
МИНЕРАЛЫ И ПАРАГЕНЕЗИСЫ МИНЕРАЛОВ

ФОРСТЕРИТ ИЗ ИТКУЛЬСКОГО ГИПЕРБАЗИТОВОГО МАССИВА (ЮЖНЫЙ УРАЛ) ИЛИ ЕЩЕ РАЗ О ГЛИНКИТЕ

© 2022 г. Д. члены Ю. В. Ерохин¹, *, А. В. Захаров¹, В. С. Пономарев¹,
Д. А. Петров², С. Ю. Кропанцев¹

¹*Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого УрО РАН,
ул. Академика Вонсовского, 15, Екатеринбург, 620110 Россия*

²*Санкт-Петербургский горный университет, 21-я линия, 2, Санкт-Петербург, 199106 Россия*

**e-mail: erokhin-yu@yandex.ru*

***e-mail: da-petrov@list.ru*

Поступила в редакцию 16.06.2022 г.

После доработки 18.07.2022 г.

Принята к публикации 20.08.2022 г.

Изучена минералогия оливиновых жил из Иткульского гипербазитового массива (Южный Урал), сложенных форстеритом в ассоциации с тальком, магнетитом и магнетитом. Иткульский оливин, который в 1847 г. определили как новый минерал – глинокит, является форстеритом с содержанием фаялитового компонента 16.5%. Показано, что порода, слагающая жилы, является метасоматическим оливинитом, сформированным за счет вмещающего серпентинита под влиянием рядом расположенной гранитной интрузии. Высказано предположение, что из-за визуального сходства иткульского форстерита с уральским демантоидом, последний в течение продолжительного времени назывался “хризолитом” или “уральским хризолитом”.

Ключевые слова: форстерит, глинокит, метасоматический оливинит, Иткульский гипербазитовый массив, Южный Урал

DOI: 10.31857/S0869605522050033

ВВЕДЕНИЕ

Находки крупных выделений форстерита (хризолита), пригодных для ювелирного дела, являются редкостью в природе, особенно для Урала, который испытал многостадийные геолого-тектонические преобразования. При этом магнезиальный оливин, как породообразующий минерал, слагает дуниты, оливиниты, гарцбургиты, верлиты и многие другие ультраосновные породы в гипербазитовых массивах, в большинстве случаев подверженных процессам серпентинизации.

Глинокит, найденный в середине позапрошлого века на Южном Урале вблизи озера Иткуль, является редким примером хорошей сохранности оливина. Сначала его определили как новый минерал (Романовский, 1847), но практически сразу установили, что минерал является магнезиальным оливином – хризолитом (Beck, 1847). Тем не менее, термин “глинокит” продолжил свое существование в отечественной и европейской научной литературе. Предлагаемая работа посвящена детальному изучению минералогии оливиновых жил из Иткульского гипербазитового массива.

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЛИНКИТА

Открытие иткульского оливина приписывается Н.П. Барботу-де-Марни (Кокшаров, 1867). Он указывал, что минерал был найден в 1846 г. на г. Иткуль вблизи одноименной деревни, расположенной на берегу озера с таким же названием. Здесь необходимы пояснения. Дело в том, что Николай Павлович Барбот-де-Марни (1832–1877) в 1846 г. был студентом Санкт-Петербургского горного института (он окончил его в 1852 г.) и, по всей видимости, привез на определение непонятные образцы с Южного Урала. На тот момент отец студента, Павел Николаевич Барбот-де-Марни (1807–1857) уже много лет исполнял обязанности смотрителя южноуральских заводов (Миасского, Златоустовского, Кусинского и др.) и, кроме того, возглавлял так называемые “цветные” партии, которые занимались поисками самоцветов на Южном Урале. При его участии были открыты различные минеральные копи, в том числе известная Шишимская копь (Долгов и др., 2007). Надо полагать, что “цветная” партия работала и в районе оз. Иткуль, и отец передал сыну непонятные камни для их дальнейшего определения в Санкт-Петербурге.

