

## Геологическое строение и минералогия Мечниковского месторождения золота, Южный Урал

© 2019 г. И. Ю. Мелекесцева<sup>1</sup>, В. В. Зайков<sup>1,2</sup>, Г. А. Третьяков<sup>1</sup>,  
К. А. Филиппова<sup>1</sup>, В. А. Котляров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт минералогии УрО РАН, 456317, Челябинская обл., г. Миасс,  
e-mail: melekestseva-irina@yandex.ru

<sup>2</sup>Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе

Поступила в редакцию 01.02.2018 г., принята к печати 09.04.2018 г.

*Объект исследований.* В статье представлены результаты изучения Мечниковского месторождения золота в лиственитах и березитах Миасского района на Южном Урале. *Материалы и методы.* Материалы для исследований были отобраны на месторождении во время полевых работ 2010–2012 гг. Химический состав пород проанализирован методами классической мокрой химии (породообразующие оксиды) и ИСП МС (элементы-примеси). Состав минералов определен на электронном микроскопе с ЭДС. *Результаты.* Установлено, что месторождение состоит из тектонических пластин серпентинитов, карбонатизированных серпентинитов и лиственитов (пластина I), метадиабазов и плагиоклазовых метабазальтов ирендыкской свиты и березитов и вулканогенно-осадочных пород и метабазальтов карамалыташской свиты (пластина II). В центральной части месторождения вулканические породы прорваны дайкой мелкозернистых гранитов островодужного характера. Хромиты из серпентинитов месторождения характеризуются (в среднем) высокой хромистостью (89), низкими содержаниями Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (6.94 мас. %) и MgO (5.5 мас. %) и низкой магнизиальностью (29). Золотоносные породы представлены лиственитами, березитами и углеродистыми сланцами. Главный рудный минерал золотоносных пород – пирит; аксессуарные – минералы золота и серебра, халькопирит, блеклые руды, галенит, сфалерит, пирротин, кубанит, вазсит, мелонит, вторичные сульфиды меди, барит, рутил, монацит и ксенотим. В лиственитах с карбонат-кварцевыми жилами обнаружены самородное золото, петцит, штютцит и йодаргирит. В березитах и углеродистых сланцах золото присутствует в продуктах окисления кристаллов пирита и трещинах в пиритовых сростках. Золото Мечниковского месторождения характеризуется низкими содержаниями Ag (3.52 мас. %), присутствием небольшого количества Cu и Hg (<1 мас. % в большинстве анализов). *Выводы.* Листвениты и березиты Мечниковского месторождения образовались по ультраосновным и основным породам. Обнаружение золота в различных породах месторождения свидетельствует о процессах отложения золотого оруденения после формирования геологической структуры месторождения. Источником золота, скорее всего, была магматический флюид.

**Ключевые слова:** золото, листвениты, березиты, Мечниковское месторождение, Южный Урал

## Geological structure and mineralogy of the Mechnikovskoe gold deposit, the Southern Urals

Irina Yu. Melekestseva<sup>1</sup>, Victor V. Zaykov<sup>1,2</sup>, Gennady A. Tret'yakov<sup>1</sup>,  
Kseniya A. Filippova<sup>1</sup>, Vasily A. Kotlyarov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Mineralogy, Urals Branch, of Russian Academy of Sciences,  
Miass, Chelyabinsk district 456317, Russia, e-mail: melekestseva-irina@yandex.ru

<sup>2</sup>South Urals State University, Miass branch, Miass, Chelyabinsk district 456317, Russia

Received 01.02.2018, accepted 09.04.2018

*Subject.* The article presents the results of study of Mechnikovskoe gold deposit associated with listvenites and beresites of the Miass region of the Southern Urals. *Materials and methods.* Materials were sampled during the field work of 2010–2012. The chemical composition of rocks is analyzed by methods of classical chemistry (rock-forming oxides) and ICP MS (trace elements). The mineral composition is determined on an electron microscope with EDS. *Results.* The deposit is composed of tectonic sheets of serpentinites, carbonatized serpentinites and listvenites (sheet I), metadiabases and plagioclase metabasalts of the Irendyk Formation and beresites and volcanosedimentary rocks and metabasalts of the Karamalytash Formation (sheet II). In the central part of the deposit, the volcanic rocks are intruded by a dike of fine-grained island-arc granites. Chromites of serpentinites are characterized (on average) by high Cr# (89) and low Mg# (29) values and low contents of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (6.94 wt %) and MgO (5.5 wt %). Gold-bearing rocks include listvenites, beresites and

**Для цитирования:** Мелекесцева И.Ю., Зайков В.В., Третьяков Г.А., Филиппова К.А., Котляров В.А. (2019) Геологическое строение и минералогия Мечниковского месторождения золота, Южный Урал. *Литосфера*, 19(1), 111–138. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-1-111-138

**For citation:** Melekestseva I.Yu., Zaykov V.V., Tret'yakov G.A., Filippova K.A., Kotlyarov V.A. (2019) Geological structure and mineralogy of the Mechnikovskoe gold deposit, the Southern Urals. *Litosfera*, 19(1), 111–138. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-1-111-138

carbonaceous shales. The major ore mineral is pyrite; accessory minerals are Au and Ag minerals, chalcopyrite, fahlores, galena, sphalerite, pyrrhotite, cubanite, vaesite, melonite, secondary copper sulfides, barite, rutile, monazite and xenotime. Gold of the deposit contains low Ag contents (3.52 wt %) and minor amount of Cu and Hg (<1 wt % in most analyses). **Conclusions.** The listvenites and beresites of the deposit were formed after ultramafic and mafic rocks, respectively. The discovery of gold in various rocks indicates that gold mineralization was deposited after the formation of the geological structure of the deposit. The source of gold was most likely related to a magmatic fluid.

**Keywords:** gold, listvenites, beresites, Mechnikovskoe deposit, South Urals

#### Acknowledgments

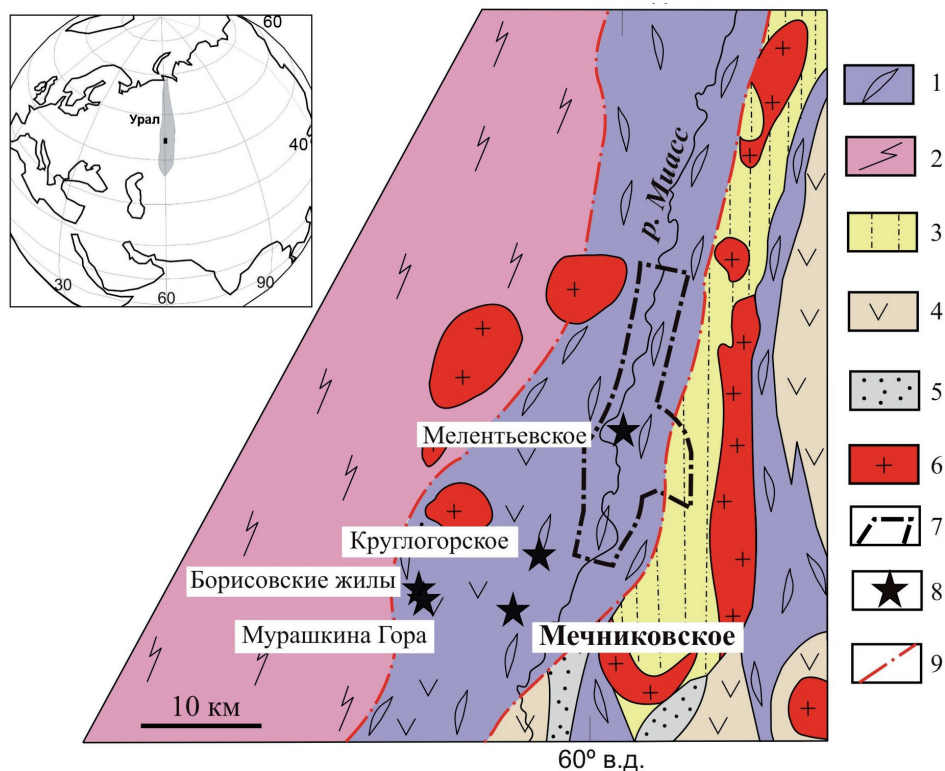
The authors are grateful to L.Ya. Kabanova, E.V. Belogub and N.R. Ayupova for consultations during research.

This work was supported by a State Contract of the Institute of Mineralogy of UB RAS No. AAAA-A16-11-602101044-0 and partly by Presidium of UB RAS No. 1511523.

## ВВЕДЕНИЕ

Миасский район на Южном Урале является одним из старейших золоторудных районов Урала с многочисленными коренными и россыпными ме-

сторождениями золота [Бородаевский, 1948]. Его россыпная часть, приуроченная к р. Миасс и ее притокам, получила название “Золотая долина”. Особенно знаменита находками крупных самородков золота территория бывшего Царево-Александр-

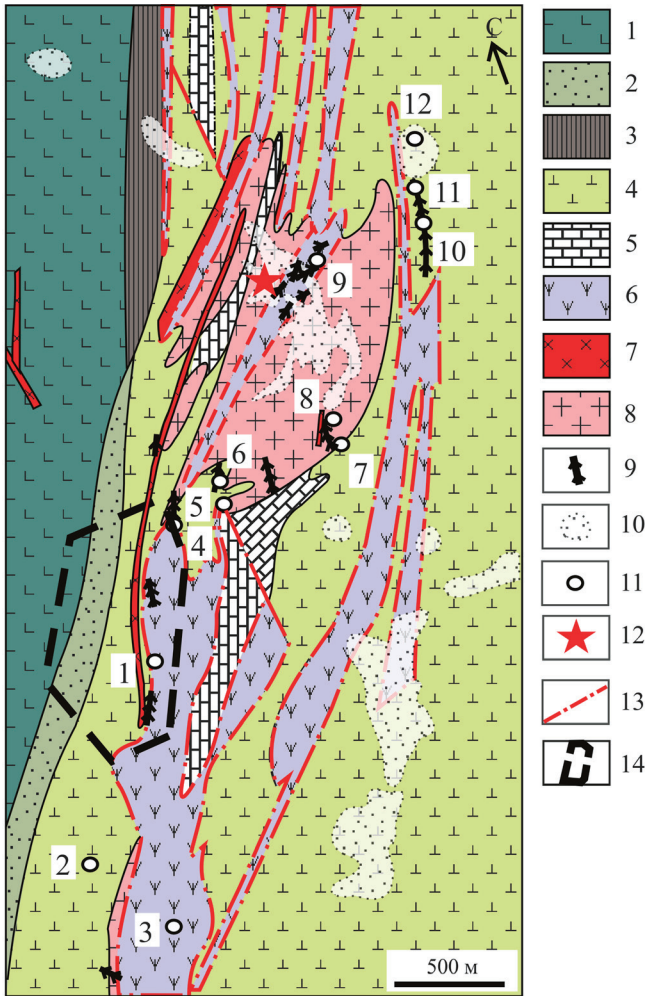


**Рис. 1.** Положение Мечниковского месторождения и соседних золоторудных и золотосодержащих месторождений на геологической схеме региона, по [Zaykov et al., 2017] с изменениями.

1 – зоны разломов, включающие блоки и пластины палеозойского офиолитового меланжа с ультрамафитами и палеозойских островодужных комплексов; 2 – протерозойские метаморфические сланцы; 3 – венд-кембрийские сланцы и амфиболиты; 4 – силурийско-девонские островодужные комплексы; 5 – девонско-каменноугольные осадочные комплексы; 6 – палеозойские гранитоиды; 7 – территория г. Миасса; 8 – золотосодержащие месторождения; 9 – граница сутурной зоны Главного Уральского разлома.

**Fig. 1.** Geological scheme of the region and position of the Mechnikovskoe and adjacent gold-bearing deposits, modified after [Zaykov et al., 2017].

1 – fault zones including blocks and sheets of Paleozoic ophiolite melange with ultramafic rocks and Paleozoic island-arc complexes; 2 – Proterozoic metamorphic schists; 3 – Vendian–Cambrian schists and amphibolites; 4 – Silurian–Devonian island-arc complexes; 5 – Devonian–Carboniferous sedimentary complexes; 6 – Paleozoic granitic rocks; 7 – territory of Miass; 8 – gold-bearing deposits; 9 – boundary of the suture zone of the Main Urals Fault.



**Рис. 2.** Схема геологического строения Мечниковского золоторудного поля, составленная с использованием данных Миасской ГРП с упрощениями и изменениями.

1–3 – карамалыташская свита, D<sub>2</sub>: 1 – metabasalts, 2 – вулканомиктовые метапесчаники, метагравелиты, метабрекчии, 3 – углеродистые сланцы; 4, 5 – ирендыкская свита, D<sub>1</sub>: 4 – плагиоклазовые metabasalts, 5 – известняки; 6 – серпентиниты с зонами метасоматитов (O-S?); 7 – граниты; 8 – диориты и кварцевые диориты; 9 – крупные кварцевые жилы; 10 – отработанные россыпи золота; 11 – в белых квадратах – месторождения и рудопроявления золота (1 – Мечниковское, 2 – Старо-Мечниковское, 3 – Первопавловское, 4 – Нагорновское, 5 – Казанковское, 6 – Колпаковское, 7 – Васянинское, 8 – Кашеевское, 9 – Беляки, 10 – Николаевское, 11 – Центральное, 12 – Колушинское); 12 – место находки самородка “Большой треугольник”; 13 – тектонические границы; 14 – контур детальной схемы Мечниковского месторождения.

**Fig. 2.** Geological structure of Miass gold field, simplified and modified after unpublished reports of Miass geological exploration enterprise.

1–3 – Middle Devonian Karamalytash Formation: 1 – metabasalts, 2 – volcanomictic metasandstones, metagravelites, metabreccias, 3 – quartz-sericite carbonaceous shales; 4–5 – Early Devonian Irendyk Formation: 4 – plagioclase metabasalts, 5 – limestones in the basement of Irendyk Formation; 6 – serpentinites with zones of metasomatites, Ordovician–Silurian(?); 7 – granites; 8 – diorites and quartz diorites; 9 – large quartz veins; 10 – extracted gold placers; 11 – in white squares – gold deposits and occurrences and their numbers (1 – Mechnikovskoe, 2 – Staro-Mechnikovskoe, 3 – Pervopavlovskoe, 4 – Nagornovskoe, 5 – Kazankovskoe, 6 – Kolypakovskoe, 7 – Vasyaninskoe, 8 – Kashcheevskoe, 9 – Belyaki, 10 – Nikolaevskoe, 11 – Tsentral’noe, 12 – Kolyushchinskoe); 12 – place of finding of “Big Triangle” gold nugget; 13 – tectonic boundaries of serpentinites; 14 – area of the detailed map of the Mechnikovskoe deposit.

ровского прииска в юго-западной части Миасского золоторудного района (ныне территория пос. Ленинск в 21 км к юго-западу от г. Миасса) (рис. 1). В 1842 г. на территории прииска в р. Ташкутарганка был найден самородок золота “Большой треугольник” массой 36 кг, который в настоящее время хранится в Алмазном Фонде Российской Федерации (г. Москва). В районе поселка известно множество небольших месторождений и рудопроявлений коренного золота – Старо-Мечниковское, Первопавловское, Нагорновское, Казанковское, Колпаковское, Сафроновское, Васянинское, Кашеевское, Чистогоровское и др. (рис. 2). Наиболее крупным объектом является Мечниковское месторождение, расположенное в центральной части поселка. Месторождение было открыто горным инженером Евграфом Мечниковым (рис. 3) в 1797 г. и периодически отрабатывалось карьерами и шахтами до глубины 30–40 м [Бородаевский, 1948]. С 1707 по 1929 г. здесь было добыто 3273 кг золота [Кураев, 1929]. Считается, что именно на территории Мечниковского месторождения Густав Розе в 1837 г. впервые описал породы зеленого цвета – листвениты, предложив для них название от русского слова “ли-



**Рис. 3.** Евграф Ильич Мечников.

**Fig. 3.** E.I. Mechnikov.

ственница” [Rose, 1837]. Основные сведения о геологическом строении Мечниковского месторождения опубликованы Н.И. Бородаевским [1948]. В последнее время к небольшим по запасам месторождениям золота возрос интерес производственных организаций. В связи с этим стало необходимым охарактеризовать геологическое строение месторождения в соответствии с современными представлениями о геологии Уральского складчатого пояса, а также вещественный и химический состав вмещающих и золотоносных пород и рудных минералов, исследованный с использованием современных аналитических методов.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые работы на месторождении, включающие составление схемы его геологического строения и отбор образцов для исследований, проводились в 2010–2012 гг. Из образцов вмещающих пород были изготовлены шлифы и аншлифы, которые изучались под микроскопом Axiolab (Carl Zeiss) в Институте минералогии УрО РАН (ИМин УрО РАН, г. Миасс). Состав некоторых минералов определен на электронном микроскопе РЭММА-202М с энергодисперсионной приставкой (аналитик В.А. Котляров, ИМин УрО РАН).

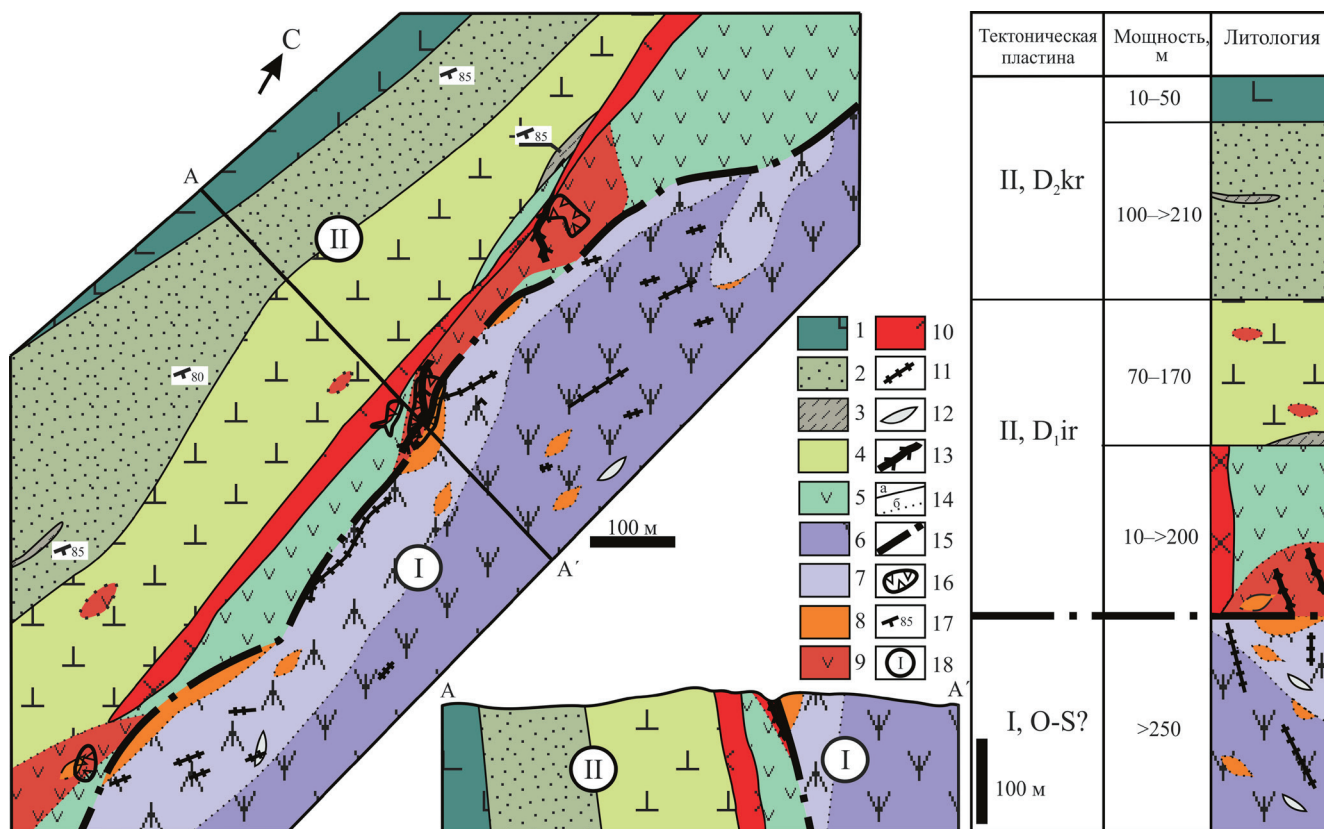
Химический состав пород проанализирован в Южно-Уральском центре коллективного пользования по исследованию минерального вещества (аттестат № РОСС RU.0001.514536, ИМин УрО РАН). Содержание порообразующих оксидов определено методами классической мокрой химии (аналитики Т.В. Семенова, М.Н. Маляренко), содержание элементов-примесей проанализировано на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7700x (аналитики К.А. Филиппова, М.С. Свиренко). Кислотное вскрытие проб выполнено в микроволновой системе разложения Speed-Wave (Berghoff, Германия) в автоклавах из фторопласта при двухступенчатом нагреве до температуры 180°C в течение 40 мин. смесью кислот HF, HCl и HNO<sub>3</sub>. Деструкция фторидных комплексов после разложения проведена путем двукратного выпаривания сухого остатка пробы с концентрированной HNO<sub>3</sub> при температуре 110°C в стеклоуглеродных тиглях. Полученные осадки растворялись в горячей 0.5 н HNO<sub>3</sub> и сводились к аликвоте 100 мл. Все кислоты исходной квалификации “о.с.ч.” были дополнительно очищены на установке дистилляции BSB-939-IR (Berghoff, Германия). Для разбавления использовалась деионизированная вода (установка MilliQ, Millipore, США). Чистота аргона во всех измерениях была не ниже 99.996%. Калибровка масс-спектрометра выполнена с использованием стандартных мультиэлементных растворов фирмы Agilent и ГСО для всей шкалы масс анализируемых элементов. Схема анализа включала:

анализ градуировочных растворов и построение градуировочных прямых с двумя точками для концентраций 1 и 100 мкг/л; анализ “холостой” пробы (проба, прошедшая все последовательно указанные процедуры); анализ проб с включением замера градуировочного раствора в середине измеряемой партии проб. Для метрологического контроля качества анализа использовался международный стандарт базальта BCR-2. Значения относительных стандартных отклонений в процессе измерений не превышали величин, установленных для данных средств измерения.

### ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Мечниковское месторождение находится в структуре Главного Уральского разлома и приурочено к контакту серпентинитов с вулканическими породами (рис. 4). В строении месторождения принимают участие вытянутые в ССВ-ЮЮЗ направлении тела (пластины) серпентинитов, карбонатизированных серпентинитов, лиственитов и березитов, диабазов, плагиоклазовых базальтов, вулканомиктовых обломочных пород, а также дайка мелкозернистых гранитов. Учитывая принадлежность вулканогенно-осадочных пород ирендыкской и карамалыташской свит к островодужным комплексам [Серавкин, 1986; Зайков, 2006; Косарев и др., 2005, 2006], ультрамафитов – к офиолитовой ассоциации и представления о формировании структуры Главного Уральского разлома в результате позднепалеозойской коллизии структур различного геодинамического происхождения [Пучков, 2000; Puchkov, 2017], предполагается, что контакт между вулканогенно-осадочными толщами и ультрамафитами тектонический. Простираение контакта северо-северо-восточное 15–25°, падение юго-восточное под углом 75–85°.

Тектоническая пластина I образована серпентинитами и образованными по ним метасоматитами. *Серпентиниты* слагают крупное тело длиной более 1 км и шириной до 200 м в восточной части месторождения (см. рис. 4). Внутри тел серпентинитов отмечаются линзы карбонатизированных серпентинитов и лиственитов. Серпентиниты представлены в основном массивными и пятнистыми антигоритовыми разновидностями зеленого, темно-зеленого, темно-серого цветов (рис. 5а). Текстуры пород однородные, местами мелкопятнистые, иногда с тонкими ветвящимися офитовыми прожилками. Микроструктура решетчатая, петельчатая, реже пластинчатая. Породы состоят главным образом из тонкочешуйчатого антигорита, который нередко рассекается прожилками хризотила. Часто серпентиниты слабо карбонатизированы и оталькованы, в них присутствует вкрапленность пирита, изредка – хлорит. Реликты первичных пород в серпенти-



**Рис. 4.** Схема геологического строения, предполагаемый разрез и тектоностратиграфическая колонка Мечниковского месторождения, составлены И.Ю. Мелекесцевой и Г.А. Третьяковым.

1-3 – карамалыташская свита, D<sub>2</sub>: 1 – metabasalts, 2 – вулканомиктовые метапесчаники, метагравелиты, метабрекчии, 3 – глинистые сланцы; 4 – плагиоклазовые метабазальты (ирендыкская свита, D<sub>1</sub>); 5 – метадиабазы (ирендыкская свита, D<sub>1</sub>); 6 – серпентиниты (O-S?); 7 – карбонатизированные серпентиниты; 8 – тальк-карбонатные породы и листвениты; 9 – березиты; 10 – граниты; 11 – дайки металампрофиров, метабазальтоидов; 12 – будины кремней (внемасштабный знак); 13 – крупные кварцевые жилы; 14 – геологические границы: а – между породами различного состава, б – между первичной породой и метасоматитами; 15 – предполагаемая тектоническая граница; 16 – основные карьеры; 17 – элементы залегания; 18 – номера тектонических пластин.

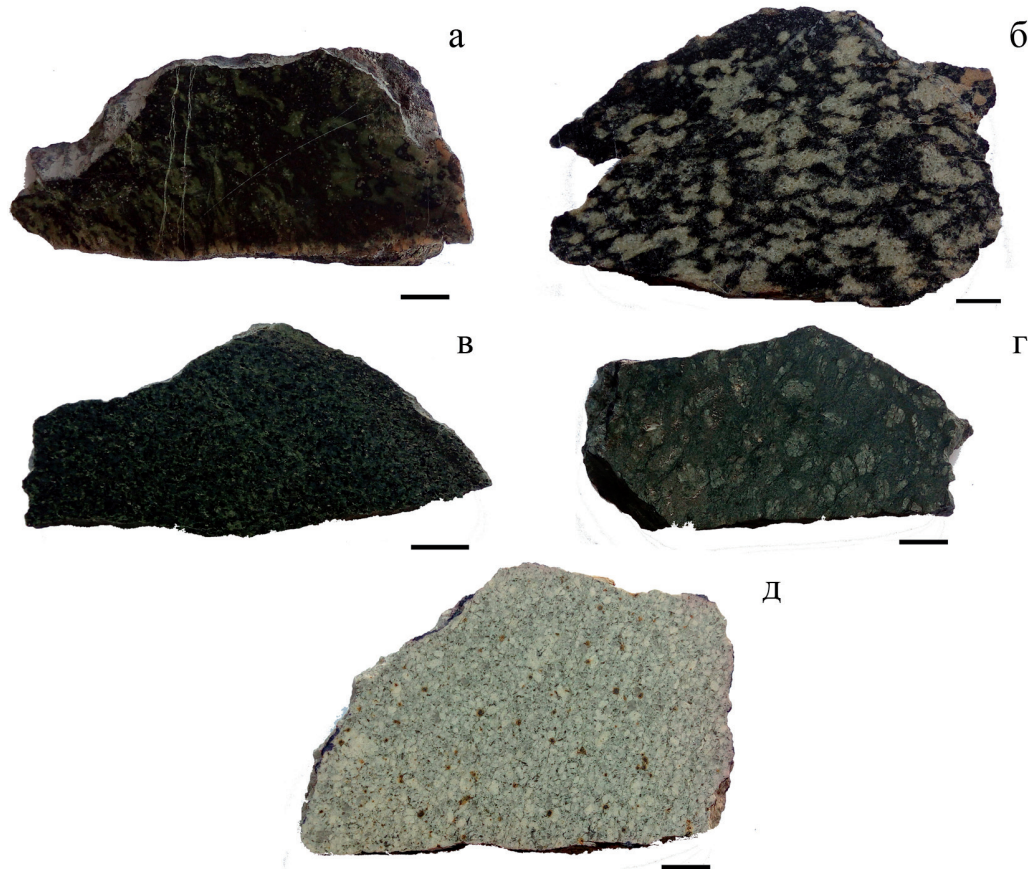
**Fig. 4.** Geological structure, cross-section and tectono-stratigraphic column of the Mechnikovskoe deposit, composed by I.Yu. Melekstseva and G.A. Tret'yakov.

1-3 – Karamalytash Formation, Middle Devonian: 1 – metabasalts, 2 – volcanomictic metasandstones, metagraelites, metabrecias, 3 – clayey shales; 4 – plagioclase metabasalts, Irendyk Formation, Early Devonian; 5 – metadiabases, Irendyk Formation, Early Devonian; 6 – serpentinites (Ordovician-Silurian?); 7 – carbonatized serpentinites; 8 – talc-carbonate rocks and gold-bearing listvenites; 9 – gold-bearing beresites; 10 – granites; 11 – dikes of metalamprophyres, metabasaltoids; 12 – cherts (not to scale); 13 – large quartz veins; 14 – geological boundaries; 15 – inferred tectonic boundary; 16 – main quarries; 17 – bedding elements; 18 – numbers of tectonic sheets.

нитах не сохранились, кроме зерен хромита, мельчайшая вкрапленность которых часто подчеркивает петельчатую текстуру.

Хромиты представлены идио- и гипидиоморфными кристаллами или округлыми зернами размером до 0.5 мм, которые по краям замещаются магнетитом и пересекаются его тонкими просечками (рис. 6а, б). Хромит из серпентинитов характеризуется заметно варьирующими содержаниями Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (50.95-62.35) и ΣFeO (25.72-34.14 мас. %), стабильными содержаниями Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5.90-8.85) и MgO (5.14-6.14 мас. %) и невысокой примесью MnO (0.01-0.61 мас. %) (табл. 1). Содержание TiO<sub>2</sub> в

хромитах ниже предела обнаружения электронного микроскопа с энергодисперсионной приставкой (0.02 мас. %). В то же время содержания TiO<sub>2</sub> на уровне чувствительности электронного микроскопа и выше фиксируются в хромсодержащем мусковите (далее – фуксите), который замещает хромит в лиственитах. По составу хромшпинелиды соответствуют хромиту и субферрихромиту (рис. 7). По сравнению с аксессуарными хромитами из серпентинитов южно-уральских гипербазитовых массивов [Савельев, 2013] хромит из серпентинитов Мечниковского месторождения отличается наивысшей хромистостью (в среднем 89), (рис. 8), самым низ-



**Рис. 5.** Вмещающие породы Мечниковского месторождения.

а – аподунитовый серпентинит, обр. Лен-26; б – карбонатизированный серпентинит, обр. Лен-19; в – метадолерит, обр. Лен-17; г – плагиоклазовый метабазалт, обр. Лен-28; д – пиритизированный гранит, обр. Лен-34. Масштабная линейка 1 см.

**Fig. 5.** Host rocks of the Mechnikovskoe deposit.

а – serpentinite after dunite, sample Len-26; б – carbonatized serpentinite, sample Len-19; в – metadolerite, sample Len-17; г – plagioclase metabasalt, sample Len-28; д – pyritized granite, sample Len-34. Scale bar is 1 cm.

ким содержанием  $Al_2O_3$  (в среднем 6.94 мас. %) и одними из самых низких содержаний  $MgO$  (в среднем 5.5 мас. %) и магнезиальности (в среднем 29). Высокая хромистость хромита из ультрамафитов месторождения указывает на их принадлежность к надсубдукционным перидотитам (см. рис. 8).

На расстоянии от 50 м (в северной части месторождения) до 150 м (в южной) от контакта с вулканогенной толщей выделяется зона интенсивно *карбонатизированных серпентинитов*, среди которых отмечаются линзы серпентинитов, лиственитов и карбонат-тальковых пород (см. рис. 4). Карбонатизированные серпентиниты макроскопически характеризуются пятнистой текстурой (см. рис. 5б). Количество новообразованного карбоната (главным образом магнезита) и талька в них достигает 50%. Карбонаты образуют агрегаты гипидиоморфных кристаллов, которые замещаются тальком.

В пластине ультрамафитов наблюдаются многочисленные дайки северо-восточного простирания мощностью первые метры *хлоритизирован-*

*ных миндалекаменных базальтов* и полнокристаллических *эпидот-актинолит-кварц-хлоритовых пород* с реликтами роговой обманки, пироксенов, плагиоклаза (андезина-лабрадора), ортоклаза и новообразованными альбитом, эпидотом, цоизитом. Судя по ассоциации первичных минералов, порода относится к группе лампрофиров (спессартит). Также в ультрамафитовой пластине отмечаются блоки *светло-серых полосчатых кремнистых сланцев* северо-восточного и северного простирания размером до 20 м в длину и видимой мощностью до 4.5 м.

Параллельно поверхности контакта вулканогенной толщи и ультрамафитов выделяется серия кулисно расположенных линзовидных тел *лиственитов* мощностью от 1.5 до 10 м [Бородаевский, 1948], а также *тальк-карбонатных и карбонат-тальковых пород* (см. рис. 4). Тела последних приурочены к контактам серпентинитов и карбонатизированных серпентинитов, карбонатизированных серпентинитов и лиственитов либо карбонатизиро-

Таблица 1. Состав хромшпинелидов Мечниковского месторождения, мас. %

Table 1. Composition of chromites of the Mechnikovskoe deposit, wt %

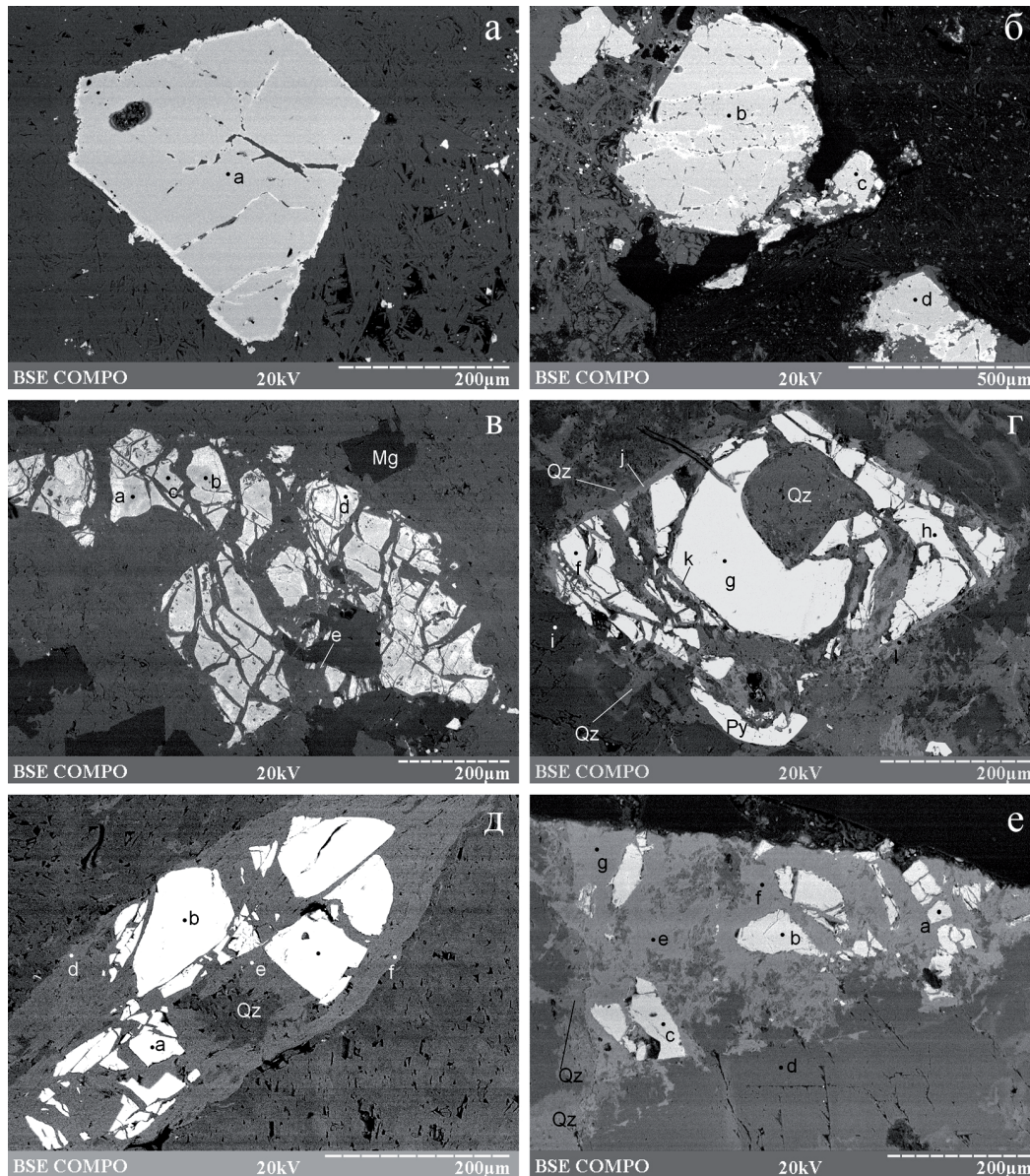
№ п.п.	№ обр.	№ ан.	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	ΣFeO	MnO	ZnO	Сум-ма	Cr#	Mg#	Кристаллохимическая формула для средних содержаний
Серпентиниты												
1	Лен 64-1	22183a	60.22	6.58	6.14	26.47	0.01	–	99.41	86	32	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0.68</sub> Mg <sub>0.32</sub> ) <sub>1.00</sub> (Cr <sub>1.65</sub> Al <sub>0.27</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0.08</sub> ) <sub>2.00</sub> O <sub>4.00</sub>
2	Лен 64-2	22182a	50.95	8.85	5.23	34.14	–	–	99.16	92	27	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0.73</sub> Mg <sub>0.27</sub> ) <sub>1.00</sub> (Cr <sub>1.46</sub> Al <sub>0.32</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0.22</sub> ) <sub>2.00</sub> O <sub>4.00</sub>
3		22182b	54.53	7.87	5.29	31.63	–	–	99.32			
4		22182c	54.21	7.27	5.39	32.36	–	–	99.22			
		Среднее	53.23	8.00	5.30	32.71	–	–	99.23			
5	Лен 63	22183b	59.85	6.08	5.62	27.59	0.09	–	99.22	87	28	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0.71</sub> Mg <sub>0.28</sub> Mn <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub> (Cr <sub>1.68</sub> Al <sub>0.25</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0.08</sub> ) <sub>2.00</sub> O <sub>4.00</sub>
6		22183c	62.35	6.03	5.14	25.72	0.61	–	99.86			
7		22183d	59.88	5.90	5.43	27.54	0.41	–	99.16			
		Среднее	60.69	6.00	5.40	26.95	0.37	–	99.41			
		Среднее	57.43	6.94	6.14	29.35	0.28			89	32	
		Медиана	59.85	6.58	5.39	27.59	0.25			85	28	
Листвиниты												
8	Лен 91-1	22184a	46.99	19.47	2.83	29.45	–	0.62	99.36	62	15	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0.83</sub> Mg <sub>0.15</sub> Zn <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub> (Cr <sub>1.25</sub> Al <sub>0.76</sub> ) <sub>2.01</sub> O <sub>4.00</sub>
9		22184b	47.12	18.89	2.21	30.88	–	0.55	99.65			
10		22184c	47.27	19.59	3.80	28.35	–	0.39	99.40			
		Среднее	47.13	19.32	2.95	29.56	–	0.52	99.47			
11	Лен 91-2	22185f	57.91	8.79	2.56	30.31	–	0.41	99.99	81	13	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0.86</sub> Mg <sub>0.13</sub> Zn <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub> (Cr <sub>1.62</sub> Al <sub>0.36</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0.02</sub> ) <sub>2.00</sub> O <sub>4.00</sub>
12		22185g	59.17	8.69	3.09	28.53	–	0.25	99.73			
13		22185h	58.27	8.69	1.90	30.54	–	0.45	99.85			
		Среднее	58.45	8.72	2.52	29.79	–	0.37	99.86			
14	Лен 91-2-2	22185a	50.39	16.10	2.45	30.87	–	0.09	99.90	68	9	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0.90</sub> Mg <sub>0.09</sub> Zn <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub> (Cr <sub>1.36</sub> Al <sub>0.64</sub> ) <sub>2.00</sub> O <sub>4.00</sub>
15		22185b	50.22	15.70	1.46	31.73	–	0.63	99.74			
16		22185c	50.30	16.18	1.38	31.65	–	0.34	99.86			
		Среднее	50.30	15.99	1.76	31.42	–	0.35	99.83			
17	Лен 10	22186a	59.28	9.74	5.87	24.88	–	0.15	99.92	80	38	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0.61</sub> Mg <sub>0.38</sub> ) <sub>0.99</sub> (Cr <sub>1.60</sub> Al <sub>0.41</sub> ) <sub>2.01</sub> O <sub>4.00</sub>
18		22186b	60.33	10.34	8.59	19.87	0.17	0.19	99.50			
19		22186c	60.33	10.42	8.22	20.14	0.19	0.07	99.37			
		Среднее	59.98	10.17	7.56	21.63	0.12	0.14	99.60			
20	Лен 74-3-1	22189a	63.83	6.72	7.49	21.70	0.06	–	99.80	87	41	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0.59</sub> Mg <sub>0.41</sub> Mn <sub>0.01</sub> ) <sub>1.00</sub> (Cr <sub>1.73</sub> Al <sub>0.26</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0.01</sub> ) <sub>2.00</sub> O <sub>4.00</sub>
21		22189b	64.70	5.91	8.27	20.20	0.58	–	99.65			
22		22189c	64.24	6.48	8.08	20.73	0.25	–	99.77			
		Среднее	64.26	6.37	7.95	20.88	0.30	–	99.74			
		Среднее	56.02	12.11	4.55	26.66	0.21	0.35		82	23	
		Медиана	58.72	10.04	2.96	28.99	0.18	0.34		77	15	

Примечание. Cr# = 100Cr/(Cr+Al), Mg# = 100Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>). Прочерк – содержание ниже предела чувствительности.

