	-	-	-	22,76	-	17,97	-	99,38
88002	58,64	-	-	-	22,71	-	15,79	0,39	97,53
88002	58,56	-	-	-	22,72	1,68	17,35	-	100,31
88002	58,35	-	0,64	-	21,15	-	18	-	98,14

кристаллизуется позже фрейбергита, диафорита, миаргирита и овихиита, но до стефанита и самородного серебра. В обрывах месторождения встречались кристаллы пираргирита размером до 1 см. В этом же типе руд отмечаются сростания галенита и пираргирита, возникшие, вероятно, вследствие распада диафорита.

Золото (рис. 9, табл. 9). Первая находка самородного золота, подтвержденная микрозондовым анализом, была сделана в керне скважины №7 Нижнеэндыбальского месторождения на интервале от 45,6 до 47,1 м, где оно приурочено к скоплениям пирита и халькопирита вблизи

Микрозондовые анализы золота, вес. %

Table 9

Microprobe analysis of gold, wt %

№ обр. Sample	Au	Ag	Cu	Сумма Total
Золотосеребряный тип (А) / Gold-silver type (A)				
88004 В	45,51	50,89	-	96,4
88004 В	46,67	51,27	-	97,94
88004 В	45,59	51,20	3,01	99,8
88004 В	46,00	51,55	-	97,55
Золотомедный тип (Б) / Gold-copper type (B)				
END-07-1	44,59	56,16	-	100,75
END-07-2	25,33	74,65	-	99,98

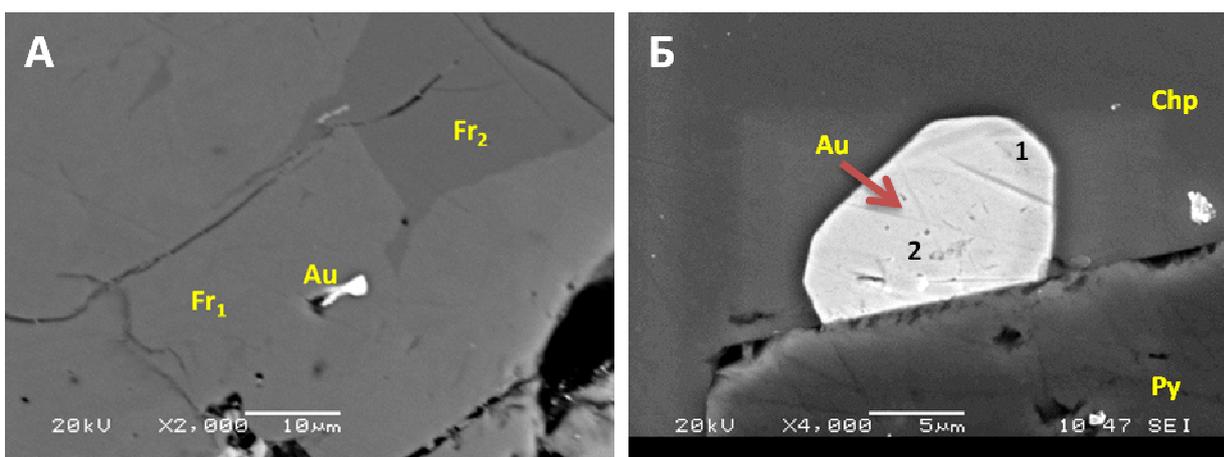


Рис. 9. Ассоциации самородного золота в золотосеребряных (А) и золотомедных (Б) рудах (состав золота в табл. 9, фрейбергита в табл. 5): Au – золото, Fr₁ – 1 разновидность фрейбергита, Fr₂ – 2 разновидность фрейбергита, Chp – халькопирит, Pi – пирит

Fig. 9. Associations of native gold in gold-silver (A) and gold-copper (B) ores (composition of gold in table 9, freibergite-table 5): Au – gold, Fr₁ – 1 variety of freibergite, Fr₂ – 2 variety of freibergite, Chp – chalcopyrite, Pi – pyrite

стилолитовых швов. Содержания золота в пробе по данным атомно-абсорбционного анализа составляют от 0,86 до 1,94 г/т, серебра – 10,9 – 17,0 г/т, меди – от 0,28 до 0,4 %. На интервале от 94,5 до 95,4 м содержания золота составляют 1,8 г/т, серебра – 83,0 г/т. При микроскопическом изучении сульфидно-карбонатных руд были обнаружены две разновидности золота – светло-желтая и темно-желтая. Золотины мелкие, изометричной формы, располагаются на границе зерен пирита и халькопирита и в пирите. Изучение золота на микроанализаторе Jeol JSM-6480 LV показало, что на границе пирита и халькопирита оно представлено электрумом (проба 445,9 ‰) и кюстелитом (проба 263,2 ‰), который образует внешнюю кайму, в пирите золото более высокопробное (проба от 662,8 до 792,8 ‰). Ассоциация золота с халькопиритом и пиритом позволяет предполагать наличие на глубине золотомедных порфировых руд.