В 1847 г. Г.Д. Романовский, исследовавший физические свойства минерала, сделал вывод, что это новый минеральный вид и предложил его назвать “глинкитом” в честь главного начальника уральских горных заводов, генерала от артиллерии Владимира Андреевича Глинки (1790–1862) (Романовский, 1847). В том же году В.В. Бек провел полный химический анализ глинкита и установил, что минерал все же является магнезиальным оливином – хризолитом (Бек, 1847). Спустя два года он же представил более полное исследование минерала (Бек, 1849). Одновременно к такому же выводу пришел Р. Герман, который разложил глинкит в кислотах и также получил полный химический анализ минерала (Herzmann, 1849). В 1865 г. П.В. Еремеев представил на собрании Императорского минералогического общества описание кристалла глинкита (в настоящее время образец с этим кристаллом экспонируется в Горном музее СПбГУ). К сожалению, публикация этого описания была краткой и не содержала чертежей кристалла (Еремеев, 1866). В 1867 г. Н.Н. Кокшаров, описывая разные хризолиты, установленные в пределах Российской империи, дал наиболее полную сводку по глинкиту (Кокшаров, 1867). Далее более века изучения иткульского оливина не проводилось.

Интересно, что глинкит упоминался практически во всех дореволюционных минералогических сводках или учебниках по минералогии (Медведев, 1863; Лебедев, 1890; Николаев, 1912, и др.). В советское время это название уже не использовалось (Нечаев, 1931; Бетехтин, 1949; Годовиков, 1983, и др.). По всей видимости, дело заключалось в цензуре, благодаря которой вымарывалось любое упоминание глинкита, названного в честь царского генерала.

Вспомнили о глинките только в 1972 г., когда в монографии “Минералы” он был упомянут под расплывчатым термином “измененный оливин” (Минералы..., 1972). В 1976 г. Д.Д. Штейнберг рассматривал иткульскую находку как пример развития талькооливиновых пород – продуктов прогрессивного метаморфизма ультрабазитов (Штейнберг, 1976). В 1986 г. в известной монографии Н.П. Юшкина с коллегами термин “глинкит” был упомянут в разделе “дискредитированные или излишние названия минералов” как синоним терминов “оливин” и “хризолит” (Юшкин и др., 1986). В 1991 г. А.С. Варлаков и А.Н. Раевский провели наиболее полное на тот момент исследование глинкита. Они опубликовали результаты химического анализа минерала, данные рентгеноструктурного анализа и мессбауэровской спектроскопии (Варлаков, Раевский, 1991). С тех пор иткульский оливин больше не изучался. В наше время в известной геммологической энциклопедии (Буканов, 2008) термин “глинкит” почему-то стал синонимом фаялита, а в не менее известном минералогическом словаре (Кривовичев, 2008) – синонимом фаялита или форстерита.

На данный момент иткульское проявление оливина в ограниченных объемах разрабатывается местными любителями камня, которые добывают ювелирные блоки глинокита и гранят их на продажу.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Все аналитические исследования были выполнены в Институте геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН в лаборатории Физико-химических методов исследования (г. Екатеринбург).

Химический анализ минералов выполнялся на электронно-зондовом микроанализаторе САМЕСА SX 100 с пятью волновыми спектрометрами (аналитик Н.Н. Фаррахова). Для калибровки анализов использовались сертифицированные стандарты эталонных минералов. Состав некоторых минералов анализировался с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-6390LV фирмы Jeol с энергодисперсионной приставкой INCA Energy 450 X-Max 80 фирмы Oxford Instruments (аналитик Л.В. Леонова). На этом же приборе были получены изображения минералов в режиме обратно-рассеянных электронов.

Рентгенофазовое изучение минералов проведено на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 фирмы Shimadzu (аналитик О.Л. Галахова). Условия съемки: медное излучение, $V = 40 \text{ kV}$, $I = 30 \text{ mA}$, размер шага – 0.02° .

МЕСТО ОТБОРА ОБРАЗЦОВ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ОБЪЕКТА

Озеро Иткуль расположено на севере Челябинской области примерно в 20 км восточнее г. Верхний Уфалей. Выходы оливина, как уже ранее сообщал А.С. Варлаков (Варлаков, Раевский, 1991; Варлаков и др., 1998), обнаружены не на горе Иткуль, как писали исследователи царской эпохи, а на горе Вишнёвая, которая расположена в 1.5 км восточнее озера Иткуль (рис. 1, а).