Note. Cr# = 100Cr/(Cr+Al), Mg# = 100Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>). Dash – content of oxide is below detection limit.

ванных серпентинитов и вулканогенной толщи (см. рис. 4). Тальк-карбонатные и карбонат-тальковые метасоматиты состоят из магнезита (реже доломита) и талька в различных пропорциях и характеризуются массивной или полосчатой текстурами. Породы рассечены кварцевыми и карбонатными прожилками мощностью до 5 мм, кварц также образует мелкозернистые агрегаты вокруг кристаллов карбонатов. Изредка в породах обнаруживаются хлорит и реликты хромита. Рудные минералы представлены пиритом и арсенопиритом. Пирит помимо кубических кристаллов размером до 0.5 мм образует также пылевидную вкрапленность. Арсенопирит наблюдается в виде отдельных кристаллов до 0.5 мм по удлинению.

На западе ультрамафитовая пластина контактирует с вулканогенной толщей (тектонической пластиной II), которая состоит из пород ирендыкской и карамалыташской свит (по материалам Миасской ГРП) (см. рис. 4). В нижней части пластины (непосредственно на контакте с ультрамафитами) залегают тела базальтоидов, вероятно *метадолеритов*, первичная структура которых практически не сохранилась (см. рис. 5в). В основной массе породы, замещенной хлоритом, эпидотом, актинолитом и карбонатом, присутствуют реликты лейст плагиоклаза размером до 2 мм и вкрапленников пироксена. Плагиоклаз замещается кварцем, хлоритом, эпидотом, карбонатами, альбитом; пироксен практически полностью замещен актинолитом. Породы



**Рис. 6.** Хромиты в серпентинитах (а, б) и лиственитах (в–е) Мечниковского месторождения.

а – идиоморфные (обр. Лен-64), б – гипидиоморфные (обр. Лен-63) кристаллы хромита, которые замещаются хроммагнетитом по краям и трещинам; в–е – кристаллы хромитов, замещаемые Cr-содержащим мусковитом (фукситом): обр. Лен-73-1-2 (в), Лен-91-2 (г), Лен-10 (д), Лен-91-1(е). *Mg* – магнезит, *Qz* – кварц, *Py* – пирит. Латинские буквы – точки анализов.

**Fig. 6.** Chromites in serpentinites (a, б) and listvenites (в–е) of the Mechnikovskoe deposit.

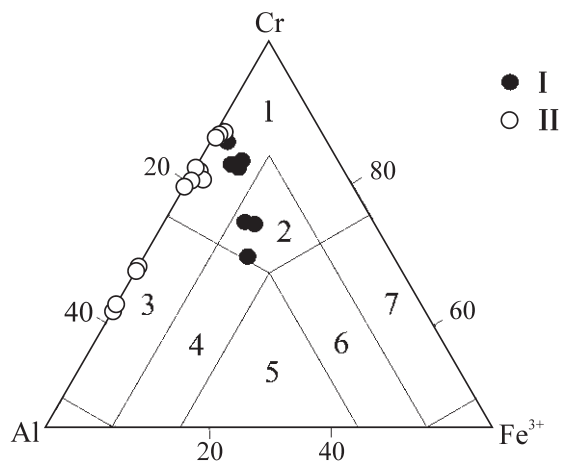
а – euhedral (sample Len-64), б – subhedral (sample Len-63) crystals of chromite, which are replaced by Cr-magnetite along the rims and cracks; в–е – crystals of chromite, which are replaced by Cr-bearing muscovite (fuchsite), samples: Len-73-1-2 (в), Len-91-2 (г), Len-10 (д), Len-91-1(е). *Mg* – magnesite, *Qz* – quartz, *Py* – pyrite. Latin letters – points of analyses.

рассечены тонкими мономинеральными прожилками кальцита, кварца, эпидота.

Верхняя часть толщи вулканитов ирендыкской свиты сложена сильно измененными *плаггиоклазовыми метабазами* (см. рис. 4), в которых размер вкрапленников плаггиоклаза достигает 1 см в длину (см. рис. 5г). Основная масса пород полностью замещена кварц-актинолит-хлоритовым

агрегатом с новообразованными мелкими кристаллами альбита. В основной массе также наблюдаются реликты лейст плаггиоклаза размером менее 0.5 мм в длину; плаггиоклаз замещается более тонкозернистыми агрегатами, кварца, серицита, актинолита, хлорита, эпидота, карбоната. Породы рассечены тонкими кварцевыми и эпидотовыми прожилками.





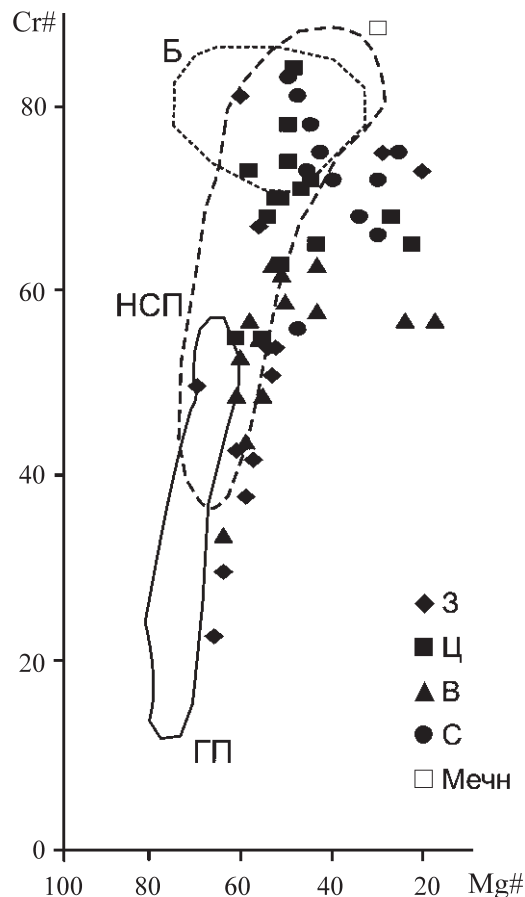
**Рис. 7.** Положение фигуративных точек составов хромитов из серпентинитов и лиственитов Мечниковского месторождения на классификационной диаграмме.

Хромиты из серпентинитов (I) и лиственитов (II). Поля составов хромитов [Павлов, 1949]: 1 – хромит, 2 – субферрихромит, 3 – алюмохромит, 4 – субферриалюмохромит, 5 – ферриалюмохромит, 6 – субалюмоферрихромит, 7 – феррихромит.

**Fig. 7.** Position of the data points of chromite composition from serpentinites and listvenite of the Mechnikovskoe deposit.

Chromites from serpentinites (I) and listvenite (II). The compositional fields of chromites after [Pavlov, 1949]: 1 – chromite, 2 – subferrichromite, 3 – aluminochromite, 4 – subferrialuminochromite, 5 – ferrialuminochromite, 6 – subaluminoferrichromite, 7 – ferrichromite.

С запада вулканиты ирендыкской свиты контактируют с вулканитами карамалыташской свиты. Ее нижняя часть представлена *вулканомиктовыми метапесчаниками, метагравелитами и metabрекчиями* с прослоями глинистых сланцев (см. рис. 4). Мощность пород карамалыташской свиты в пределах месторождения составляет 100–250 м. Простирание вулканогенно-обломочных пород соответствует простираению общей структуры месторождения, угол падения 80–85°. Породы сильно рассланцованы и характеризуются плитчатой отдельностью. Многие обломки пород размером от 2 до 6 см имеют линзовидную или уплощенную форму и вытянуты по направлению простираения, реже встречаются изометричные обломки. Обломки представлены карбонатизированными и хлоритизированными вулканогенными породами (измененными афировыми и плагиоклазовыми метабазальтами) и кремнями, заключенными в псефитопсаммитовый матрикс. Под микроскопом обломки состоят из кварц-эпидот-актинолитовых агрегатов с реликтами плагиоклаза, пироксенов, роговой обманки; микрозернистых кварцитов; хлоритсерицитовых сланцев; лейст плагиоклаза. Цемент



**Рис. 8.** Положение фигуративной точки среднего значения хромистости и магнезиальности хромитов из серпентинитов Мечниковского месторождения в сравнении с таковыми для ультрамафитовых пород Западного (3), Центрального (Ц) и Восточного (В) поясов и северной части (С) Южного Урала по [Савельев, 2013].

Поля: Б – бониниты, по [Arai, 1992], НСП – надсубдукционные перидотиты, по [Choi et al., 2008], ГП – глубоинные перидотиты, по [Dick, Bullen, 1984].

**Fig. 8.** Position of the data point of average Cr# and Mg# values of chromite from serpentinites of the Mechnikovskoe deposit in comparison with those of ultramafic rocks of the Western (3), Central (Ц), and Eastern (В) belts and northern part (С) of the South Urals after [Savel'ev, 2013]

Fields: Б – boninites after [Arai, 1992], НСП – suprasubduction peridotites after [Choi et al., 2008], ГП – deep peridotites after [Dick, Bullen, 1984].

сложен тонкозернистым кварцем и хлоритом с многочисленными мелкими обломками вышеназванных пород.

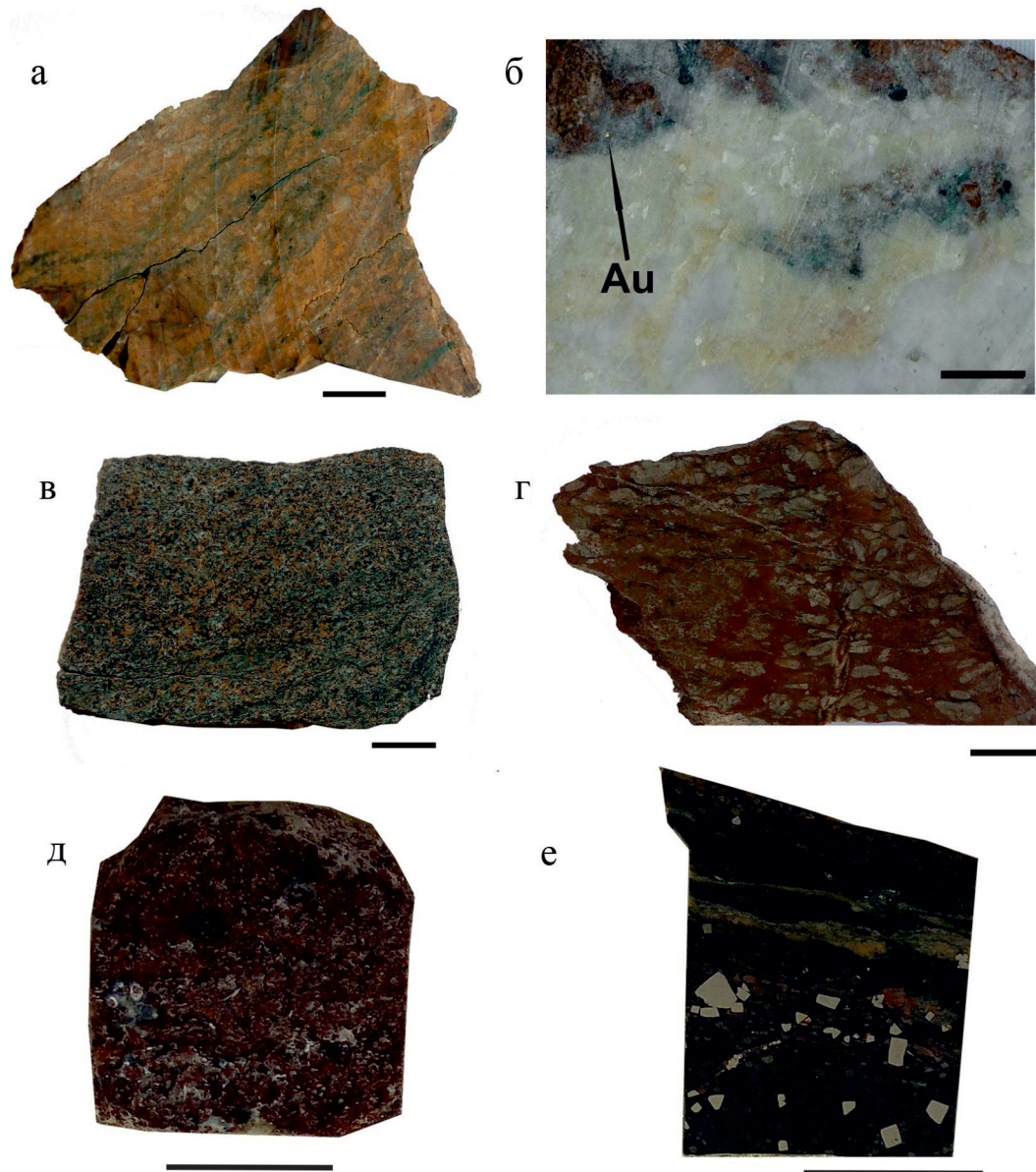
Верхняя часть карамалыташской свиты представлена сильно хлоритизированными, эпидотизированными и карбонатизированными *микропорфировыми метабазальтами* (см. рис. 4) с вкраплениями плагиоклаза, видимыми под микроскопом.

В центральной части месторождения вулканогенная толща прорвана дайкой *мелкозернистых гранитов* мощностью первые десятки метров (см. рис. 4). Породы интенсивно окварцованы, серицитизированы, альбитизированы, карбонатизированы (доломит); первичные минералы (кварц, плагиоклаз и ортоклаз) встречаются в виде реликтов (см. рис. 5д). Граниты сильно ожелезнены из-за окисле-

ния многочисленных кубических кристаллов пирита размером до 1 мм.

### ЗОЛОТОНОСНЫЕ ПОРОДЫ

Золото на Мечниковском месторождении найдено в лиственитах, березитах и углеродистых сланцах.



**Рис. 9.** Золотоносные породы Мечниковского месторождения.

а – лиственит с фукситовыми прожилками, обр. Лен-86; б – золото на контакте лиственита с карбонат-кварцевой жиллой, обр. Лен-10; в – березитизированный метадолерит, обр. Лен-30; г – березитизированный плагиоклазовый метабаза́лт, обр. Лен-38; д – березит, обр. Лен-74; е – кварц-серицитовый углеродистый сланец с пиритом, обр. Лен-24. Масштабная линейка 1 см.

**Fig. 9.** Gold-bearing rocks of the Mechnikovskoe deposit.

а – listvenite with fuchsite veinlets, sample Len-86; б – gold at the contact between listvenite and carbonate-quartz vein, sample Len-10; в – beresitized metadolerite, sample Len-30; г – beresitized plagioclase metabasalt, sample Len-38; д – beresite, sample Len-74; е – quartz-sericite carbonaceous shale with pyrite, sample Len-24. Scale bar is 1 cm.

**Листвениты.** Общая длина серии линз лиственитов по простиранию около 80 м, по падению они прослежены скважинами до глубины 72 м (неопубликованные данные Н.И. Бородаевского и др., 1946 г.). Вкрест простирания листвениты пересекаются карбонат-кварцевыми прожилками мощностью до 15 см с сульфидами и золотом. Максимальное содержание золота в лиственитах – 2.5 г/т.

Листвениты представляют собой полосчатую кварц-карбонатную или карбонат-кварцевую породу желтовато-зеленого цвета с многочисленными кварцевыми и карбонат-кварцевыми прожилками (рис. 9а). Карбонаты представлены в основном магнезитом (мас. %: MgO – 43.26–43.76, FeO – 6.43–5.91, CaO – 0.05–0.31, CO<sub>2</sub> – 49.80–50.70, сумма – 99.54–100.36), реже – доломитом (мас. %: CaO – 29.93, MgO – 21.15, FeO – 1.63, CO<sub>2</sub> – 47.30, сумма – 100.01). Листвениты содержат вкрапленность пирита и халькопирита и иногда самородное золото в кварцевых прожилках, на контактах кварцевых прожилков с лиственитами и в сульфидах (рис. 9б). Тонкочешуйчатые сростки ярко-зеленого фуксита с содержанием Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от 2 до 10 мас. % (табл. 2) образуют линзовидные и полосчатые агрегаты в породе. Повышенные со-

держания хрома характерны для фуксита, замещающего хромит.

Под микроскопом в лиственитах обнаруживаются раздробленные кристаллы и зерна хромита, которые замещены фукситом по краям и по трещинам (рис. 6в–е). Состав хромитов из лиственитов сильно варьирует по сравнению с таковым из серпентинитов: в них существенно повышены содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (до 19.59 мас. %), понижены – MgO (до 1.38 мас. %), появляется цинк (0.07–0.63 мас. % ZnO) (см. табл. 1). По расчетным данным, содержание трехвалентного железа становится минимальным, снижаются хромистость и магнезиальность (см. табл. 1). По составу хромшпинелиды из лиственитов соответствуют хромиту и алюмохромиту (см. рис. 7).