Обсуждение результатов

Общее представление о качестве руд Эндыбальской рудной горы изменилось. Ранее большинство исследователей, включая и авторов, считали эти руды «серебросвинцовыми» [2, 3]. Наши исследования показали, что главными носителями серебра в рудах являются фрейбергит и пираргирит, которые встречаются и в галенитовых, и в сфалеритовых минеральных типах руд. При этом все разновидности серебросодержащих руд золотоносны. Опробование Эндыбальской рудной горы показало, что по содержанию главных полезных компонентов руды разделились на золотосеребряные и золотомедные, а расположение минеральных типов руд в пространстве контролируется серией разломов северо-восточного простирания. Для руд, в целом, выявлены высокие содержания серебра (16–10000 г/т), золота (0–6,1 г/т), меди (0,02–2,98 ‰), свинца (0,02–42,51 ‰) и цинка (0,07–7,65 ‰), но при этом сохраняется положительная корреляция золота и серебра (рис. 10), что характерно для большинства месторождений золотосеребряной рудной формации [4].

По многим внешним признакам золотомедные руды Эндыбальской рудной горы могут быть отнесены к Au-Cu-порфировому типу, который входит в группу меднопорфировых месторождений. Известно, что меднопорфировая минерализация является базовой для месторождений многих типов [1], в том числе золотосеребряных, IOCG [5] и др. Выход на дневную поверхность сближенных в пространстве золотосеребряных и золотомедных руд свидетельствует о наличии вертикальной рудной зональности. Верхние рудные горизонты сложены

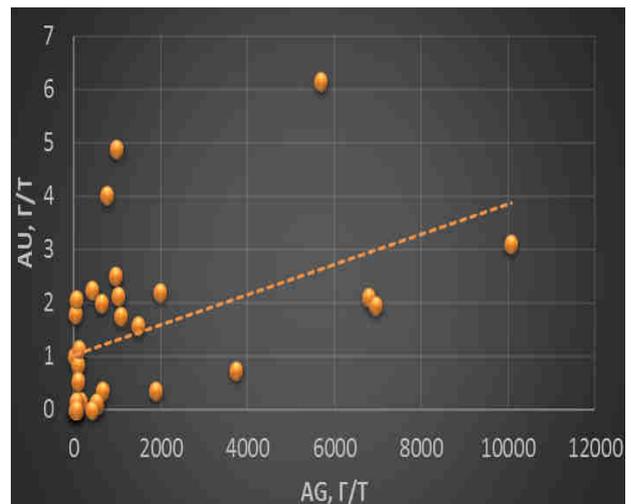


Рис. 10. Соотношение золота и серебра в рудах и линия тренда, свидетельствующая о положительной корреляции элементов

Fig. 10. Ratio of gold and silver in ores and trend line, indicating positive correlation of elements

разными минеральными типами серебряных руд. Золотомедные руды, по-видимому, распространяются на глубину до границы с эруптивными брекчиями. Ранее в пределах Эндыбальской трубки эруптивных брекчий была описана находка Fe-оксидных руд (обр. 5307) [6, 7], которая характеризует минерализацию, расположенную ниже золотомедной. Это не противоречит модели пространственной ассоциации и генетической связи Au-Cu порфировых и IOCG руд [5, 8–10].

Заключение

Установлена высокая сереброносность сфалеритовых руд, которые пространственно разделены с галенитовыми. На этом основании мы считаем, что к месторождению в целом применять термин «серебросвинцовое» не корректно. Устойчивый парагенезис золота и серебра в рудах и находки кюстелита в разных минеральных типах руд позволили обосновать золотосеребряный минеральный тип.

В целом минерализация Эндыбальской рудной горы относится к единой Cu-порфировой рудно-магматической системе, отдельные фрагменты которой вскрыты в современном эрозионном срезе (рис. 2) и представлены золотомедными рудами, которые содержат мало сульфидов, а золотосеребряное отношение в них 1:16 – 1:900. Золотосеребряные руды характеризуются высокой сульфидностью и сереброносностью, золотосеребряное отношение в них 1:180 – 1:5000. Fe-оксидные-Cu-Au (IOCG) руды возможны глубже золотомедных и, скорее всего, локализованы в эруптивных брекчиях.