В геологическом плане гора Вишнёвая целиком сложена антигоритовыми серпентинитами, местами карбонатизированными и оталькованными, которые залегают в метаморфических породах среднерифейской иткульской свиты (Калугина и др., 2017). Этот блок серпентинитов размером около 3 км является фрагментом альпинотипного Иткульского гипербазитового массива, основное тело которого располагается на восточном берегу озера Иткуль. Гипербазитовый массив вытянут вдоль восточного берега озера, он имеет длину 8 км при ширине до 2 км. В восточной и северной части массива серпентиниты прорываются небольшими телами гранитоидов карбонового возраста (рис. 1, б). В западной части – содержат большое количество рудопроявлений хромитов (Перевозчиков и др., 2000), многие из которых обрабатывались еще в царское время.

В южной части горы Вишнёвая (она наиболее свободная от растительности, рис. 2) наблюдаются многочисленные закопущки и ямы, в том числе и старинные, размером до 5–6 м в длину и 1–2 м в глубину (рис. 3). При этом отдельные выработки отмечаются по всей территории горы. На данный момент оливин в небольшом количестве добывается в южной части возвышенности. Нами для изучения были отобраны образцы из современной выработки (координаты: N $56^\circ 15' 91.4''$, E $60^\circ 59' 64.3''$), где среди будинированных серпентинитов отчетливо наблюдаются оливиновые жильные тела в обрамлении крупночешуйчатого талька и изредка карбоната (рис. 4). Во вмещающих серпентинитах на контакте с жилами отмечается оливинитизация. Мощность жил обычно не превышает 10 см, а раздувах достигает 30 см. В местах пересечения жил и в раздувах встречаются кристаллы оливина размером до 10–15 см в агрегате талька (рис. 5). Кроме оливиновых жил, в антигоритовых серпентинитах горы Вишнёвой отмечаются клинохлоровые и тремолитовые жилы мощностью до 10 см.

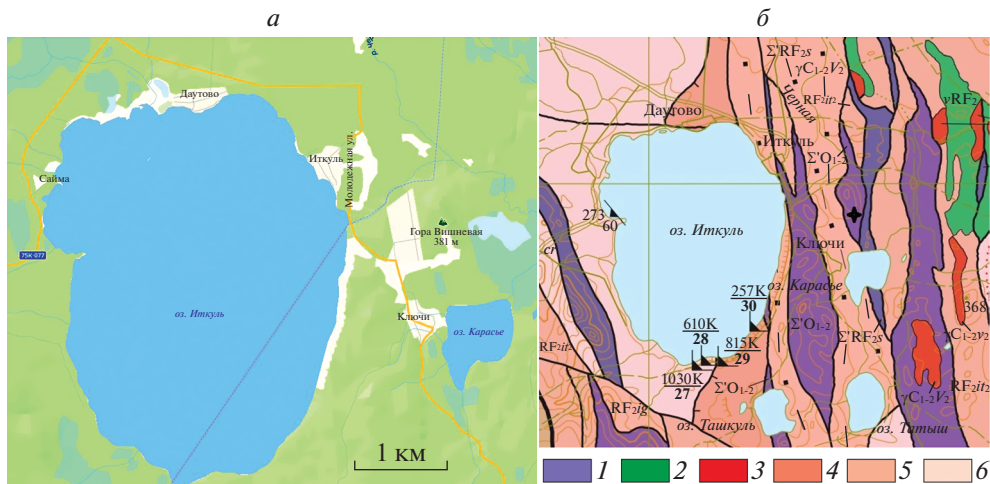


Рис. 1. Место находки глинкита (обозначено звездочкой) на горе Вишневая в окрестностях озера Иткуль: *а* – топографическая карта, *б* – схема геологического строения (по: Калугина и др., 2017).

1 – серпентиниты, тальк-карбонатные породы (O_{1-2}); 2 – амфиболитизированное габбро (RF_2); 3 – граниты (C_{1-2}); 4 – микроамфиболиты, плагиосланцы (нижнеиткульская свита, RF_2); 5 – плагиосланцы, микроамфиболиты, кварциты (верхнеиткульская свита, RF_2); 6 – амфиболиты, мигматиты, плагиогнейсы (черновская свита, PR_1).