**Березиты** в центральной части месторождения образуют крупное тело длиной до 450 м, шириной 50–150 м и глубиной до 34 м (неопубликованные данные Н.И. Бородаевского и др., 1946 г.), развитое по метадолеритам, на контакте с дайкой гранитов. Более мелкие линзовидные тела березитов в центральной и южной частях месторождения развиваются и по плагиоклазовым метабазальтам (см. рис. 4, рис. 9б–г). Термин “березит” происходит от названия Березовского золоторудного месторожде-

**Таблица 2.** Состав хромсодержащего мусковита из лиственитов, мас. %

**Table 2.** Composition of Cr-bearing muscovite from listvenites, wt %

№ п.п.	№ обр.	№ ан.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Na <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Сумма
1	Лен91-1	22184h	48.44	29.54	10.31	2.33	3.02	1.94	0.3	0.15	–	–	95.92
2		22184i	46.26	28.52	10.46	2.33	3.81	1.95	0.45	0.09	–	–	94.14
3		22184j	47.85	29.45	10.81	2.33	2.61	1.75	0.46	0.05	–	–	95.16
		Среднее	47.52	29.17	10.53	2.33	3.15	1.88	0.40	0.10	–	–	95.07
$(K_{0.91}Na_{0.05})_{0.96}(Al_{1.55}Cr_{0.17}Fe_{0.10}Mg_{0.01})_{1.83}(Al_{0.78}Si_{3.22}O_{10})(OH)_2$													
4	Лен91-1-1	22184e	48.04	27.23	10.16	2.37	3.94	2.51	0.38	0.21	0.02	–	94.88
5		22184f	45.92	24.58	10.71	1.92	8.49	3.14	0.00	0.22	0.02	–	94.99
6		22184g	48.84	27.59	10.26	2.39	4.75	2.22	0.2	0.15	0.00	–	96.4
		Среднее	47.60	26.47	10.38	2.23	5.73	2.62	0.19	0.19	0.01	–	95.42
$(K_{0.91}Na_{0.02})_{0.93}(Al_{1.38}Cr_{0.31}Fe_{0.15}Mg_{0.01})_{1.85}(Al_{0.75}Si_{3.25}O_{10})(OH)_2$													
7	Лен91-2	22185j	47.23	26.65	10.48	2.27	6.09	2.44	0.44	0.11	0.00	–	95.72
8		22185k	46.24	24.97	10.47	2.11	9.47	1.95	0.00	0.1	0.03	–	95.33
9		22185l	45.53	23.95	10.81	2.09	11.79	1.19	0.23	0.07	0.06	–	95.71
		Среднее	46.33	25.19	10.59	2.16	9.12	1.86	0.22	0.09	0.03	–	95.59
$(K_{0.93}Na_{0.03})_{0.96}(Al_{1.23}Cr_{0.50}Fe_{0.10}Mg_{0.01})_{1.84}(Al_{0.81}Si_{3.19}O_{10})(OH)_2$													
10	Лен91-2-1	22185d	46.05	25.91	10.51	2.06	6.96	2.67	0.19	0.21	0.00	–	94.55
11		22185e	45.98	23.4	10.6	1.28	9.52	4.6	0.12	0.2	0.11	–	95.83
		Среднее	46.02	24.66	10.56	1.67	8.24	3.64	0.16	0.21	0.06	–	95.19
$(K_{0.94}Na_{0.02})_{0.96}(Al_{1.23}Cr_{0.45}Fe_{0.21}Mg_{0.01})_{1.90}(Al_{0.79}Si_{3.21}O_{10})(OH)_2$													
12	Лен10	22186g	48.79	27.86	11.26	3.94	2.62	0.88	0.31	–	0.09	–	95.74
13		22186d	48.89	26.42	10.53	4.48	3.30	1.15	0.10	0.23	0.02	–	95.12
14		22186e	48.68	26.07	11.08	3.75	3.87	1.32	0.06	0.12	–	0.02	94.98
15		22186f	48.83	26.52	10.67	4.43	3.88	1.19	0.18	0.19	0.08	0.00	95.97
		Среднее	48.80	26.34	10.76	4.22	3.68	1.22	0.11	0.18	0.03	0.01	95.36
$(K_{0.93}Na_{0.01})_{0.94}(Al_{1.39}Cr_{0.20}Fe_{0.07}Mg_{0.02})_{1.68}(Al_{0.70}Si_{3.30}O_{10})(OH)_2$													

Примечание. Формулы рассчитаны для средних содержаний по зарядам.

Note. The formulas are recalculated to average contents by charges.

ния на Среднем Урале, где березиты являются результатом изменения кислых пород (гранитов) [Сазонов и др., 2001]. В последние годы этот термин был существенно расширен, и к березитам в настоящее время относятся породы, состоящие из кварца, серицита, анкерита и пирита, которые являются результатом низкотемпературных метасоматических изменений как интрузивных (включая, средние и основные породы), так и осадочных пород [Zharikov et al., 2007]. Березитизация основных вулканитов описана также на Ганеевском золоторудном месторождении в Учалинском районе [Belogub et al., 2017].

Березиты Мечниковского месторождения представлены однородными мелкозернистыми породами светло-коричневого цвета, состоящими главным образом из серицита, кварца, пирита и альбита при подчиненном развитии доломита, эпидота, хлорита и актинолита. В породе нередко сохраняются реликты лейст плагиоклаза либо их очертания. Альбит вместе с кварцем и карбонатом иногда слагает прожилки мощностью до 1 см. Пирит образует многочисленную вкрапленность кристаллов размером до 1 мм с включениями золота. По неопубликованным данным К.Ю. Квокова и др. (1944 г.), содержание золота в березитах достигает 20 г/т на верхних горизонтах месторождения и падает до 2 г/т на нижних. В центральной и северной частях месторождения породы рассечены крупными жилами кварца мощностью до 1.5 м длиной до 120 м с содержанием золота 1.2–5.9 г/т.

*Углеродистые сланцы.* Коренные выходы этих пород в процессе картирования на поверхности не обнаружены. Однако их многочисленные образцы найдены в северо-западной части самого крупного карьера месторождения, который вскрывает контакт вулканогенной и ультрамафитовой пластин, что, вероятно, указывает на залегание углеродистых сланцев вблизи тектонического контакта (см. рис. 4). Сланцы представляют собой темно-серую породу полосчатой текстуры, которая подчеркнута тончайшими (0.1 мм) параллельными друг другу просечками углеродистого вещества, присутствующего также в виде неясных пятен в основной массе породы (см. рис. 9е). Микроскопически это кварц-хлорит-карбонат-серицитовые породы, где основная масса сложена тонкочешуйчатым серицитом, тонкозернистым кварцем и пятнистыми агрегатами карбоната. Хлорит совместно с серицитом образует линзовидные агрегаты. Породы рассечены субогласными карбонат-кварцевыми прожилками мощностью около 1.5 мм, в зальбандах которых находятся мелкие кристаллы альбита. Сланцы содержат многочисленную вкрапленность кристаллов пирита размером до 1 мм с включениями золота.

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОРОД

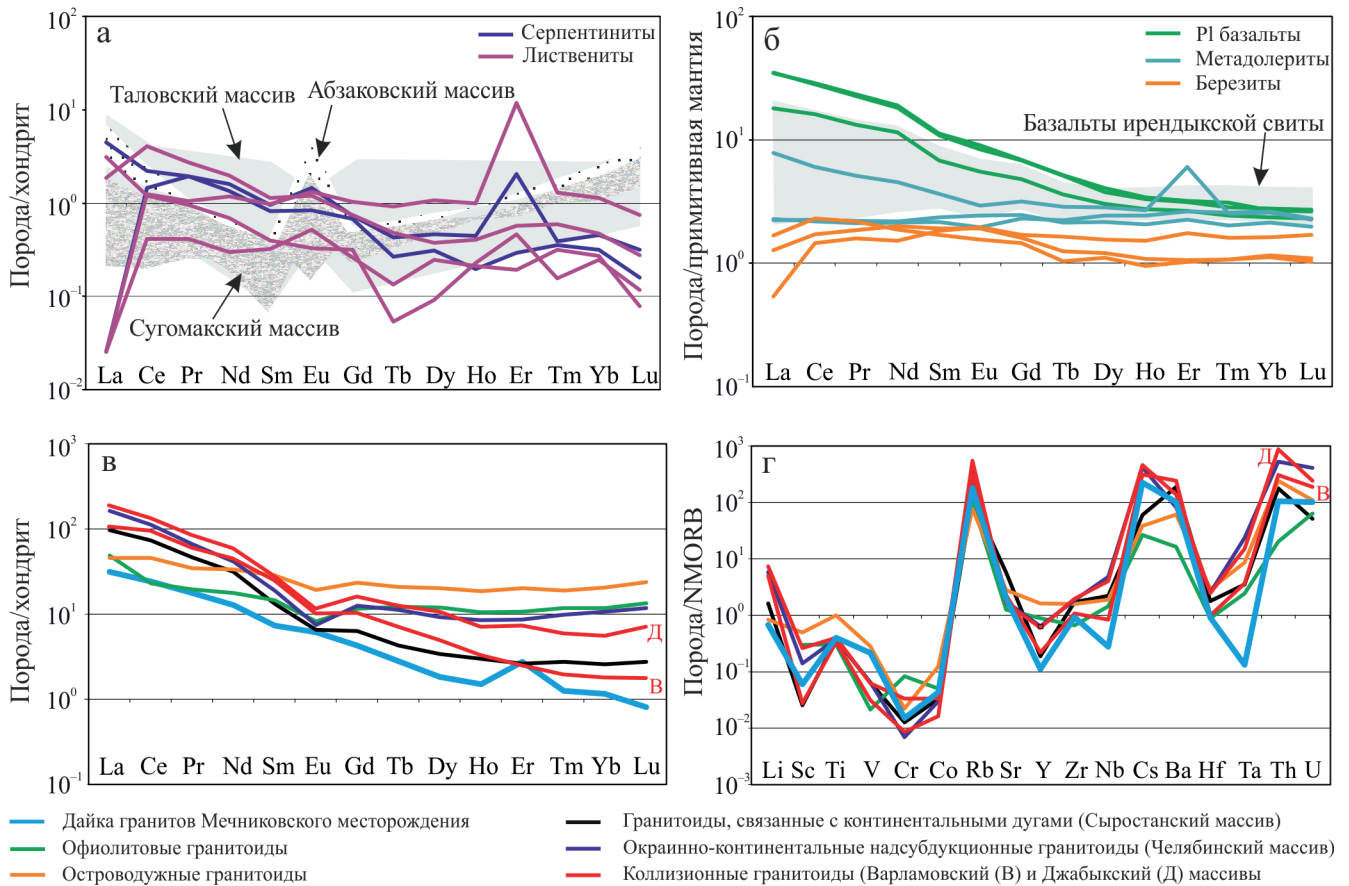
Химический состав вмещающих и золотоносных пород Мечниковского месторождения приве-

ден в табл. 3. Для удобства сравнения содержания элементов-примесей в породах величины >1000, 1000–100, <100 г/т приняты как высокие, повышенные и низкие соответственно.

*Серпентиниты* характеризуются высокими содержаниями MgO (38.19 мас. %, здесь и далее по тексту приведены медианные значения содержаний) и потерь при прокаливании (12.10 мас. %), умеренными содержаниями суммарного FeO (8.42 мас. %), низкими – щелочей, TiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (менее 1 мас. %) (см. табл. 3), а также низким показателем железистости (2Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + FeO/2Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + FeO + MgO = 0.10). Из элементов-примесей отмечаются высокие содержания Ni (2179 г/т), повышенные – Cr (816 г/т), Mn (557 г/т) и As (255 г/т). Кобальт характеризуется низкими содержаниями (83 г/т), хотя они выше таковых в мафических породах более чем в 4 раза (см. табл. 3). Низкие содержания также характерны для V, Sr и Ba; содержания остальных элементов, включая редкоземельные (РЗЭ), составляют менее 1 г/т (см. табл. 3).

Суммарное содержание РЗЭ в серпентинитах (2.79–3.74 г/т) слегка превышает хондритовые значения (2.56 г/т) [Sun, McDonough, 1989]. Один анализ демонстрирует ультранизкие содержания La. В распределении РЗЭ наблюдается уменьшение содержаний от легких к тяжелым РЗЭ и положительные Eu аномалии (в одном случае – слабая) (рис. 10а). Появление положительной Eu аномалии связано с отсутствием плагиоклаза в породах [Sun, Nesbitt, 1978]. Появление в одном случае положительной Er аномалии отражает различие на два порядка в содержаниях Er в двух анализах, при этом оба значения в целом типичны для ультрамафитовых пород [Савельев и др., 2008]. Сравнение распределения РЗЭ в изученных серпентинитах и серпентинитах ближайших гипербазитовых массивов Главного Уральского разлома [Савельев и др., 2008] показало, что нормированные содержания РЗЭ укладываются в диапазон разброса таковых для серпентинитов Сугомакского, Таловского и Абзакского массивов. В то же время для этих массивов характерен тренд преобладания тяжелых РЗЭ над легкими и средними, тогда как для серпентинитов Мечниковского месторождения свойственно уменьшение содержаний РЗЭ от средних к тяжелым (см. рис. 10а).

*Листвениты* характеризуются пониженными содержаниями SiO<sub>2</sub> и суммарного железа и повышенными содержаниями MgO и потерь при прокаливании за счет присутствия карбонатов (см. табл. 3). Из элементов-примесей в них также уменьшаются концентрации Ti, Co и Ni; практически остаются неизменными содержания V, Cr, As, Sr и увеличиваются содержания Mn и Ba (см. табл. 3). Высокие содержания MgO, Ni и Cr указывают на образование лиственитов по ультрамафитовым породам. Суммарное содержание РЗЭ



**Рис. 10.** Спектры распределения медианных содержаний РЗЭ в серпентинитах, вулканитах, гранитах, листовенитах и березитах (а–в) и медианных содержаний редких элементов в гранитах Мечниковского месторождения (г).

Составы РЗЭ нормированы по составам С1-хондрита и примитивной мантии [Sun, McDonough, 1989]; состав редких элементов нормирован по составу базальта типа NMORB [Anderson, 1989] и [Sun, McDonough, 1989] (содержания Hf и Li). Спектры РЗЭ серпентинитов Таловского, Абзаковского и Сугомакского массивов построены по данным [Савельев и др., 2008]. Спектр РЗЭ базальтов ирендыкской свиты построен по данным [Маслов, Салихов, 2015]. Спектры РЗЭ и редких элементов гранитов построены по данным [Ферштатер, 2001]: островодужные гранитоиды – табл. 3, ан. № 3 (Северо-Хабарнинский массив), 6 (Кемпирсайский массив), 7, 8 (Северо-Баночный массив), 10 (г. Сутук), 13 (г. Юрьев Камень); окраинно-континентальные надсубдукционные гранитоиды: Челябинский массив – табл. 4, ан. № 4, 8, 9; гранитоиды, связанные с континентальными дугами структурами: Сыростанский массив – табл. 5, ан. № 10, 12. Содержания Ti в расчетах – данные силикатного анализа в мас. %, переведенные в г/т.

**Fig. 10.** Patterns of median REE contents of serpentinites, volcanic rocks, granites, listvenites, and beresites and pattern of median trace element content of granites of the Mechnikovskoe deposit.

The REE contents are normalized on composition of C1-chondrite and primitive mantle after [Sun, McDonough, 1989]; contents of trace elements are normalized on NMORB after [Anderson, 1989] and [Sun, McDonough, 1989] (Hf and Li contents). The REE pattern of basalts of Irendyk Formation are plotted after [Maslov, Salikhov, 2015]. The REE and trace element patterns of granites are plotted after [Fershtater, 2001]: island-arc granites – Table 3, analyses nos. 3 (North Khabarny massif), 6 (Kempirsay massif), 7, 8 (North Banochny massif); 10 (Mt. Sutuk), 13 (Mt. Yur'ev Kamen'); marginal continental suprasubduction granites: Chelyabinsk pluton – Table 4, analyses nos. 4, 8, 9; granites related to the continental arc structures: Syrostan pluton – Table 5, analyses nos. 10, 12. The Ti contents in calculations – data of chemical analyses in wt % recalculated to ppm.

(2.41 г/т) слегка понижено по отношению к серпентинитам. Спектры распределения РЗЭ подобны таковым из серпентинитов, некоторые спектры характеризуются также наличием Er максимума (см. рис. 10а). Возможно, это обусловлено присутствием обильных карбонатов. В литературе известны примеры карбонатов с Er максимумами [Кон-

tak, Jackson, 1999; Himmler et al., 2010; Nadeau et al., 2015.]. Карбонатизированные породы Няшевского мафит-ультрамафитового массива Ильменских гор на Южном Урале также характеризуются присутствием Er максимума [Медведева и др., 2015].

Вулканические породы по содержанию SiO<sub>2</sub> соответствует базальтам и андезитобазальтам (см.

Таблица 3. Химический состав пород Мечниковского месторождения

Table 3. Chemical composition of rocks of the Mechnikovskoe deposit

Компонент	Плагинклавовые метабазалты				Метадолериты				Березиты			
	Лен 34	Лен 35	Лен 39	Медиана	Лен 44	Лен 45	Лен 46	Медиана	Лен 76	Лен 79	Лен 92	Медиана
	мас. %											
SiO <sub>2</sub>	52.44	53.69	50.80	52.44	50.94	51.62	52.66	51.62	43.21	58.08	45.38	45.38
TiO <sub>2</sub>	0.83	0.81	0.81	0.81	0.50	0.45	0.51	0.50	0.43	0.55	0.54	0.54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.43	18.96	19.28	19.28	18.38	15.35	17.60	17.60	13.91	18.96	14.02	14.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.27	3.60	2.40	3.27	5.54	2.91	1.31	2.91	3.88	9.38	5.77	5.77
FeO	3.66	3.59	4.35	3.66	3.41	5.71	6.57	5.71	3.77	0.99	2.33	2.33
MnO	0.14	0.13	0.13	0.13	0.14	0.16	0.13	0.14	0.12	0.14	0.13	0.13
MgO	2.75	2.95	2.94	2.94	6.94	8.76	6.50	6.94	7.63	0.38	5.30	5.30
CaO	4.24	5.10	4.56	4.56	4.37	7.07	4.91	4.91	7.08	0.26	6.53	6.53
Na <sub>2</sub> O	5.48	5.29	4.40	5.29	5.02	4.13	5.20	5.02	0.34	2.96	0.55	0.55
K <sub>2</sub> O	3.01	2.11	3.36	3.01	0.23	0.93	0.20	0.23	4.42	3.49	4.52	4.42
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.14	0.10	0.20	0.14	0.20	0.24	0.18	0.20	0.48	0.64	0.30	0.48
П.п.п.	4.00	2.54	6.04	4.00	4.18	2.58	3.72	3.72	14.34	4.04	14.40	14.34
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.61	0.62	0.59	0.61	0.10	0.10	0.11	0.10	0.07	0.10	<0.05	<0.10
Сумма	100.00	99.49	99.86	99.86	99.95	100.01	99.60	99.95	99.68	99.97	99.77	99.77
	г/т											
Li	13.0	13.1	19.1	13.10	29.1	26.3	22.7	26.30	8.38	4.54	2.15	4.54
Be	1.36	1.37	1.42	1.37	0.20	0.18	0.34	0.20	1.13	0.28	1.97	1.13
Sc	10.2	10.9	10.5	10.50	36.1	35.1	33.3	35.10	29.2	38.9	29.5	29.50
V	193	194	187	193	215	188	261	215	191	221	278	221
Cr	23.4	34.4	23.9	23.90	317	311	34.0	311	246	324	54.6	246
Co	16.2	18.4	17.8	17.80	27.7	31.0	21.9	27.70	29.1	33.7	23.6	29.10
Ni	14.1	26.1	38.6	26.10	58.9	55.4	25.0	55.40	58.3	77.1	33.5	58.30
Rb	55.5	44.7	60.1	55.50	6.27	2.10	2.67	2.67	70.1	86.4	83.7	83.70
Sr	739	840	680	739.00	192	225	155	192.00	350	95.7	275	275
Y	14.5	15.4	11.7	14.50	8.88	10.7	12.2	10.70	6.88	4.98	4.12	4.98
Zr	77.9	69.3	65.6	69.30	13.8	32.1	27.2	27.20	12.2	9.05	21.1	12.20
Nb	3.42	3.58	0.60	3.42	0.19	1.51	2.85	1.51	0.18	0.12	0.12	0.12
Cs	2.35	1.92	1.36	1.92	0.66	0.07	0.16	0.16	1.35	1.89	1.16	1.35
Ba	760	400	484	484.00	58.2	44.0	683	58.20	386	157	106	157
La	24.0	23.9	12.4	23.90	1.53	1.57	5.40	1.57	0.37	0.88	1.15	0.88
Ce	50.0	50.9	28.7	50.00	3.99	3.87	10.7	3.99	2.57	3.04	4.08	3.04
Pr	6.23	6.44	3.64	6.23	0.61	0.58	1.41	0.61	0.44	0.51	0.60	0.51
Nd	24.6	25.7	15.5	24.60	2.96	2.88	6.12	2.96	2.06	2.71	2.54	2.54
Sm	4.82	4.97	3.02	4.82	1.04	0.96	1.62	1.04	0.81	0.85	0.75	0.81
Eu	1.40	1.52	0.93	1.40	0.41	0.33	0.49	0.41	0.33	0.32	0.26	0.32
Gd	4.06	4.08	2.85	4.06	1.47	1.37	1.88	1.47	1.01	0.96	0.87	0.96
Tb	0.55	0.56	0.39	0.55	0.23	0.24	0.31	0.24	0.18	0.14	0.11	0.14
Dy	2.79	2.99	2.24	2.79	1.59	1.79	2.10	1.79	1.14	0.89	0.82	0.89
Ho	0.54	0.56	0.45	0.54	0.34	0.40	0.44	0.40	0.25	0.18	0.16	0.18
Er	1.50	1.54	1.27	1.50	1.08	1.26	2.90	1.26	0.84	0.51	0.49	0.51
Tm	0.21	0.23	0.18	0.21	0.15	0.19	0.19	0.19	0.12	0.08	0.08	0.08
Yb	1.37	1.33	1.16	1.33	1.05	1.30	1.27	1.27	0.80	0.55	0.57	0.57
Lu	0.20	0.19	0.17	0.19	0.15	0.17	0.17	0.17	0.13	0.08	0.08	0.08
Hf	2.12	1.84	1.56	1.84	0.44	0.83	0.86	0.83	0.36	0.24	0.60	0.36
Pb	12.8	11.0	8.62	11.00	0.67	38.7	12.5	12.50	4.34	2.82	5.38	4.34