Литература

1. Константинов М.М., Костин А.В., Сидоров А.А. Геология месторождений серебра. Якутск: Сахаполиграфиздат, 2003.
2. Костин А.В., Зайцев А.И., Шошин В.В., Ганеев А.Ш., Лобанов С.П. Сереброносная провинция Западного Верхоянья. Якутск: Изд-во СО РАН, 1997. 155 с.
3. Костин А.В. Новые данные о геологии Эндыбальского серебрянорудного узла (Западное Верхоянье, Якутия) // Отечественная геология. 2008. №5. С. 33–42.
4. Горячев Н. А. и др. Au-Ag-оруденение вулканогенных поясов северо-востока Азии // Литосфера. 2010. № 3. С. 36–50.
5. Pollard P. J. An intrusion-related origin for Cu–Au mineralization in iron oxide–copper–gold (IOCG) provinces // Mineralium Deposita. 2006. V. 41, no. 2. P. 179–187.
6. Kostin A.V. Iron-Oxide Cu-Au (IOCG) Mineralizing Systems: Eastern Yakutia Perspective // Journal of Environmental Science and Engineering. David Publishing Company. 2012. V. 9. P. 1045–1053. <https://doi.org/10.17265/2162-5263/2012.09.001>.
7. Kostin A.V., Vedyayev A.Y., Rafat G. Iron oxide Cu-Au (IOCG) mineralizing systems: an example from northeastern Russia // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2014. V. 114. P. 645–650.
8. Camprubí A., González-Partida E. Mesozoic magmatic–hydrothermal iron oxide deposits (IOCG ‘clan’) in Mexico: A review // Ore Geology Reviews. 2017. V. 81, part 3. P. 1084–1095. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.11.025>.
9. Camprubía A., González-Partidab E., López-Martínezc M. et. al. The Upper Cretaceous Guaynopita IOCG and Guaynopita porphyry copper deposits, Chihuahua, Mexico // Ore Geology Reviews. 2017. V. 81, part 3. P. 1096–1112. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.01.006>.
10. Tornos F. et al. The Tropezón Cu–Mo–(Au) deposit, Northern Chile: the missing link between IOCG and porphyry copper systems? // Mineralium Deposita. 2010. V. 45, no. 4. P. 313–321. DOI: 10.1007/s00126-010-0277-8.

References

1. Konstantinov M.M., Kostin A.V., Sidorov A.A. Geologiya mestorozhdenij serebra // Yakutsk: Sakhapoligrafizdat, 2003.
2. Kostin A.V., Zajtsev A.I., Shoshin V.V., Ganeev A.Sh., Lobanov S.P. Serebronosnaya provintsiya Zapadnogo Verkhoyan'ya. Yakutsk: Izd-vo SO RAN, 1997. 155 s.
3. Kostin A.V. Novye dannye o geologii Endybal'skogo serebrorudnogo uzla (Zapadnoe Verkhoyan'e, Yakutiya) // Otechestvennaya geologiya. 2008. № 5. S. 33–42.
4. Goryachev N.A. i dr. Au-Ag-orudnenie vulkanogennykh pojasov severo-vostoka Azii // Litosfera. 2010. № 3. S. 36–50.
5. Pollard P.J. An intrusion-related origin for Cu–Au mineralization in iron oxide–copper–gold (IOCG) provinces // Mineralium Deposita. 2006. V. 41, no. 2. P. 179–187.
6. Kostin A.V. Iron-Oxide Cu-Au (IOCG) Mineralizing Systems: Eastern Yakutia Perspective // Journal of Environmental Science and Engineering. David Publishing Company. 2012. V. 9. P. 1045–1053. <https://doi.org/10.17265/2162-5263/2012.09.001>.
7. Kostin A.V., Vedyayev A.Y., Rafat G. Iron oxide Cu-Au (IOCG) mineralizing systems: an example from northeastern Russia // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2014. V. 114. P. 645–650.
8. Camprubí A., González-Partida E. Mesozoic magmatic–hydrothermal iron oxide deposits (IOCG ‘clan’) in Mexico: A review // Ore Geology Reviews. 2017. V. 81, part 3. P. 1084–1095. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.11.025>.
9. Camprubía A., González-Partidab E., López-Martínezc M. et. al. The Upper Cretaceous Guaynopita IOCG and Guaynopita porphyry copper deposits, Chihuahua, Mexico // Ore Geology Reviews. 2017. V. 81, part 3. P. 1096–1112. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.01.006>.
10. Tornos F. et al. The Tropezón Cu–Mo–(Au) deposit, Northern Chile: the missing link between IOCG and porphyry copper systems? // Mineralium Deposita. 2010. V. 45, no. 4. P. 313–321. DOI: 10.1007/s00126-010-0277-8.

Поступила в редакцию 05.12.2018

Об авторах

КОСТИН Алексей Валентинович, доктор геолого-минералогических наук, зав. лабораторией, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 39, Россия,

<https://orcid.org/0000-0002-5778-6505>, kostin@diamond.ysn.ru;

ЖЕЛОНКИНА Мария Сергеевна, ведущий инженер, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 39, Россия,

<https://orcid.org/0000-0003-2309-3118>;

САВВИНОВА Лена Афанасьевна, начальник отдела, Акционерное общество «Прогноз», 677027, Якутск, ул. Орджоникидзе, 36/1, оф.601, Россия,

<https://orcid.org/0000-0002-3501-8150>.

About the authors

KOSTIN Aleksey Valentinovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Laboratory, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677980, Russia,

<https://orcid.org/0000-0002-5778-6505>, kostin@diamond.ysn.ru;

ZHELONKINA Mariya Sergeevna, Leading Engineer, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677980, Russia,

<https://orcid.org/0000-0003-2309-3118>;

SAVVINOVA Lena Afanas'evna, Head of Department, Joint-stock company «Prognoz», of. 601, 36/1 Ordzhonikidze St., Yakutsk, 677027, Russia,

<https://orcid.org/0000-0002-3501-8150>.