Fig. 1. The location of glauconite (indicated by a star) on the Vishnevaya Mount in the vicinity of the Itkul Lake: *a* – topographic scheme, *б* – geological scheme (after: Kalugina et al., 2017).

1 – serpentinites, talc-carbonate rocks (O_{1-2}); 2 – amphibolized gabbro (RF_2); 3 – granites (C_{1-2}); 4 – microamphibolites, plagioclases (Lower Itkul Formation, RF_2); 5 – plagioclases, microamphibolites, quartzites (Upper Itkul Formation, RF_2); 6 – amphibolites, migmatites, plagiogneisses (Chernovskaya suite, PR_1).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате проведенных исследований оказалось, что оливиновые жилы сложены форстеритом в ассоциации с тальком, магнетитом и магнезитом. Из вторичных минералов отмечаются гидроксиды железа.

Форстерит – главный минерал жильных тел, где он образует сплошные сливные разноразмерные агрегаты темно-зеленого до желтовато-зеленого цвета с размером зерен от 1 мм до 5–6 см. С поверхности оливин имеет коричневую окраску за счет процессов выветривания. На контакте с жилами в серпентинитах отмечается образование короткопризматических метакристаллов оливина желтовато-зеленого цвета размером до 1 см.

Отдельные кристаллы оливина встречаются в жилах в агрегатах талька. Они отличаются более светлой желто-зеленой окраской, прозрачностью и имеют сильную трещиноватость. За редким исключением индивиды характеризуются плохой огранкой с матовым отблеском от граней. В собраниях местных коллекционеров иногда встречаются крупные плохо образованные кристаллы размером до 20 см по удлинению (рис. 6). На рис. 7 вычерчен идеализированный кристалл оливина по совокупным данным П.В. Еремеева и А.С. Варлакова с учетом наших замеров, выполненных для наиболее хорошо ограненных индивидов. Огранка оливина представлена комбинацией пинакоидов – $b\{010\}$, $c\{001\}$, ромбических призм – $m\{110\}$, $s\{120\}$, $d\{101\}$, $k\{021\}$ и ромбиче-



Рис. 2. Южная сторона горы Вишнёвой. Фото С.Ю. Кропанцева.

Fig. 2. South side of the Vishnevaya Mount. Photo by S.Yu. Kropantsev.



Рис. 3. Старинная копь на хризолит. Фото Ю.В. Ерохина.

Fig. 3. Ancient mine on chrysolite. Photo by Yu.V. Erokhin.

ской дипирамиды — $e\{111\}$. Полученный кристалл характерен для магнезиальных оливинов (Минералы..., 1972).

В ранних работах, посвященных этому минералу (Ферсман, 1962, и др.), считалось, что иткульский оливин малопрозрачный и не заслуживает внимания как ограниченный материал. А.С. Варлаков (Варлаков, Раевский, 1991; Варлаков и др., 1998) упоминал, что кристаллы оливина хоть и прозрачные (рис. 8, *a*), но сильно трещиноватые и поэтому как ювелирное сырье рассматриваться не могут. Как оказалось, у больших кристаллов трещиноватость имеет крупную сетку и отдельные блоки достигают размеров до 2–3 см, поэтому местные любители камня добывают и гранят ювелирный форстерит, т.е. хризолит. Обрабатывают оливин в виде классической бриллиантовой огранки (рис. 8, *b*), т.к. данная форма позволяет максимально выгодно показать высокую дисперсию камня.



Рис. 4. Оливиновая (Ol) жила, почти без талька, в серпентините (Spt). Фото Ю.В. Ерохина.

Fig. 4. Olivine (Ol) vein, almost without talc, in serpentinite (Spt). Photo by Yu.V. Erokhin.

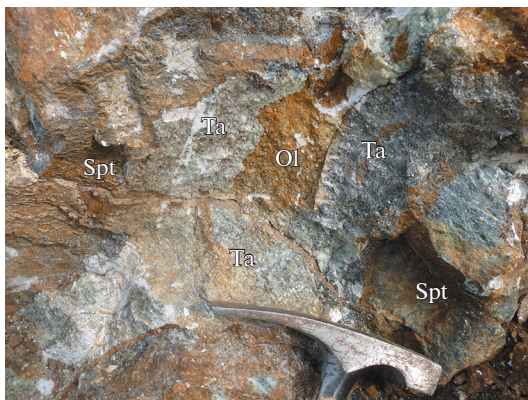


Рис. 5. Кристалл оливина (Ol) в массе талька (Ta) в серпентините (Spt). Фото Ю.В. Ерохина.