табл. 3). Плагинклавовые метабазалты (далее – базальты), по сравнению с метадолеритами (далее – долеритами), содержат больше SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и суммы щелочей (за счет вторичных изменений), тогда как долериты характеризуются повышенными содержаниями суммарного железа и MgO по сравнению с базальтами. Содержание элементов-примесей в базальтах и долеритах различается. Ба-

залты характеризуются повышенными (для некоторых элементов – существенно) содержаниями Rb, Sr, Zr и Ba по отношению к долеритам (см. табл. 3, рис. 10б). Долериты, в свою очередь, содержат повышенные количества Li, Sc, Cr, Co и Ni (см. табл. 3). На дискриминационных диаграммах Y–Zr и TiO<sub>2</sub>–Zr положение фигуративных точек исследованных вулканических пород также различается,

Таблица 3. Окончание

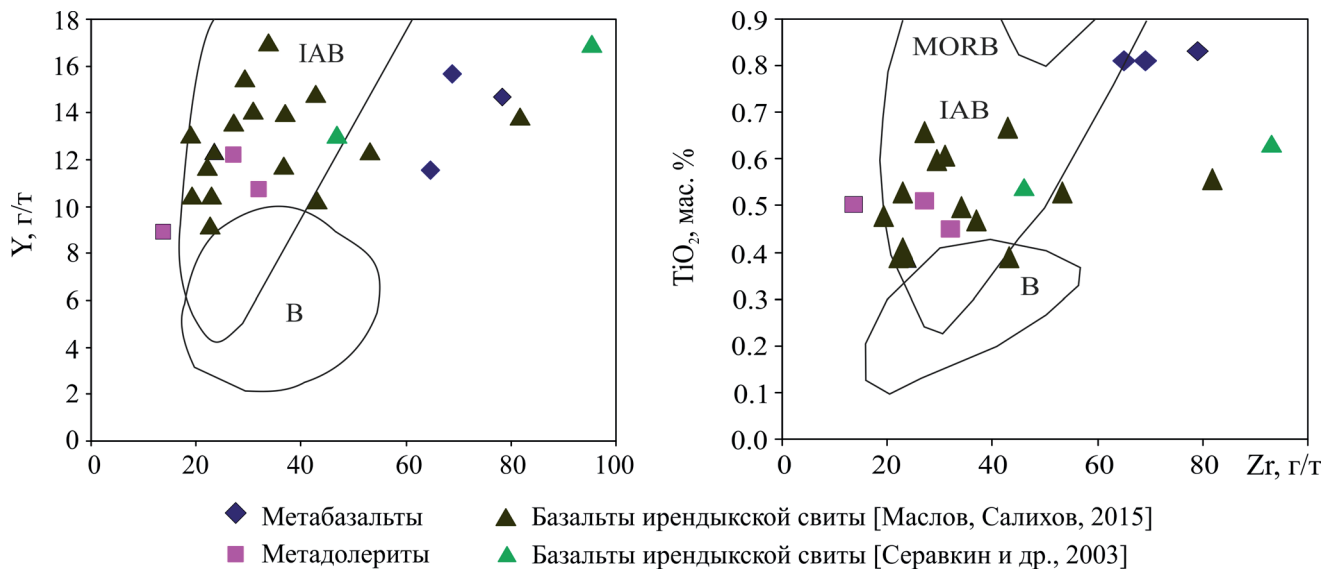
Table 3. Ending

Компо- нент	Граниты			Серпентиниты			Талькит	Листвениты				
	Лен 40а	Лен 42	Медиана	Лен 47	Лен 64	Медиана	Лен 83	Лен-67	Лен 90	Лен 91	Лен 93	Медиана
	мас. %											
SiO <sub>2</sub>	71.32	72.98	72.15	40.30	39.04	39.67	34.18	27.92	28.04	28.90	29.02	28.47
TiO <sub>2</sub>	0.22	0.22	0.22	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.51	15.53	16.02	0.84	0.54	0.69	0.83	0.68	0.80	0.69	0.40	0.69
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.02	1.03	1.03	5.49	6.67	6.08	3.12	1.27	0.77	1.66	0.63	1.02
FeO	0.61	0.54	0.58	2.62	2.06	2.34	3.95	4.07	4.07	4.31	5.03	4.19
MnO	0.02	<0.01	<0.02	0.11	0.09	0.10	0.13	0.12	0.07	0.19	0.03	0.10
MgO	0.51	0.75	0.63	37.90	38.47	38.19	34.98	32.95	30.18	28.56	29.51	29.85
CaO	0.20	0.15	0.18	0.30	0.37	0.34	0.76	0.30	1.30	1.91	0.40	0.85
Na <sub>2</sub> O	4.62	2.92	3.77	0.05	0.08	0.07	0.60	0.56	0.05	0.16	0.95	0.36
K <sub>2</sub> O	2.97	3.81	3.39	0.03	<0.01	<0.03	<0.01	0.01	0.20	0.24	0.12	0.16
H <sub>2</sub> O	0.18	0.16	0.17	0.38	0.30	0.34	0.26	0.29	0.80	0.26	0.46	0.38
П.п.п.	1.48	1.76	1.62	11.86	12.33	12.10	21.04	31.88	33.74	33.06	33.42	33.24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.25	0.14	0.20	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Сумма	99.91	99.99	99.95	99.93	99.95	99.94	99.91	100.05	100.02	99.94	99.97	100
	г/г											
Li	2.43	3.40	2.92	3.30	1.20	2.25	2.53	2.42	8.49	1.94	0.28	2.18
Be	2.14	2.37	2.26	0.086	0.02	0.05	0.04	0.08	0.20	0.15	0.09	0.12
Sc	2.20	2.27	2.24	6.12	4.92	5.52	5.84	4.88	4.40	3.79	3.87	4.14
V	34.3	56.5	45.40	17.2	19.5	18.35	15.2	37.4	19.6	19.5	13.5	19.55
Cr	6.46	6.81	6.64	707	924	815.5	1075	920	1311	857	726	888.5
Co	2.45	2.15	2.30	84.3	82.2	83.25	79.8	55.7	58.9	63.8	64.2	61.35
Ni	10.1	1.90	6.00	2316	2042	2179	1896	1175	1169	1462	1684	1318.5
Rb	56.3	73.5	64.90	0.71	0.15	0.43	1.04	2.59	7.89	5.30	2.61	3.96
Sr	351	94.4	222.7	42.7	55.4	49.05	72.9	17.9	92.4	60.8	33.0	46.90
Y	2.81	2.32	2.57	0.58	1.02	0.80	0.51	0.67	0.47	2.05	0.50	0.59
Zr	68.3	60.2	64.25	4.28	2.68	3.48	12.3	2.44	4.98	10.4	0.98	3.71
Nb	0.77	1.06	0.92	0.07	0.19	0.13	1.20	3.16	0.07	0.18	0.03	0.12
Cs	1.50	1.67	1.59	0.07	<0.002	<0.07	<0.07	0.05	0.20	0.11	0.08	0.09
Ba	472	543	507.5	14.0	72.3	43.15	22.3	75.7	202	800	19.1	138.85
La	6.40	8.53	7.47	1.05	<0.01	<1.05	0.05	0.44	<0.01	<0.01	0.74	<0.74
Ce	12.8	16.6	14.70	1.35	0.88	1.12	0.76	2.49	0.25	0.76	0.74	0.75
Pr	1.51	1.83	1.67	0.18	0.18	0.18	0.08	0.26	0.04	0.10	0.09	0.10
Nd	5.28	6.72	6.00	0.63	0.75	0.69	0.37	0.92	0.14	0.55	0.32	0.44
Sm	1.06	1.18	1.12	0.13	0.15	0.14	0.07	0.17	0.05	0.15	0.06	0.11
Eu	0.34	0.37	0.36	0.05	0.08	0.07	0.03	0.07	0.03	0.08	0.02	0.05
Gd	0.83	0.92	0.88	0.14	0.15	0.15	0.09	0.15	0.05	0.21	0.07	0.11
Tb	0.11	0.10	0.10	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.002	0.01
Dy	0.50	0.43	0.47	0.08	0.12	0.10	0.06	0.10	0.06	0.27	0.02	0.08
Ho	0.09	0.08	0.09	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.06	0.01	0.02
Er	0.70	0.21	0.46	0.05	0.34	0.19	0.06	0.09	0.03	1.96	0.08	0.09
Tm	0.04	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.004	0.01
Yb	0.20	0.19	0.20	0.05	0.08	0.07	0.05	0.08	0.05	0.19	0.04	0.06
Lu	0.02	0.02	0.02	0.004	0.01	0.01	0.004	0.01	0.002	0.02	0.003	0.01
Hf	2.00	1.75	1.88	0.04	0.01	0.03	0.22	0.01	0.07	0.18	<0.002	<0.18
Pb	10.8	15.3	13.05	0.92	0.43	0.68	6.72	12.8	1.90	2.00	3.33	2.67

однако в целом оно укладывается в поле распространения фигуративных точек вулканитов ирендыкской свиты (рис. 11).

Содержания РЗЭ в базальтах и долеритах также различаются: их суммарное количество в базальтах (122 г/т) в семь раз превышает таковое в долеритах (17 г/т). По La отношению порода/хондрит (среднее 101) и существенному обогащению

ЛРЗЭ по отношению к хондритовому уровню (см. рис. 10б) изученные базальты сопоставимы с вулканитами ирендыкской свиты [Сервакин и др., 2003]. Это свидетельствует об их известково-щелочной тенденции, также подтверждающейся преобладанием суммарного железа над магнием и повышенными содержаниями глинозема. В долеритах La отношение порода/хондрит существен-



**Рис. 11.** Диаграммы Y–Zr и TiO<sub>2</sub>–Zr для вмещающих вулканических пород Мечниковского месторождения в сравнении с данными по вулканитам ирендыкской свиты [Серавкин и др., 2003; Маслов, Салихов, 2015].

**Fig. 11.** Y–Zr and TiO<sub>2</sub>–Zr diagrams for the host volcanic rocks of the Mechnikovskoe deposit in comparison with data on volcanic rocks of the Irendyk Formation after [Seravkin et al., 2003; Maslov, Salikhov, 2015].

но ниже (среднее 12), однако спектр распределения РЗЭ находится в пределах такового вулканитов ирендыкской свиты (см. рис. 10б).

Обе разновидности вулканогенных пород характеризуются близкими значениями содержаний Be, V, Y, Nb и Cs. Несмотря на различия в содержании некоторых элементов-примесей и РЗЭ, низкие содержания Nb (до 5 г/т) и в базальтах, и в долеритах свидетельствуют об островодужной обстановке их формирования [Короновский, Демина, 2011].

*Березиты* характеризуются варьирующими (от 43.21 до 58.08 мас. %) содержаниями SiO<sub>2</sub>, но в целом пониженными (медианное значение 45.38 мас. %) по сравнению с базальтами и долеритами (см. табл. 3). Из главных оксидов в березитах понижены содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Na<sub>2</sub>O и повышены CaO и K<sub>2</sub>O за счет присутствия многочисленных карбонатов и серицита. Содержания многих элементов-примесей и РЗЭ понижены по сравнению с исходными вулканитами (см. табл. 3, рис. 10б). В то же время содержания Sc, V, Cr, Co и Ni сопоставимы с таковыми в базальтах и долеритах, что вместе с низким SiO<sub>2</sub> подтверждает образование березитов по основным породам.

*Граниты* из дайки (SiO<sub>2</sub> – 72.15 мас. %) (см. табл. 3) характеризуются относительно невысоким содержанием элементов-примесей, за исключением повышенных Sr и Ba. Распределение РЗЭ и редких элементов имеет свои особенности по сравнению с гранитоидами, образовавшимися в различных геодинамических условиях. Так, общий наклон спектра РЗЭ с понижением нормированных содержаний (далее – содержаний) от тяжелых РЗЭ к лег-

ким сходен с таковым, характерным для окраинно-континентальных надсубдукционных гранитоидов (например, Челябинский массив, 360 млн лет) или гранитоидов, связанных с континентальными дуговыми структурами (например, Сыростанский массив, 335 млн лет) [Ферштатер, 2001]. Однако суммарное содержание РЗЭ в изученных породах (33.54 г/т) ниже, чем в гранитоидах Челябинского (145.78 г/т) или Сыростанского (92.71 г/т) массивов [Ферштатер, 2001]. В спектре РЗЭ наблюдается крайне слабая положительная Eu аномалия, тогда как для других разновидностей гранитов характерны отрицательные Eu аномалии (см. рис. 10в).

Картина спектров распределения редких элементов также неоднозначна. Дайка гранитов Мечниковского месторождения характеризуется самыми низкими содержаниями Ta, Nb и Sr по сравнению с гранитами различных геодинамических обстановок (см. рис. 10г). По уровню содержаний Li, V, Cr, Sr и U граниты Мечниковского месторождения сопоставимы с островодужными разновидностями. Уровень содержаний Ti и Co в гранитах близок к таковому в окраинно-континентальных надсубдукционных (Челябинский массив), связанных с континентальными дуговыми структурами (Сыростанский массив), в коллизионных гранитах (Варламовский и Джабыкский массивы) и гранитах, ассоциированных с некоторыми офиолитовыми массивами (Северо-Хабарнинский, Кемпирсайский, Северо-Баночный) [Ферштатер, 2001]. Содержания Rb в гранитах Мечниковского месторождения занимают промежуточное положение между таковыми в коллизионных и окраинно-континентальных надсубдукционных гра-



нитах и в остальных типах. В отличие от гранитоидов, ассоциированных с офиолитовыми комплексами, и островодужных гранитов [Ферштатер, 2001, табл. 3], содержания Y в гранитах Мечниковского месторождения и Челябинского, Сыростанского, Варламовского и Джабыкского массивов показывают четкую отрицательную аномалию. В то же время граниты Мечниковского месторождения характеризуются Zr максимумом, который не характерен для других разновидностей гранитов (см. рис. 10г).

На первый взгляд, позиция дайки гранитов может вызвать предположение о ее коллизионной природе, поскольку она залегает согласно с общим простиранием Главного Уральского разлома. Однако геохимические показатели, а именно уровни содержания Li, Rb, Nb, Cs, Ba, Ta и Th, несопоставимы с таковыми в коллизионных гранитах (см. рис. 10г). Косвенно их происхождение, не связанное с процессом коллизии, подтверждается тем, что в пределах месторождения и его окрестностей (см. рис. 2) граниты рассекают породы ирендыкской свиты и не проникают в соседние серпентиниты. Интенсивная метасоматическая проработка гранитов и образование многочисленных метакристаллов пирита, подобных тем, которые встречаются в лиственитах и березитах, также косвенно свидетельствуют о том, что рудный процесс происходил в уже сложившейся геологической структуре. Вероятно, метасоматические преобразования ответственны за изменение химического состава гранитов, вследствие чего они утратили полное сходство с островодужными гранитами.

#### РУДНЫЕ МИНЕРАЛЫ ЗОЛОТОНОСНЫХ ПОРОД

Главным рудным минералом является *пирит*, который образует кристаллы размером от долей до 1–3 мм и их сростки, а также прожилковидные агрегаты в лиственитах, березитах, углеродистых сланцах, кварцевых жилах и гранитах. В лиственитах и углеродистых сланцах кристаллы пирита часто расположены линейно вдоль полосчатости. В лиственитах, кварцевых жилах и березитах пирит часто полностью окислен, тогда как в углеродистых сланцах он не претерпел изменений (рис. 12а). Пирит содержит включения халькопирита, галенита, блеклых руд, минералов золота и серебра, нерудных минералов (карбонатов, серицита, кварца) (рис. 12б). Пирит с включениями золота, петцита и галенита из лиственитов характеризуется примесью Ni до 6.8 мас. %, а пирит из углеродистых сланцев содержит больше Co (до 3.46 мас. %), а также Cu, As и Ni (табл. 4).

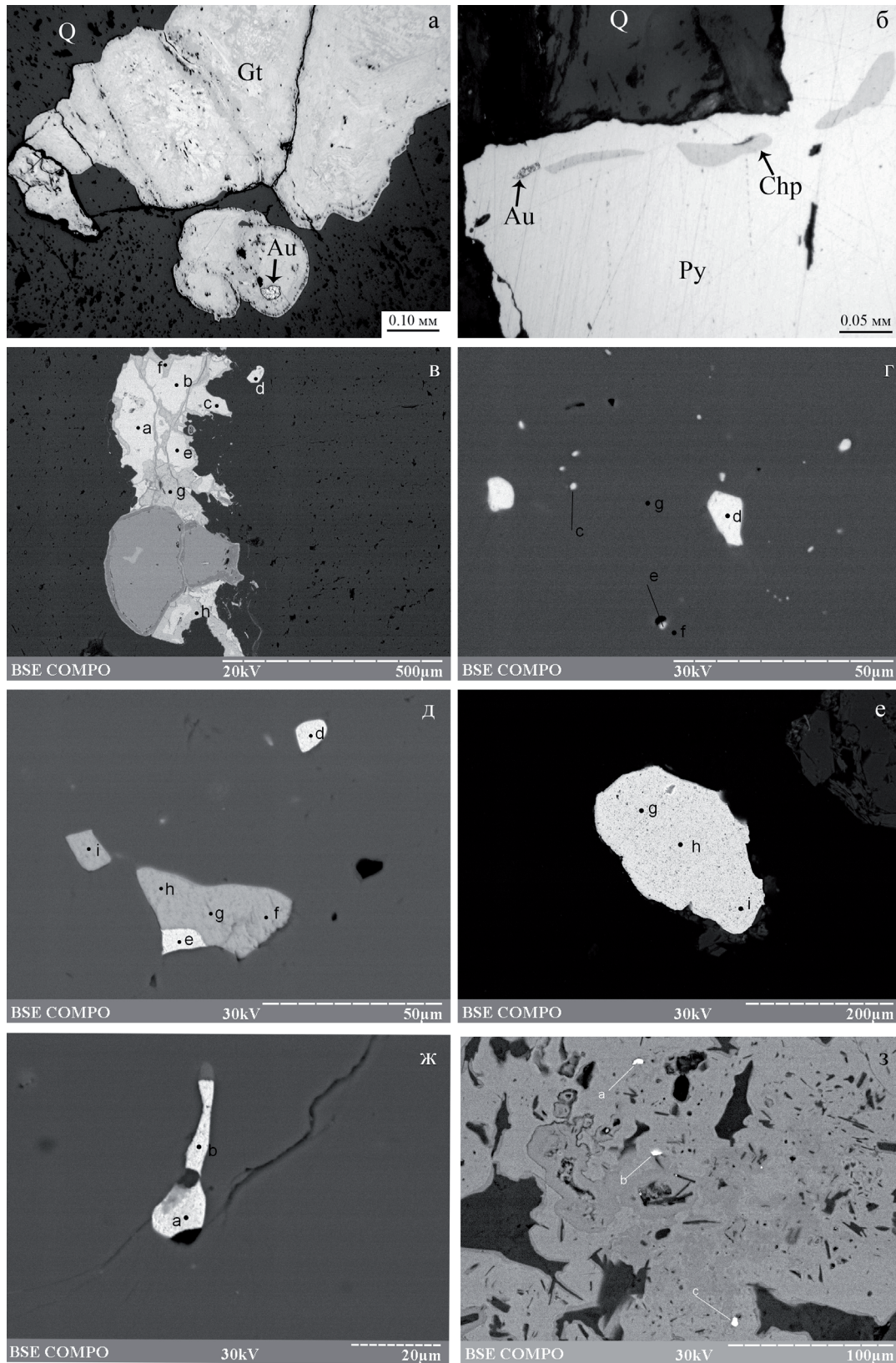
К аксессуарным рудным минералам относятся халькопирит, блеклые руды, галенит, сфалерит, пирротин, кубанит, ваэсит, мелонит, вторичные сульфиды меди, барит, рутил, монацит, ксенотим.