Fig. 5. Olivine crystal (Ol) in a mass of talc (Ta) in serpentinite (Spt). Photo by Yu.V. Erokhin.

Рентгенограмма минерала полностью соответствует форстериту и содержит следующие основные отражения: d , Å (I) – 2.773 (100), 2.517 (75), 2.463 (71), 1.483 (51), 3.893 (49), 1.752 (42), 5.115 (41). Рассчитанные параметры элементарной ячейки: $a = 4.775 \pm 0.005$ Å, $b = 10.232 \pm 0.007$ Å, $c = 6.003 \pm 0.006$ Å, что близко к ранее полученным определениям (Варлаков, Раевский, 1991).

По химическому составу оливин в жилах является форстеритом с содержанием фаялитовой компоненты 16.5%, что полностью согласуется с данными А.С. Варлакова и достаточно сильно отличается от аналитики царского времени (табл. 1, ан. 1–3). Из постоянных примесей в оливине отмечается только марганец (MnO до 0.3 мас. %). Ранее отмечавшиеся примеси никеля (Hermann, 1849) и алюминия (Варлаков, Раевский, 1991) в наших анализах не установлены.

Форстерит из приконтактных антигоритовых серпентинитов является менее железистым и содержит 14% фаялитовой компоненты (табл. 1, ан. 4–5). В нем отмечается незначительная примесь марганца (MnO до 0.1 мас. %) и следы кальция.



Рис. 6. Крупный, плохо образованный кристалл оливина размером около 20 см по удлинению. Фото А.В. Захарова.

Fig. 6. Large poorly formed olivine crystal up to 20 cm in length. Photo by A.V. Zakharov.

Тальк, наряду с форстеритом, является главным минералом жильных тел, а также встречается в приконтактовых антигоритовых серпентинитах. В жилах он местами преобладает над оливином, местами практически полностью исчезает. Тальк облекает агрегаты оливина в виде чешуйчатых скоплений, ориентированных согласно с залёбандами жилы. При выкалывании образцов с оливином вмещающий серпентинит легко отслаивается. Это, кстати, привело к путанице в литературе относительно того, в каких же породах был обнаружен иткульский оливин. Так, во многих минералогических сводках, в том числе и современных, утверждается, что глинокит встречается в тальковых сланцах (Медведев, 1863; Лебедев, 1890; Штрюбель, Циммер, 1987, и др.), а не в серпентинитах.

Тальк в оливиновых жилах представлен, как минимум, двумя генерациями, первая — сингенетичная оливиноу, т.к. образует индукционные грани с кристаллами форстерита и вроски в них. Вторая генерация количественно преобладает и является более поздней, т.к. этот тальк замещает кристаллы форстерита в виде параллельно-чешуйчатого агрегата (рис. 9, *a*) и образует полные псевдоморфозы по индивидуам магнезита (рис. 9, *b*). Окраска талька варьирует от белой до слабо-зеленоватой и с перламутровым блеском на плоскостях весьма совершенной спайности. Размер чешуй достигает 10 см.

Рентгенограмма минерала полностью отвечает эталону талька и содержит следующие основные отражения: $d, \text{Å} (I) - 9.421 (100), 3.124 (95), 4.688 (74), 1.872 (52), 1.559 (31), 1.336 (26)$. Рассчитанные параметры элементарной ячейки: $a = 5.279 \pm 0.006 \text{ Å}, b = 9.651 \pm 0.004 \text{ Å}, c = 5.260 \pm 0.007 \text{ Å}, \alpha = 103.02^\circ, \beta = 119.45^\circ, \gamma = 84.19^\circ$.

По химическому составу (табл. 2, ан. 1–5) тальк в оливиновых жилах достаточно чистый и из постоянных примесей содержит немного железа (FeO до 1.8 мас. %), т.е. не более 3.5% минала миннесотаита. Из других примесей изредка отмечаются хром (Cr₂O₃ до 0.2 мас. %) и титан (TiO₂ до 0.1 мас. %). Тальк из вмещающих приконтакто-

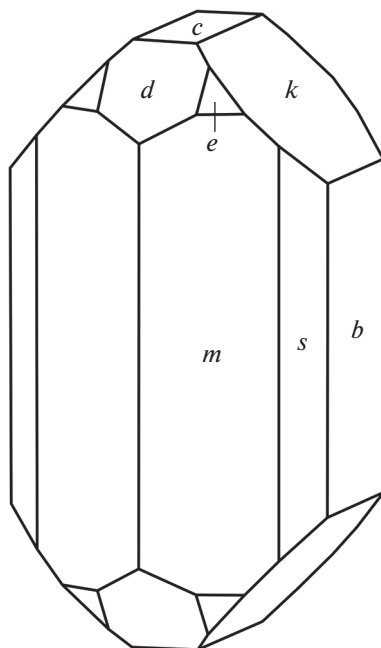


Рис. 7. Идеализированный кристалл оливина. Индексы граней даны в тексте.

Fig. 7. Idealized olivine crystal. Face indices are given in the text.

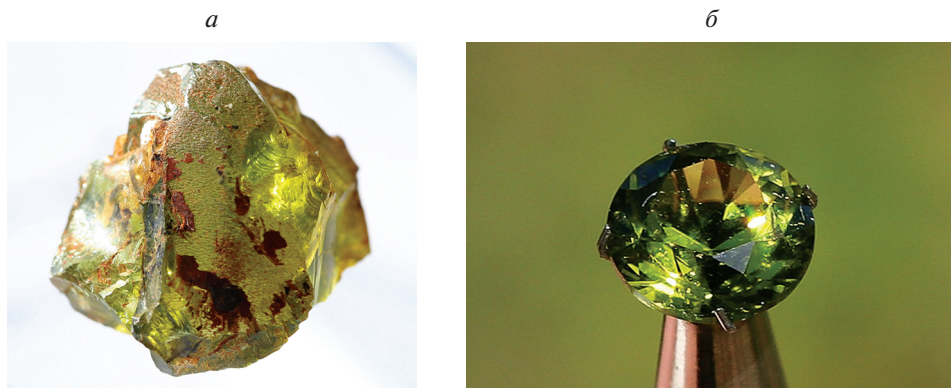


Рис. 8. Хризолит с горы Вишнёвая: *a* – обломок кристалла, размером до 2 см, *б* – бриллиантовая огранка, диаметр около 1 см, масса примерно 2 карата. Фото С.Ю. Кропанцева.

Fig. 8. Chrysolite from the Vishnevaya Mount: *a* – fragment of a crystal up to 2 cm in size, *b* – brilliant cut, about 1 cm in diameter, weight about 2 carats. Photo by S.Yu. Kropansev.

вых антигоритовых серпентинитов менее железистый (FeO 1.4–1.6 мас. %), но при этом содержит больше примесей (табл. 2, ан. б).

Магнезит встречается как во вмещающих антигоритовых серпентинитах, так и в оливиновых жилах, где в основном приурочен к зальбандам. Он образует как мелко-

Таблица 1. Химический состав форстерита (мас. %) из Иткульского массива
Table 1. Chemical composition of forsterite (wt %) from the Itkul massif

№	SiO ₂	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	NiO	FeO _{общ}	MnO	MgO	CaO	Сумма
1	39.50	0.03	—	—	—	15.75	0.22	44.30	—	99.80
2	39.48	—	0.05	—	—	15.48	0.27	44.44	0.01	99.73
3	39.56	0.06	—	—	—	15.83	0.26	44.83	—	100.54
4	40.13	—	0.04	—	—	13.16	0.09	46.14	0.01	99.57
5	40.00	—	—	—	—	13.53	0.13	46.68	0.01	100.36
6	39.21	—	—	—	—	17.44	—	44.06	сл.	100.71
7	40.04	—	—	—	0.15	17.58	—	42.60	—	100.37
8*	38.80	сл.	—	0.46	—	15.62	0.36	45.04	—	100.83