*Халькопирит* и *блеклые руды* встречаются в виде ксеноморфных включений и гипидиоморфных кристаллов (часто в сростках друг с другом) размером от первых до 100 мкм в крупнокристаллическом пирите и нерудном матриксе (рис. 12б, в). Блеклые руды представлены тетраэдритом (As – 3.15–7.20, Ag – 0.16–0.31 мас. %) и теннантитом (Sb – 0.62–2.08, Ag – 0.01–0.19 мас. %) (см. табл. 4). В сростаниях с мелкими (~10 мкм) кристаллами пирита обнаружен кубанит. *Галенит*, *сфалерит* и *пирротин* встречаются чаще в пирите и реже в кварце в виде включений изометричной и угловатой формы размером 10–15 мкм и удлиненно-изогнутой морфологии до 50 мкм (рис. 12г). Овальные зерна *ваэсита* размером  $6 \times 4$  мкм рассеяны в кварце. Минерал характеризуется примесями Fe (3.44 мас. %) и Co (1.48 мас. %) (см. табл. 4). *Мелонит* обнаружен в виде включений субизометричной сглаженно-угловатой морфологии размером 10–30 мкм или в сростках с золотом в неокисленных кристаллах пирита из кварцевых жил в лиственитах (рис. 12д). Он содержит небольшую примесь Co (0.12–0.15 мас. %) (см. табл. 4).

Угловатые трещиноватые зерна *монацита*-(Ce) (мас. %:  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  – 30.06,  $\text{La}_2\text{O}_3$  – 14.47,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  – 12.36,  $\text{ThO}_2$  – 5.31,  $\text{Pr}_2\text{O}_3$  – 4.38,  $\text{SiO}_2$  – 1.88, CaO – 0.78,  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 28.46, сумма 97.72) и *ксенотима* (определен по ЭДС спектру) размером до 10 мкм найдены в основной массе углеродистых сланцев и в кристаллах пирита. Включения *рутила* изогнутой морфологии размером до 50 мкм в большом количестве находятся в матрице сланцев и кристаллах пирита. Редкие зерна барита обнаружены в основной массе лиственитов. Вторичные *сульфиды меди* замещают халькопирит и блеклые руды по трещинам и краям (см. рис. 12в). Иногда в них фиксируются примеси Fe и Ag (см. табл. 4).

Минералы благородных металлов были найдены в лиственитах и кварцевых жилах в них, березитах и углеродистых сланцах. В лиственитах с карбонат-кварцевыми жилами обнаружены самородное золото, петцит, штюцит и йодаргирит.

*Золото* находится как в основной массе породы, так и в карбонат-кварцевых жилах и прожилках. Оно образует крупные (0.5–0.75 мм, реже 1 мм) зерна удлиненно-изогнутой формы с гладкой или ямчато-бугорчатой поверхностью и микроскопические (10–200 мкм) зерна чаще всего с кристаллическими очертаниями (см. рис. 12е). Зерна находятся в трещинах кварцевых агрегатов, на контакте кварца и карбонатов, в окисленных и полуокисленных кристаллах пирита. В аншлифах установлены изометричные, удлиненно-изогнутые, прожилковидные сечения (см. рис. 12ж). Мелкие кристаллы и зерна золота часто располагаются линейно вдоль полосчатости в окружении мелких кристаллов и зерен халькопирита. Содержания серебра в золоте варь-



**Рис. 12.** Рудные минералы золотоносных пород Мечниковского месторождения.

а – сростки кристаллов пирита, замещенные колломорфными агрегатами гетита (*Gt*) с включением золота (*Au*), кварцевый (*Q*) прожилок в ливените, обр. Лен-10; б – кристаллы пирита с включениями золота и халькопирита (*Chp*) в углеродистом сланце, обр. Лен-14; в – срастание кристалла пирита (*Py*) с ксеноморфным агрегатом тетраэдрита (точки а, б, с,

е), замещающимся ковеллином (точки f, g, h), обр. Лен-10; г – включения петцита (точки с, е) и галенита (точка d) в Ni-содержащем пирите (точки g, f) в листвените, обр. Лен-10; д – включения мелонита (точки i, h, g, f) и золота (точки d, е) в пирите из лиственитов, обр. Лен-10; е) агрегат золота в листвените, обр. Лен-3; ж – агрегаты золота в пирите из лиственитов, обр. Лен-9; з – зерна золота в гетитовом агрегате, заместившем кристалл пирита из березита, обр. Лен-84. Фото а, б – отраженный свет, в-з – СЭМ.

Fig. 12. Ore minerals of gold-bearing rocks of the Mechnikovskoe deposit.

а – intergrowths of pyrite crystals replaced by colloform goethite aggregates (Gt) with inclusions of gold (Au), quartz (Q) veinlet in listvenite, sample Len-10; б – pyrite (Py) crystals with inclusions of gold and chalcopyrite (Chp) in carbonaceous shale, sample Len-14; в – intergrowth of pyrite crystal with anhedral tetrahedrite aggregate (points a, b, c, e), which are replaced by covellite (points, g, h), sample Len-10; г – inclusions of petzite (point c, e) and galena (point d) in Ni-bearing pyrite (points g, f) in listvenite, sample Len-10; д – inclusions of melonite (points i, h, g, f) and gold (point d, e) in pyrite from listvenites, sample Len-10; е – aggregate of gold in listvenite, sample Len-3; ж – aggregates of gold in pyrite from listvenites, sample Len-9; з – gold grains in goethite aggregate, which replaced pyrite crystal from beresite, sample Len-84. Photos a, б – reflected light, в-з – SEM.

Таблица 4. Состав рудных минералов Мечниковского месторождения, мас. %

Table 4. Composition of ore minerals of the Mechnikovskoe deposit, wt %

№ п.п.	№ обр.	№ ан.	Fe	Co	Ni	Pb	Cu	Zn	As	Ag	Sb	Te	S	Сумма
Пирит (Fe <sub>0.92</sub> Ni <sub>0.09</sub> ) <sub>1.01</sub> S <sub>2.00</sub>														
1	Лен 9-2	18158f	39.76		6.80								52.86	99.42
2		18158g	44.91		1.56								53.29	99.76
Пирит (Fe <sub>0.90</sub> Co <sub>0.05</sub> Ni <sub>0.02</sub> Cu <sub>0.01</sub> ) <sub>0.98</sub> (S <sub>0.94</sub> As <sub>0.06</sub> ) <sub>2.00</sub>														
3	Лен-15	18156d	39.62	3.46	0.60		1.32						3.59	51.27
4		18156e	41.39	1.60	1.45		0.23						3.53	51.23
Ваэсит (Ni <sub>0.85</sub> Fe <sub>0.07</sub> Co <sub>0.03</sub> ) <sub>0.95</sub> S <sub>2.00</sub>														
5	Лен 9-1	18159a	3.44	1.48	41.45									53.11
Галенит Pb <sub>1.00</sub> S <sub>1.00</sub>														
6	Лен 9-2	18158d				86.74								12.85
7	Лен 10-1	18154e				85.37								14.17
Тетраэдрит (Cu <sub>10.18</sub> Zn <sub>1.27</sub> Fe <sub>0.99</sub> Ag <sub>0.04</sub> ) <sub>12.12</sub> (Sb <sub>3.12</sub> As <sub>0.99</sub> ) <sub>4.11</sub> S <sub>13</sub>														
8	Лен 10-2	18153a	2.09				38.57	5.14	3.50	0.29	25.10		25.20	99.90
9		18153b	1.92				39.80	5.31	3.15	0.16	24.13		25.31	99.77
10		18153c	2.60				40.32	4.78	7.20	0.31	19.01		25.72	99.94
11		18153d	1.92				38.57	5.20	3.33	0.18	25.14		25.61	99.95
12		18153e	2.13				39.70	4.93	5.41	0.21	22.28		25.09	99.76
Теннантит (Cu <sub>9.77</sub> Zn <sub>1.33</sub> Fe <sub>1.00</sub> Ag <sub>0.01</sub> ) <sub>12.11</sub> (As <sub>4.10</sub> Sb <sub>0.14</sub> ) <sub>4.24</sub> S <sub>13</sub>														
13	Лен-15	18156a	2.76	0.06			41.40	5.97	20.27	0.19	0.62		27.99	99.25
14		18156b	2.58	0.00			42.20	5.91	19.76	0.06	2.08		27.13	99.72
15		18156c	5.76				39.25	5.28	20.79	0.01	0.62		27.32	99.03
Сульфиды меди Cu <sub>1.84</sub> S <sub>1.00</sub>														
16	Лен 10-2	18153f	0.00				77.93	0.00	0.00	0.00	0.00		21.89	99.82
17		18153g	0.62				77.88	0.00	0.00	0.29	0.00		21.14	99.92
18		18153h	0.21				78.50	0.00	0.00	0.00	0.00		21.12	99.83
Мелонит Ni <sub>1.02</sub> Te <sub>2.00</sub>														
19	Лен 10-1	18154g		0.00	18.84							81.02		99.87
20	Лен 10-2	18152f		0.00	18.99							80.81		99.80
21		18152g		0.12	18.65							80.63		99.41
22		18152h		0.00	18.90							80.74		99.64
23		18152i		0.15	18.77							80.84		99.76

Примечание. Пустая ячейка – элемент не определялся. Образцы: Лен 9-1, Лен 9-2, Лен 10-1, Лен 10-2 – листвениты с кварцевыми жилами, Лен-15 – углеродистый сланец. Средние формулы минералов рассчитаны на один атом (галенит, сульфиды меди), два атома (пирит, ваэсит) и 13 атомов (теннантит и тетраэдрит) серы и два атома теллура (мелонит).

Note. Empty cell – not analyzed. Samples: Len-9-1, Len-9-2, Len-10-1, Len-10-2 – listvenites with quartz veins, Len-15 – carbonaceous shale. The average formulas are recalculated to one atom (galena, Cu sulfides), two atoms (pyrite, vaesite), and 13 atoms (tennantite and tetrahedrite) of S and two atoms of Te (melonite).

ируют от 0.27 до 8.96 мас. % (табл. 5). Помимо серебра, золото содержит Cu (0.04–1.83 мас. %) и Hg (0.01–0.48 мас. %). Золото из лиственитов характе-

ризуется наибольшим разбросом пробыности (от 880 до 1000‰) и двумя пиками, которые соответствуют интервалам 930–940 и 990–1000‰ (рис. 13).

Таблица 5. Состав минералов золота и серебра Мечниковского месторождения, мас. %

Table 5. Composition of Au and Ag minerals of the Mechnikovskoe deposit, wt %

№ п.п.	№ обр.	№ зерна	№ ан.	Au	Ag	Cu	Hg	Сумма	ВМ
Золото									
Листвениты, $Au_{0.93}Ag_{0.06}Cu_{0.01}$									
1	Лен-3-2	1	18160a	97.72	1.71	0.37	–	99.80	Q
2			18160b	97.99	1.73	0.25	–	99.97	
3			18160c	97.87	1.60	0.33	–	99.81	
4		2	18160d	98.11	1.51	0.39	–	100.01	
5			18160e	97.77	1.35	0.55	–	99.67	
6			18160f	97.35	1.71	0.52	0.42	100.00	
7		3	18160g	97.86	1.66	0.40	–	99.92	
8			18160h	97.75	1.66	0.41	–	99.82	
9			18160i	98.24	1.37	0.45	–	100.06	
10	L1-R2	28	17593a	99.34	0.56	0.03	–	99.93	
11			17593b	99.24	0.61	0.07	–	99.94	
12			17593c	99.27	0.59	0.03	–	99.89	
13			17593d	99.42	0.34	0.16	–	99.92	
14			17593e	99.53	0.27	–	–	99.87	
15			17593f	98.87	0.82	0.04	–	99.73	
16			17593g	99.47	0.44	0.09	–	99.91	
17	Лен-5-1	4	18157a	96.47	3.04	0.32	–	99.83	Py <sub>ок</sub>
18		5	18157b	96.71	2.78	0.37	0.14	99.99	
19	Лен-9-1	6	18159b	92.77	6.79	–	0.34	99.90	Q
20			18159f	93.01	6.28	0.44	0.21	99.95	
21			18159g	94.11	5.30	0.47	0.01	99.88	
22	Лен-9-2	10	18159h	93.10	5.57	0.57	0.28	99.53	
23			18159i	93.71	5.67	0.52	0.11	100.01	
24			18158a	88.42	8.96	1.83	0.48	99.68	Py
25			18158b	89.13	8.91	1.62	0.25	99.92	
26	Лен-9-2	13	18158h	93.88	5.37	0.51	–	99.75	Q
27			18158i	93.06	6.26	0.36	0.18	99.85	
28	Лен-74-3/3 Среднее		22210a	95.01	4.96	–	–	99.97	
Кварцевые прожилки в лиственитах, $Au_{0.91}Ag_{0.08}Cu_{0.01}$									
29	Лен-10-1	15	18154a	94.54	4.25	–	0.98	99.76	Py <sub>ок</sub>
30			18154b	94.64	4.79	–	0.47	99.89	
31			18154c	94.03	4.46	–	1.39	99.89	
32			18154d	94.36	4.98	0.04	0.34	99.73	
33			18154f	94.39	4.97	–	0.18	99.55	
34	Лен-10-2	20	18152a	94.50	4.89	0.39	–	99.78	
35			18152b	94.03	5.25	0.32	0.36	99.97	
36			18152c	94.94	4.58	0.29	0.12	99.93	
37			21	18152j	96.11	3.32	0.48	–	99.92
38	18152k	95.58		3.44	0.45	–	99.47		
39	18152l	95.91		3.49	0.43	–	99.84		
40	Лен-10-2	22	18152d	95.55	3.95	0.46	–	99.95	
41			18152e	95.78	3.65	0.36	0.17	99.96	
	Среднее			94.95	4.31	0.25	0.31	99.82	
Березиты, $Au_{0.92}Ag_{0.08}$									
42	Лен-84-1	1	22208a	98.14	1.66	–	–	99.80	Py <sub>ок</sub>
43			22208b	90.75	8.95	–	–	99.70	
44			22208c	94.63	5.32	–	–	99.94	
45	Лен-54-2	2	22209a	95.42	4.42	–	–	99.84	
46	Лен-55-2	3	22211a	96.15	3.36	–	–	99.52	
	Среднее			95.02	4.74	–	–	99.52	

Таблица 5. Окончание

Table 5. Ending

№ п.п.	№ обр.	№ зерна	№ ан.	Au	Ag	Cu	Hg	Сумма	BM
Углеродистые сланцы, $Au_{0.89}Ag_{0.10}$									
47	Лен-14	24	18155a	91.05	8.30	0.39	0.32	100.07	$Py_{ок}$
48		25	18155b	91.20	8.34	0.39	—	99.93	
49		26	18155d	96.31	2.93	0.44	—	99.68	
50			18155c	96.17	3.48	0.28	—	99.93	
51			18155e	96.38	2.79	0.53	—	99.70	
52		27	18155f	90.03	9.24	0.25	0.31	99.83	
	Среднее			93.52	5.85	0.38	0.11		
Золото из шлихов, $Au_{0.94}Ag_{0.06}$									
53	L1-1	29	1	94.82	3.64	—	—	98.45	$Py_{ок}$
54			2	97.97	3.44	0.09	—	101.50	
55			3	95.78	3.22	0.10	—	99.09	
56			4	96.27	3.26	0.10	—	99.63	
57			5	97.04	3.73	0.09	—	100.85	
58			6	94.92	3.15	0.07	—	98.15	
59	L1-2	30	1	95.70	2.46	0.07	—	98.23	
60			2	95.89	4.39	—	—	100.24	
61	L1-3	31	1	96.81	2.61	—	—	99.42	
62			2	96.58	3.52	—	—	100.10	
63			3	96.62	3.76	—	—	100.38	
64			4	96.27	3.61	—	—	99.87	
65			5	96.71	2.20	—	—	98.92	
66	L1-4	32	1	96.27	3.61	—	—	99.88	
67			2	94.99	3.58	—	—	98.56	
68			3	98.18	3.46	—	—	101.64	
69			4	96.58	3.52	—	—	100.10	
70			5	95.88	3.96	—	—	99.84	
	Среднее			96.29	3.40	0.03	—		
№ п.п.	№ обр.	№ зерна	№ ан.	Au	Ag	Cu	Te	Сумма	BM
Штютцит в листвените, $(Ag_{3.02}Au_{0.93}Cu_{0.12})_{4.07}Te_3$									
71	Лен-9-1	1	18159c	19.96	35.42	0.84	41.68	97.90	$Py$
Петцит в листвените, $Ag_{3.04}Au_{1.04}Cu_{0.08}Te_2$									
72	Лен-9-1	1	18159d	27.11	40.00	0.51	31.68	99.30	$Q$
73 <sup>1</sup>		2	18159e	25.62	41.21	0.46	32.52	99.95	
74 <sup>2</sup>	Лен-9-2	1	18158c	24.59	41.11	0.26	33.30	99.77	
	Среднее			25.77	40.77	0.41	32.50		

Примечание. Анализы 1–52, 71–74 выполнены на растровом электронном микроскопе РЭММА-202М с ЭДП (ИМин УрО РАН, г. Миасс, аналитик В.А. Котляров), 53–70 – на рентгеноспектральном микроанализаторе JEOL-733 JXA (ИМин УрО РАН, г. Миасс, аналитик Е.И. Чуринов). Прочерк – элемент не обнаружен; <sup>1,2</sup> – в анализах присутствует 0.14 и 0.52 мас. % Hg соответственно. Формулы минералов рассчитаны по средним составам на сумму металлов, равную 1 (золото), 3 (штютцит) и 2 (петцит) атомов теллура. BM – вмещающий минерал:  $Q$  – кварц,  $Py$  – пирит,  $Py_{ок}$  – окисленный пирит.

Note. Analyses are carried out on a remma-202m SED equipped with EDAX (nos. 1–52 and 71–74, IMin UB RAS, Miass, analyst V.A. Kotlyarov) and on a JEOL-733 JXA microprobe (nos. 53–70, IMin UB RAS, Miass, analyst E.I. Churin). Dash – not found; <sup>1,2</sup> – analyses contain 0.14 and 0.52 wt. % Hg respectively. The formula of minerals are recalculated by average compositions to metal sum of 1 (gold) and to three (stützite) and two (petzite) Te atoms. Host mineral (BM):  $Q$  – quartz,  $Py$  – pyrite,  $Py_{ок}$  – oxidized pyrite.

В кварцевых жилах в лиственитах золото чаще находится в виде ксеноморфных зерен размером до 50 мкм в полуокисленных кристаллах пирита или на контактах пирита и кварца. Включения золота в пирите образуют сростания с тетраэдритом или мелонитом. Состав золота подобен таковому из основной массы лиственитов (см. табл. 5), пик

пробности соответствует интервалу 940–950% (см. рис. 13). В золоте из кварцевых жил в лиственитах отмечаются повышенные содержания Hg (среднее 0.31 мас. %) (см. табл. 5).

*Петцит* образует включения размером до 5 мкм как в основной массе породы, так и в кристаллах пирита и нередко соседствует с включениями галле-

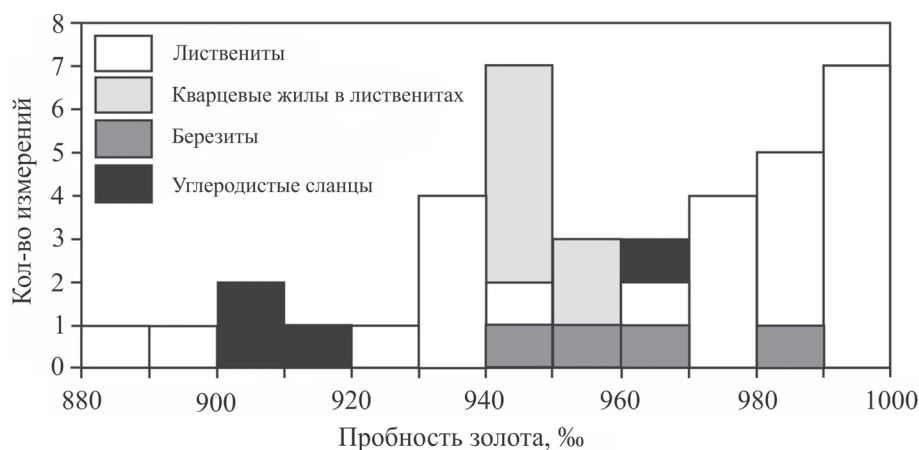


Рис. 13. Гистограмма пробности золота Мечниковского месторождения.

Fig. 13. Histogram of fineness of gold of the Mechnikovskoe deposit.

нита в последнем (см. рис. 12г). Минерал содержит примеси Cu (до 0.51 мас. %) и Hg (до 0.52 мас. %) (см. табл. 5). Субизометричное зерно теллурида золота и серебра размером около 2 мкм в поперечнике было найдено в основной кварцевой массе лиственита вблизи зерна золота. Состав минерала наиболее близок к штютциту ( $Ag_{5-x}Te_3$ ) [Чвилева и др., 1988]. В составе минерала отмечена примесь Cu (0.84 мас. %) (см. табл. 5). *Йодаргирит* (определенный по энергодисперсионным спектрам) обнаруживается в агрегатах гетита, которые замещают кристаллы пирита, в виде зерен с неясными очертаниями размером до 10 мкм.

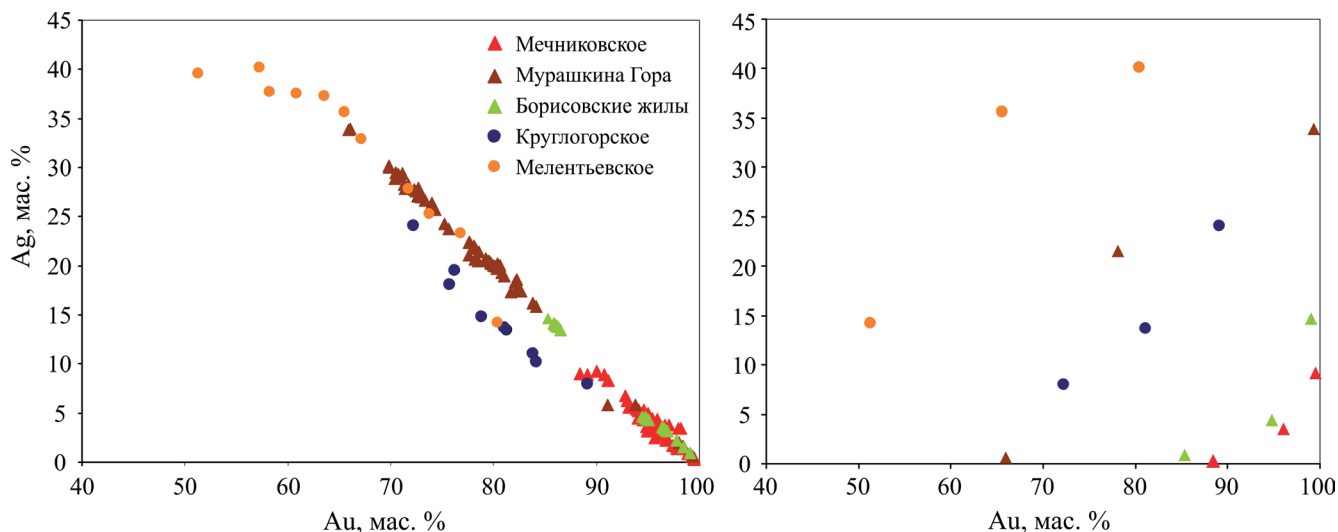
В березитах золото в виде мелких удлинённых угловатых зерен (<10 мкм) найдено в окисленных кристаллах пирита или в трещинах в сростках пирита (рис. 12з). Состав золота характеризуется только примесью серебра (1.66–8.95 мас. %), содержания которого сходны с таковыми в золоте из лиственитов, кварцевых жил и углеродистых сланцев (см. табл. 5). Диапазон пробности золота укладывается в интервал пробности золота из лиственитов (см. рис. 13).

В углеродистых сланцах золото найдено в виде мелких включений округлой, овальной или удлиненной морфологии, редко размером до 20 мкм в кристаллах пирита с включениями халькопирита и галенита (см. рис. 12б). В составе золота, помимо серебра, также отмечается медь и ртуть, что близко золоту из лиственитов и кварцевых жил (см. табл. 5, рис. 13).

#### СРАВНЕНИЕ ЗОЛОТА МЕЧНИКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮЖНОЙ ЧАСТИ МИАССКОГО РУДНОГО АЙОНА

В 10 км к западу от Мечниковского месторождения, в зоне Главного Уральского разлома

ма, располагаются небольшие месторождения золота Борисовские жилы и Мурашкина Гора (см. рис. 1), входящие в Архангельское золоторудное поле, для которых известны позиция золота в рудах и его химический состав. Месторождение Мурашкина Гора представлено кварцевыми жилами на контакте лиственитов с карбонатными породами [Бородаевский, 1948; Сазонов и др., 2002]. Контакт трассируется дайкой аплитовидных плагиогранитов. Золото на месторождении выделено из протолок охристых масс висячего контакта главной кварцевой жилы с кремнисто-слюдистыми сланцами и из тальцитов в лежащем боку кварцевой жилы [Артемьев и др., 2013]. В охрах оно содержит 14 мас. % Ag, тогда как в талькитах – 3–4 мас. %, а также 0.8 мас. % Cu. На золотилах отмечаются гипергенные каймы с содержанием Au 98–99 мас. %. На месторождении Борисовские жилы золотоносные листвениты и талькиты контактируют с кварц-серичитовыми сланцами и плагиогранитами. Золотины из протолок охр на контакте кварцевой жилы со сланцами характеризуются повышенными содержаниями Ag (13–15 мас. %), тогда как золото из тальцитов имеет его пониженные концентрации (3–5 мас. %) и содержит 0.6–0.9 мас. % Cu [Артемьев и др., 2014]. Севернее Мечниковского месторождения в зоне Главного Уральского разлома известны золотосодержащие Круглогорское железорудное и Мелентьевское полиметаллическое месторождения (см. рис. 1). Круглогорское месторождение располагается в северном замыкании синформы, в основании которой залегают серпентиниты, и приурочено к северному контакту секущего массива габброидов [Жилин, 2006]. Золото в рудах Круглогорского месторождения характеризуется сильно варьирующими содержаниями Au и Ag (75–94 и 0.8–24.1 мас. % соответственно), низ-



**Рис. 14.** Диаграмма Au–Ag для некоторых золотосодержащих месторождений Главного Уральского разлома. Данные по месторождениям, см. текст.

Справа – минимальные, медианные и максимальные содержания золота и серебра в золоте.

**Fig. 14.** Au–Ag diagrams for gold of some gold-bearing deposits of the Main Uralian Fault. Data on deposits, see text.

To the right – minimum, median, and maximum Au and Ag contents in gold.

кими содержаниями Cu (0.2–0.9 мас. %) и высокими – Hg (до 5.7 мас. %) и Pd (1.2 мас. % в единичном случае) [Зайков и др., 2010]. Золото ассоциирует с теллуридами Вi и Pb. На Мелентьевском месторождении, приуроченном к тектонической пластине рассланцованных диабазов карамалыташской свиты [Рожков, Абдрахимов, 1948; Зайков, 1988], золото характеризуется самыми высокими содержаниями Ag (14.23–40.16 мас. %) и локальным присутствием Cu (0.13–4.45 мас. %) и Hg (0.80–3.99 мас. %) [Попова и др., 2005].

Сравнительный анализ золота Мечниковского месторождения с золотом указанных объектов показывает, что оно характеризуется наименьшими содержаниями серебра и их наименьшим разбросом (рис. 14). Золото Мечниковского месторождения по содержанию серебра, наиболее сходно с таковым из месторождения Борисовские жилы. Между тем, в отличие от золота месторождений Мурашкина Гора и Борисовские жилы, в золоте Мечниковского месторождения присутствует небольшое количество Hg (<1 мас. % в большинстве анализов) (см. табл. 5). Высокие содержания Ag и Hg отличают золото Круглогорского и Мелентьевского месторождений от такового из Мечниковского месторождения. Таким образом, в пределах небольшого фрагмента одной коллизионной структуры состав золота широко варьирует, что свидетельствует о различном составе флюида и физико-химических условий процессов, приводящих к его образованию.

#### СРАВНЕНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЙ ЗОЛОТО-КВАРЦЕВЫХ ЖИЛ МЕЧНИКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЗОЛОТО РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ЛИСТВЕНИТАХ

Ранее было показано, что температуры гомогенизации ( $T_f$ ) первичных флюидных включений в золоторудном кварце Мечниковского месторождения составляют 110–256°C (с поправкой на давление – 207–316°C), давление оценивается в 0.4–0.8 кбар, основными компонентами солевой системы растворов служили NaCl и H<sub>2</sub>O с возможной примесью NaHCO<sub>3</sub> и KCl, а соленость растворов варьирует от 10.6 до 16.7 мас. % NaCl-экв. [Мелекесцева, Юминов, 2015]. Параметры флюидных включений в кварце соседнего месторождения Мурашкина Гора отличаются более низкими  $T_f$  включений (103–203°C) и более низкой солегностью растворов (4–12.6 мас. % NaCl-экв.) [Артемьев, Анкушева, 2014]. Повышенные  $T_f$  флюидных включений в золотоносном кварце характерны для золоторудных месторождений в лиственитах Учалинского района: 214–301°C для Алтын-Ташского [Мелекесцева, Юминов, 2015] и 117–373 °C для Ганеевского [Belogub et al., 2017] месторождений. При этом флюидные включения в кварце этих месторождений характеризуются сильно варьирующими значениями солености растворов: 2.2–16.8 мас. % NaCl-экв. для Алтын-Ташского [Мелекесцева, Юминов, 2015] и 2.3–13.6 мас. % NaCl-экв. для Ганеевского [Belogub et al., 2017] месторождений.

Считается, что образование золоторудных месторождений, связанных с лиственитами и березитами, происходило в коллизионную стадию развития Уральского складчатого пояса [Сазонов и др., 2001].

Различные физико-химические параметры флюидных включений в кварце из Мечниковского месторождения и других объектов в лиственитах (Мурашкина Гора, Борисовские жилы, Алтын-Ташское, Ганеевское) отражают локальную картину на каждом из месторождений в момент образования золотого оруденения. К сходным характеристикам условий образования относятся источник флюида и возможный источник металлов на месторождениях в лиственитах. Так, узкий интервал значений  $\delta^{18}\text{O}$  в золоторудном кварце Мечниковского, Алтын-Ташского и Ганеевского месторождений (14.7–15.4, 13.2–13.6 и 10.1–12.7‰ соответственно) свидетельствует об отсутствии изотопного обмена между вмещающими породами и флюидами [Goldfarb, Groves, 2015]. Вычисленный изотопный состав воды (5.7–6.4, 4.2–4.6 и 6.0–6.7‰ соответственно) сходен со значениями  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  для раннего кварца Березовского месторождения и попадает в интервал значений, приписываемых магматогенной воде [Бортников, 2006]. Повышенная соленость растворов, законсервированных во включениях, также может свидетельствовать о магматическом вкладе в рудообразование.

Как было подчеркнуто в недавнем обзоре золоторудных месторождений, связанных с лиственитами и березитами, источник золота для таких месторождений остается дискуссионным [Belogub et al., 2017]. Некоторые зарубежные исследователи полагают, что его источником для месторождений в лиственитах могли стать ультраосновные и основные породы, однако этот вариант подразумевает либо переработку огромного объема породной массы, либо дополнительный механизм экстракции и накопления золота. В качестве такового для золоторудных месторождений (Кочкарского, Березовского и др.), связанных с габбро-тоналит-гранодиорит-гранитными plutонами Урала (Пластовским, Верхисетским и др.), был предложен многоступенчатый анатексис мантийных габбро и диоритов в надсубдукционной зоне [Ферштатер и др., 2010]. Однако мелкие золоторудные месторождения, такие как Мечниковское, Мурашкина Гора, Борисовские жилы, Алтын-Ташское и Ганеевское в лиственитах и березитах, не ассоциируют с подобного рода plutонами, и данный механизм вряд ли может объяснить формирование золоторудных месторождений, связанных с заложением Главного Уральского разлома в коллизионную стадию [Сазонов и др., 2001]. По данным термодинамического моделирования, переработка как основных, так и ультраосновных пород морской водой также не приводит к отложению минералов золота из охлаждающегося раствора [Melekestseva et al., 2017], что указывает на до-

полнительный (магматический?) источник золота для достижения концентраций насыщения. Так, магматический вклад в обогащение золотом сульфидных залежей и формирование золоторудных рудопроявлений в различных геодинамических структурах Мирового океана стал в последнее время одной из основных гипотез [Moss, Scott, 2001; Petersen et al., 2002; de Ronde et al., 2011; Grichuk, 2012; Berkenbosch et al., 2012; Melekestseva et al., 2017]. С этой версией согласуются магматогенный источник флюида и высокая соленость флюидных включений.

## ВЫВОДЫ

Нашими исследованиями установлено, что структура Мечниковского месторождения представляет собой пакет из двух тектонических пластин, залегающих субвертикально. Тектоническая пластина I образована серпентинитами, карбонатизированными серпентинитами, тальк-карбонатными метасоматитами и лиственитами. Чрезвычайно высокая хромистость хромитов из серпентинитов Мечниковского месторождения указывает на островодужную природу гипербазитов и их формирование в основании Западно-Магнитогорской дуги. Тектоническая пластина II представлена вулканогенной толщей ирендыкской свиты, которая состоит из пачки метадолеритов и плагиоклазовых метабазальтов, а также вулканомиктовых метапесчаников, метагравелитов и метабрекчий с прослоями глинистых сланцев и толщей афировых метабазальтов карамальташской свиты. В центральной части месторождения вулканогенные породы тектонической пластины II прорваны дайкой мелкозернистых гранитов. На основании содержания Li, Rb, Nb, Cs, Ba, Ta и Th предполагается их островодужное происхождение.

Золотоносные породы месторождения представлены лиственитами, березитами и углеродистыми сланцами. Листвениты Мечниковского месторождения образовались по ультраосновным породам, что подтверждается реликтовыми хромитами, присутствием Cr-содержащего мусковита, низкими содержаниями  $\text{SiO}_2$ , высокими содержаниями MgO, Cr и Ni. Березиты Мечниковского месторождения генетически связаны с вулканическими породами основного состава, что подтверждается реликтовыми вкрапленниками плагиоклаза и химическим составом пород, сопоставимым с плагиоклазовыми метабазальтами и метадолеритами. Обнаружение золота в различных породах месторождения свидетельствует о процессах его отложения после формирования геологической структуры месторождения. Источником золота, возможно, был магматический флюид.

В южной части Миасского рудного района присутствует значительное количество золоторудных



месторождений, связанных с гипербазитами. На примере Мечниковского месторождения демонстрируется петрографо-минералогическая и геохимическая модель подобного типа объектов, на основе которой можно подойти к изучению и возможной переоценке перспектив других золотоносных объектов, находящихся в сходной геологической ситуации.

Авторы выражают благодарность Л.Я. Кабановой, Е.В. Белогуб и Н.Р. Аюповой за консультации в ходе исследований, а также рецензенту за внимательное рассмотрение работы и замечания, которые улучшили ее.

Работа выполнена в рамках государственной бюджетной темы Института минералогии УрО РАН № АААА-А16-11-602101044-0 и частично поддержана проектом президиума УрО РАН № 1511-523.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Артемьев Д.А., Анкушева Н.Н. (2014) Условия формирования золото-сульфидно-кварцевой минерализации месторождения Мурашкина Гора (Миасский золоторудный район, Южный Урал). *Металлогения древних и современных океанов-2014. Двадцать лет на передовых рубежах геологии месторождений полезных ископаемых*. Миасс: ИМин УрО РАН, 142-146.
- Артемьев Д.А., Блинов И.А., Анкушев М.Н. (2013) Самородное золото месторождения листовничитового типа Мурашкина Гора (Южный Урал). *Материалы III Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов памяти акад. А.П. Карпинского*. СПб: ВСЕГЕИ, 183-187.
- Артемьев Д.А., Крайнев Ю.Д., Зайков В.В. (2014) Минералогия золоторудного месторождения Борисовские жилы (Миасский район, Южный Урал). *Металлогения древних и современных океанов-2014. Двадцать лет на передовых рубежах геологии месторождений полезных ископаемых*. Миасс: ИМин УрО РАН, 137-142.
- Бородаевский Н.И. (1948) Типы золоторудных месторождений, связанных с ультрамафитовыми породами Миасского и Учалинского районов Южного Урала. *200 лет золотой промышленности Урала*. Свердловск: УФАН СССР, с. 316-330.
- Бортников Н.С. (2006) Геохимия и происхождение рудообразующих флюидов в гидротермально-магматических системах в тектонически активных зонах. *Геология рудн. месторожд.*, **48**(1), 3-28.
- Жилин И.В. (2006) Закономерности локализации золота в скарново-магнетитовых рудах Круглогорского месторождения. *Сб. науч. статей по материалам научно-практической конференции*. Челябинск: Цицеро, 166-171.
- Зайков В.В. (1988) Мелентьевское полиметаллическое месторождение Миасского района. *Материалы к минералогии рудных районов Урала*. Свердловск: УрО РАН СССР, 74-79.
- Зайков В.В. (2006) Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин. М.: Наука, 429 с.
- Зайков В.В., Жилин И.В., Котляров В.А., Зайкова Е.В. (2010) Самородное золото Круглогорского железорудного месторождения. *Уральская минералогическая школа-2010*. Екатеринбург: УрО РАН, 65-68.
- Короновский Н.В., Демина Л.И. (2011) Магматизм как индикатор геодинамических обстановок. М.: КДУ, 234 с.
- Косарев А.М., Пучков В.Н., Серавкин И.Б. (2005) Петролого-геохимические особенности раннедевонско-эфельских островодужных вулканитов Магнитогорской зоны в геодинамическом контексте. *Литосфера*, (4), 24-40.
- Косарев А.М., Пучков В.Н., Серавкин И.Б. (2006) Петролого-геохимические особенности среднедевонско-раннекаменноугольных островодужных и коллизионных вулканитов Магнитогорской зоны в геодинамическом контексте. *Литосфера*, (1), 3-21.
- Кураев Н. (1929) Геологические исследования листовничитов Миасского района и связанных с ними коренных месторождений золота. *Изв. Геол. комитета*, вып. 79.
- Маслов В.А., Салихов Д.Н. (2015) К проблеме формирования ирендыкской свиты Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала. *Литосфера*, (6), 26-35.
- Медведева Е. В., Немов А. Б., Котляров В. А. (2015) Метасоматиты основного и среднего состава из Няшевского серпентинитового массива (Ильменские горы, Южный Урал). *Литосфера*, (6), 53-68.
- Мелекесцева И.Ю., Юминов А. М. (2015) Условия формирования золото-кварцевых жил Мечниковского и Алтын-Ташского месторождений, Южный Урал: результаты термобарогеохимических и изотопных исследований. *Минералогия*, (2), 58-67.
- Павлов Н.В. (1949) Химический состав хромшпинелидов в связи с химическим составом пород ультраосновных интрузивов. *Тр. Ин-та Геологических наук. Вып. 108. Сер. рудн. месторожд.*, **18**, 91 с.
- Попова Е.С., Зайков В.В., Мурзин В.В. (2005) Минералы золота и серебра в рудах Мелентьевского золотополиметаллического месторождения. *Уральский минералогический сборник № 13*. Миасс: ИМин УрО РАН, 146-156.
- Пучков В.Н. (2000) Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 146 с.
- Рожков И.С., Абдрахимов К.З. (1948) Мелентьевское месторождение. *200 лет золотой промышленности Урала*. Свердловск: УФАН СССР, 331-341.
- Савельев Д.Е. (2013) Состав аксессуарных хромшпинелидов из ультрабазитов Южного Урала как отражение геодинамической обстановки формирования массивов. *Вестник Пермского университета. Геология*, **18**(1), 17-25.
- Савельев Д.Е., Сначев В.И., Савельева Е.Н., Бажин Е.А. (2008) Геология, петрогеохимия и хромитоносность габбро-гипербазитовых массивов Южного Урала. Уфа: ДизайнПолиграфСервис. 320 с.
- Сазонов В.Н., Мурзин В.В., Огородников В.Н., Волченко Ю.А. (2002) Золотое оруденение, сопряженное с альпинотинными гипербазитами (на примере Урала). *Литосфера*, (4), 63-77.
- Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А., Поленов Ю.А. (2001) Месторождения золота Урала. Екатеринбург: УГГА. 622 с.
- Серавкин И.Б. (1986) Вулканизм и колчеданные место-

- рождения Южного Урала. М.: Наука, 268 с.
- Серавкин И.Б., Косарев А.М., Родичева З.И. (2003) Критерии отличия вулканогенных комплексов западного крыла Магнитогорского мегасинклинария по геологическим, петрохимическим и геохимическим данным. *Геологический сборник № 3*. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 120-129.
- Ферштатер Г.Б. (2001) Гранитоидный магматизм и формирование континентальной земной коры в ходе развития Уральского орогена. *Литосфера*, (1), 62–85.
- Ферштатер Г.Б., Холоднов В.В., Кременецкий А.А., Краснобаев А.А., Бородина Н.С., Зинькова Е.А., Прибавкин С.В. (2010) Золотоносные габбро-тоналит-гранодиорит-гранитные массивы Урала: возраст, геохимия, особенности магматической и рудной эволюции. *Геол. рудн. месторожд.*, **52**(1), 65-84.
- Чвилева Т.Н., Безсмертная М.С., Спиридонов Э.М., Агроскин А.С., Папаян Г.В., Виноградова Р.А., Лебедева С.И., Завьялов Е.Н., Филимонова А.А., Петров В.К., Раутиан Л.П., Свешникова О.Л. (1988) Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. Л.: Недра, 503 с.
- Arai S. (1992) Chemistry of chromian spinel in volcanic rocks as a potential guide to magma chemistry. *Min. Mag.*, **56**, 173–184.
- Belogub E.V., Melekestseva I.Yu., Novoselov K.A., Zabolina M.V., Tret'yakov G.A., Zaykov V.V., Yuminov A.M. (2017) Listvenite-related gold deposits of the South Urals (Russia): a review. *Ore Geol. Rev.*, **85**, 247-270.
- Berkenbosch H.A., de Ronde C.E.J., Gemmel J.B., McNeil A.W., Goemann K. (2012) Mineralogy and formation of black smoker chimneys from Brothers submarine volcano, Kermadec Arc. *Econ. Geol.*, **107**, 1613-1633.
- Choi S.H., Shervais J.W., Mukasa S.B. (2008) Suprasubduction and abyssal mantle peridotites of the Coast Range ophiolite, California. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **156**, 551-576.
- de Ronde C.E.J., Massoth G.J., Butterfield D.A., Christenson B.W., Ishibashi J., Ditchburn R.G., Hannington M.D., Brathwaite R.L., Lupton J.E., Kamenetsky V.S., Graham I.J., Zellmer G.F., Dziak R.P., Embley R.W., Dekov V.M., Munnik F., Lahr J., Evans L.J., Takai K. (2011) Submarine hydrothermal activity and gold-rich mineralization at Brothers Volcano, Kermadec Arc, New Zealand. *Min. Dep.*, **46**, 541-584.
- Dick H.J.B., Bullen T. (1984) Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **86**, 54-76.
- Goldfarb R.J., Groves D.I. (2015) Orogenic gold: common or evolving fluid and metal sources through time. *Lithos*, **233**, 2-26.
- Grichuk D.V. (2012) Thermodynamic model of ore-forming processes in a submarine island-arc hydrothermal system. *Geochem. Intern.*, **50**(13), 1069-1100.
- Himmler T., Bach W., Bohrmann G., Peckmann J. (2010) Rare earth elements in authigenic methane-seep carbonates as tracers for fluid composition during early diagenesis. *Chem. Geol.*, **277**, 126-136.
- Kontak D.J., Jackson S.J. (1999) Documentation of variable trace- and rare earth element abundances in carbonates from auriferous quartz veins in Meguma lode gold deposits, Nova Scotia. *Can. Min.*, **37**, 469-488.
- Melekestseva I.Yu., Maslennikov V.V., Tret'yakov G.A., Nimis P., Beltenev V.E., Rozhdestvenskaya I.I., Maslennikova S.P., Belogub E.V., Danyushevsky L., Large R., Yuminov A.M., Sadykov S.A. (2017) Gold- and silver-rich massive sulfides from the Semenov-2 hydrothermal field, 13°31.13' N, Mid-Atlantic Ridge: A case of magmatic contribution? *Econ. Geol.*, **112**(4), 741-773.
- Moss R., Scott S.D. (2001) Geochemistry and mineralogy of gold-rich hydrothermal precipitates from the Eastern Manus Basin, Papua New Guinea. *Can. Min.*, **39**, 957-978.
- Nadeau O., Cayer A., Pelletier M., Stevenson R., Jébrak M. (2015) The Paleoproterozoic Montviel carbonate-hosted REE-Nb deposit, Abitibi, Canada: Geology, mineralogy, geochemistry and genesis. *Ore Geol. Rev.*, **67**, 314-335.
- Petersen S., Herzig P.M., Hannington M.D., Jonasson I.R., Arribas A.Jr. (2002) Submarine gold mineralization near Lihir Island, New Ireland fore-arc, Papua New Guinea. *Econ. Geol.*, **97**, 1795-1813.
- Puchkov V.N. (2017) General features relating to the occurrence of mineral deposits in the Urals: What, where, when and why. *Ore Geol. Rev.*, **85**, 4-29.
- Rose G. (1837) Mineralogisch-geognostische Reise nach dem Ural, dem Altai and dem Kaspischen Meere. Volume 1: Reise nach dem nördlichen Ural and dem Altai. Berlin, C.V. Eichhoff Verlag der Sanderschen Buchhandlung, 633 p.
- Sun S.-S., McDonough W. F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geol. Soc. Spec. Publ., London*, **42**, 313-345.
- Sun S.-S., Nesbitt R.W. (1978) Petrogenesis of Archaean Ultrabasic and Basic Volcanics: Evidence From Rare Earth Elements. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **65**, 301-325.
- Zaykov V.V., Melekestseva I.Yu., Zaykova E.V., Kotlyarov V.A., Kraynev Yu.D. (2017) Gold and platinum group minerals in placers of the South Urals: composition, microinclusions of ore minerals and primary sources. *Ore Geol. Rev.*, **85**, 299-320.
- Zharikov V.A., Pertsev N.N., Rusinov V.L., Callegari E., Fettes D.J. (2007) Metasomatism and metasomatic rocks. [https://www.bgs.ac.uk/scmr/docs/papers/paper\\_9.pdf](https://www.bgs.ac.uk/scmr/docs/papers/paper_9.pdf).

## REFERENCES

- Academician A.P. Karpinsky]. St.Petersburg, VSEGEI Publ., 183-187 (In Russian)
- Artem'ev D.A., Krainev Yu.D., Zaykov V.V. (2014) Mineralogy of the Borisovskie Zhily gold deposit (Miass region, the Southern Urals). *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov-2014. Dvadtsat' let na peredovykh ru-bezhakh geologii mestorozhdenii poleznykh iskopayemykh* [Metallogeny of ancient and modern oceans-2014. Twenty years at the frontier of geology of mineral deposits]. Miass: IMin UrO RAN, 137-142. (In Russian)
- Belogub E.V., Melekestseva I.Yu., Novoselov K.A., Zabolina M.V., Tret'yakov G.A., Zaykov V.V., Yuminov A.M. (2017) Listvenite-related gold deposits of the South Urals (Russia): a review. *Ore Geol. Rev.*, **85**, 247-270.
- Berkenbosch H.A., de Ronde C.E.J., Gemmel J.B., McNeil A.W., Goemann K. (2012) Mineralogy and formation of black smoker chimneys from Brothers submarine volcano, Kermadec Arc. *Econ. Geol.*, **107**, 1613-1633.
- Borodaevskii N.I. (1948) Types of gold deposits related to ultramafic rocks of the Miass and Uchaly regions of the Southern Urals). *200 let zolotoi promyshlennosti Urala* [The 200<sup>th</sup> anniversary of gold industry of the Urals]. Sverdlovsk: UFAN SSSR Publ., 316-330. (In Russian)
- Bortnikov N. S. (2006) Geochemistry and origin of the ore-forming fluids in hydrothermal-magmatic systems in tectonically active zones. *Geol. Ore Dep.*, **48**(1), 1-22.
- Choi S.H., Shervais J.W., Mukasa S.B., 2008. Suprasubduction and abyssal mantle peridotites of the Coast Range ophiolite, California. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **156**, 551-576.
- Chvileva T.N., Bezsmertnaya M.S., Spiridonov E.M., Agroskin A.S., Papayan G.V., Vinogradova R.A., Lebedeva S.I., Zav'yalov E.N., Filimonova A.A., Petrov V.K., Rautian L.P., Sveshnikova O.L. (1988) *Spravochnik-opredelitel' rudnykh mineralov v otrazhennom svete* [Manual for identification of ore minerals in reflected light]. Leningrad, Nedra Publ., 503 p. (In Russian)
- de Ronde C.E.J., Massoth G.J., Butterfield D.A., Christenson B.W., Ishibashi J., Ditchburn R.G., Hannington M.D., Brathwaite R.L., Lupton J.E., Kamenetsky V.S., Graham I.J., Zellmer G.F., Dziak R.P., Embley R.W., Dekov V.M., Munnik F., Lahr J., Evans L.J., Takai K. (2011) Submarine hydrothermal activity and gold-rich mineralization at Brothers Volcano, Kermadec Arc, New Zealand. *Miner. Dep.*, **46**, 541-584.
- Dick H.J.B., Bullen T. (1984) Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **86**, 54-76.
- Fershtater G.B. (2001) Granitoid magmatism and formation of continental crust during evolution of the Uralian orogen. *Litosfera*, (1), 62-85.
- Fershtater G.B., Kholodnov V.V., Krasnobaev A.A., Borodina N.S., Zin'kova E.A., Pribavkin S.V., Kremenskii A.A. (2010) Au-bearing gabbro-tonalite-granodiorite-granite plutons of the Urals: age, geochemistry, peculiarity of magmatic and ore evolution. *Geol. Ore Deposits*, **52**(1), 58-76.
- Goldfarb R.J., Groves D.I. (2015) Orogenic gold: common or evolving fluid and metal sources through time. *Lithos*, **233**, 2-26.
- Grichuk D.V. (2012) Thermodynamic model of ore-forming processes in a submarine island-arc hydrothermal system. *Geochem. Intern.*, **50**(13), 1069-1100.
- Himmler T., Bach W., Bohrmann G., Peckmann J. (2010) Rare earth elements in authigenic methane-seep carbonates as tracers for fluid composition during early diagenesis. *Chem. Geol.*, **277**, 126-136.
- Kontak D. J., Jackson S. J. (1999) Documentation of variable trace- and rare earth element abundances in carbonates from auriferous quartz veins in Meguma lode gold deposits, Nova Scotia. *Can. Min.*, **37**, 469-488.
- Koronovskii N.V., Demina L.I. (2011) *Magmatizm kak indikator geodinamicheskikh obstanovok* [Magmatism as an indicator of geodynamic settings]. Moscow, KDU Publ., 234 p. (In Russian)
- Kosarev A.M., Puchkov V.N., Seravkin I.B. (2005) Petrological-geochemical features of the Early Devonian-Eifelian island-arc volcanics of the Magnitogorsk zone in a geodynamic context. *Litosfera*, (4), 24-40. (In Russian)
- Kosarev A.M., Puchkov V.N., Seravkin I.B. (2006) Petrological-geochemical peculiarities of Middle Devonian-Early Carboniferous island-arc and collision volcanites of Magnitogorsk zone in geodynamic context. *Litosfera*, (1), 3-21. (In Russian)
- Kuraev N. (1929) Geological studies of listvenites of Miass region and related primary gold deposits. *Izvestiya Geologicheskogo komiteta*, Vyp. 79. (In Russian)
- Maslov V.A., Salikhov D.N. (2015) A problem of formation of the Irendyk Formation of the West Magnitogorsk zone, the Southern Urals). *Litosfera*, (6), 26-35. (In Russian)
- Medvedeva E.V., Nemov A.B., Kotlyarov V.A. (2015) Mafic and intermediate metasomatites of the Nyashevo serpentinite massif (Ilmeny Mountains, the Southern Urals). *Litosfera*, (6), 53-68. (In Russian)
- Melekestseva I.Yu., Maslennikov V.V., Tret'yakov G.A., Nimis P., Beltenev V.E., Rozhdestvenskaya I.I., Maslennikova S.P., Belogub E.V., Danyushevsky L., Large R., Yuminov A.M., Sadykov S.A. (2017) Gold- and silver-rich massive sulfides from the Semenov-2 hydrothermal field, 13°31.13' N, Mid-Atlantic Ridge: A case of magmatic contribution? *Econ. Geol.*, **112**(4), 741-773.
- Melekestseva I.Yu., Yuminov A.M. (2015) Formation conditions of gold-quartz veins of the Mechnikovskoe and Altyn-Tash deposit, South Urals: result of fluid inclusion and isotopic studies. *Mineralogiya*, (2), 58-67. (In Russian)
- Moss R., Scott S.D. (2001) Geochemistry and mineralogy of gold-rich hydrothermal precipitates from the Eastern Manus Basin, Papua New Guinea. *Can. Min.*, **39**, 957-978.
- Nadeau O., Cayer A., Pelletier M., Stevenson R., Jébrak M. (2015) The Paleoproterozoic Montviel carbonatite-hosted REE-Nb deposit, Abitibi, Canada: Geology, mineralogy, geochemistry and genesis. *Ore Geol. Rev.*, **67**, 314-335.
- Pavlov N.V. (1949) *Khimicheskii sostav khromspinelidov v svyazi s khimicheskim sostavom porod ul'traosnovnykh intruzivov* [Chemical composition of chromites related to the chemical composition of ultramafic rocks]. *Trudy instituta geologicheskikh nauk. Vyp. 108. Seriya rudnykh mestorozhdeniy*, **18**, 91 p. (In Russian)
- Petersen S., Herzig P.M., Hannington M.D., Jonasson I.R., Arribas A.Jr. (2002) Submarine gold mineralization near Lihir Island, New Ireland fore-arc, Papua New Guinea. *Econ. Geol.*, **97**, 1795-1813.
- Popova E.S., Zaykov V.V., Murzin V.V. (2005) Miner-

- als of gold and silver in ores from the Melent'evka gold polymetallic deposit. *Ural'skii mineralogicheskii sbornik № 13*. Miass: IMin UrO RAN, 146-156. (In Russian).
- Puchkov V.N. (2000) *Paleogeodinamika Yuznogo i Srednego Urala* [Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals]. Ufa: Dauriya Publ., 146 p. (In Russian)
- Puchkov V.N. (2017) General features relating to the occurrence of mineral deposits in the Urals: What, where, when and why. *Ore Geol. Rev.*, **85**, 4-29.
- Rose G. (1837) Mineralogisch-geognostische Reise nach dem Ural, dem Altai and dem Kaspischen Meere. Volume 1: Reise nach dem nördlichen Ural and dem Altai. Berlin, C.V. Eichhoff Verlag der Sanderschen Buchhandlung, 633 p.
- Rozhkov I.S., Abdrakhimov K.Z. (1948) Melent'evka deposit. *200 let zolotoi promyshlennosti Urala* [The 200<sup>th</sup> anniversary of gold industry of the Urals]. Sverdlovsk: UFAN SSSR, 331-341. (In Russian)
- Savel'ev D.E. (2013) [Composition of accessory chromites from ultramafic rocks of the South Urals as indicator of geodynamic setting of massifs]. *Vestnik Perm Univ. Geologiya*, **18**(1), 17-25. (In Russian)
- Savel'ev D.E., Snachev V.I., Savel'eva E.N., Bazhin E.A. (2008) *Geologiya, petrogeochimiya i khromitonochnost' gabbro-giperbazitovykh massivov Yuznogo Urala* [Geology, petrogeochemistry and chromite potential of gabbro-ultramafic massifs of the South Urals]. Ufa: Dizayn-PoligrafServis Publ., 320 p. (In Russian)
- Sazonov V.N., Murzin V.V., Ogorodnikov V.N., Volchenko Yu.A. (2002) Gold mineralization related to Alpine-type ultramafic rocks. *Litosfera*, (4), 63-77. (In Russian).
- Sazonov V.N., Ogorodnikov V.N., Koroteev V.A., Polenov Yu.A. (2001) Mestorozhdeniya zolota Urala [Gold deposits of the Urals]. Yekaterinburg: UGGA Publ., 622 p. (In Russian)
- Seravkin I.B. (1986) *Vulkanizm I kolchedannye mestorozhdeniya Yuzhnogo Urala* [Volcanism and massive sulfide deposits of the Southern Urals]. Moscow, Nauka Publ., 268 p. (In Russian)
- Seravkin I.B., Kosarev A.M., Rodicheva Z.I. (2003) Criteria of difference of volcanic complexes of the western wing of the Magnitogorsk megasynclinorium according geological, petrochemical and geochemical data. *Geologicheskii sbornik No. 3*. Ufa, IG UNTs RAN, 120-129. (In Russian)
- Sun S.-S., McDonough W. F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geol. Soc. Spec. Publ., London*, **42**, 313-345.
- Sun S.-S., Nesbitt R.W. (1978) Petrogenesis of Archaean Ultrabasic and Basic Volcanics: Evidence From Rare Earth Elements. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **65**, 301-325.
- Zaykov V.V. (1988) Melent'evka polymetallic deposit of Miass region. *Materialy k mineralogii rudnykh raionov Urala* [Data on mineralogy of ore districts of the Urals]. Sverdlovsk, UrO RAN SSSR, 74-79. (In Russian)
- Zaykov V.V. (2006) *Vulkanizm I sul'fidnye kholmy paleo-oceanicheskikh okrain* [Volcanism and sulfide mounds of paleoceanic margins]. Moscow, Nauka Publ., 429 p. (In Russian)
- Zaykov V.V., Melekestseva I.Yu., Zaykova E.V., Kotlyarov V.A., Kraynev Yu.D. (2017) Gold and platinum group minerals in placers of the South Urals: composition, microinclusions of ore minerals and primary sources. *Ore Geol. Rev.*, **85**, 299-320.
- Zaykov V.V., Zhilin I.V., Kotlyarov V.A., Zaykov E.V. (2010). Native gold of the Kruglaya Gora iron deposit. *Uralskaya mineralogicheskaya shkola-2010* [Proc. Uralian mineralogical school-2010]. Yekaterinburg: UrO RAN, 65-68. (In Russian)
- Zharikov V.A., Pertsev N.N., Rusinov V.L., Callegari E., Fettes D.J. (2007) Metasomatism and metasomatic rocks. [https://www.bgs.ac.uk/scmr/docs/papers/paper\\_9.pdf](https://www.bgs.ac.uk/scmr/docs/papers/paper_9.pdf).
- Zhilin I.V. (2006) Principles of occurrence of gold in skarn magnetite ores from the Kruglaya Gora deposit. *Sbornik nauchnykh statei po materialam nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Proc. Scientific-practical conference] Chelyabinsk: Tsitsero Publ., 166-171. (In Russian)