Кристаллохимические формулы в расчете на 4 атома кислорода

1	$(Mg_{1.67}Fe_{0.33}Mn_{0.01})_{\Sigma=2.01}[Si_{1.00}O_4]$, Fa _{16.5}
2	$(Mg_{1.67}Fe_{0.33}Mn_{0.01})_{\Sigma=2.01}[Si_{1.00}O_4]$, Fa _{16.5}
3	$(Mg_{1.67}Fe_{0.33}Mn_{0.01})_{\Sigma=2.01}[Si_{0.99}O_4]$, Fa _{16.5}
4	$(Mg_{1.72}Fe_{0.28})_{\Sigma=2.00}[Si_{1.00}O_4]$, Fa ₁₄
5	$(Mg_{1.73}Fe_{0.28})_{\Sigma=2.01}[Si_{0.99}O_4]$, Fa ₁₄
6	$(Mg_{1.65}Fe_{0.37})_{\Sigma=2.02}[Si_{0.99}O_4]$, Fa _{18.5}
7	$(Mg_{1.60}Fe_{0.37})_{\Sigma=1.97}[Si_{1.01}O_4]$, Fa _{18.5}
8	$(Mg_{1.67}Fe_{0.33}Mn_{0.01})_{\Sigma=2.01}[(Si_{0.97}Al_{0.03}Fe_{0.01}^{3+})_{\Sigma=1.01}O_4]$, Fa _{16.5}

Примечание. Анализы: 1–5 наши данные (1–3 – кристалл оливина из жилы, 4–5 – оливин в околосильном серпентините), 6 – данные (Beck, 1847), 7 – данные (Hermann, 1849), 8 – данные (Варлаков, Раевский, 1991).
 * – проба характеризуется содержаниями Fe₂O₃ 0.30 мас. %, П.п.п. 0.20 мас. %, H₂O 0.05 мас. %.

зернистые скопления, так и отдельные метакристаллы в виде ромбоэдров, размером до 5–6 см. Окраска карбоната – светло-серая до белой, с поверхности за счет процессов выветривания он становится коричневым. По химическому составу карбонат соответствует железистому магнезиту. В оливиновых жилах он слабожелезистый (FeO до 5.8 мас. %) и



Рис. 9. Вторичный тальк (*a* – тальк, замещающий оливин, размер образца 10 см, *б* – тальковая псевдоморфоза по магнезиту, длина индивида 3.5 см). Фото В.С. Пономарева.

Fig. 9. Secondary talc (*a* – talc which replaces olivine, sample up to 10 cm, *b* – talc pseudomorphose after magnesite, length of crystal 3.5 cm). Photo by V.S. Ponomarev.

Таблица 2. Химический состав талька (мас. %) из Иткульского массива
Table 2. Chemical composition of talc (wt %) from the Itkul massif

№	SiO ₂	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	FeO _{общ}	MnO	MgO	CaO	Сумма
1	62.11	—	0.02	0.02	1.41	0.01	30.36	0.01	93.94
2	62.54	0.06	0.01	0.03	1.74	—	30.26	0.01	94.65
3	62.27	—	—	0.02	1.87	—	30.91	0.01	95.08
4	62.37	—	0.16	0.02	1.84	—	30.36	0.03	94.78
5	61.96	—	0.06	0.02	1.78	0.03	30.18	0.04	94.07
6	62.33	0.02	0.05	0.02	1.63	0.05	30.25	0.02	94.37

Кристаллохимические формулы в расчете на 7 катионов

1	$(Mg_{2.92}Fe_{0.08})_{\Sigma=3.00}[Si_{4.00}O_{10}](OH)_2$
2	$(Mg_{2.89}Fe_{0.10})_{\Sigma=2.99}[Si_{4.01}O_{10}](OH)_2$
3	$(Mg_{2.93}Fe_{0.10})_{\Sigma=3.03}[Si_{3.97}O_{10}](OH)_2$
4	$(Mg_{2.90}Fe_{0.10}Cr_{0.01})_{\Sigma=3.01}[Si_{3.99}O_{10}](OH)_2$
5	$(Mg_{2.90}Fe_{0.10})_{\Sigma=3.00}[Si_{4.00}O_{10}](OH)_2$
6	$(Mg_{2.90}Fe_{0.09})_{\Sigma=2.99}[Si_{4.01}O_{10}](OH)_2$

Примечание. Анализы 1–5 – тальк из жилы с оливином, 6 – тальк в околожильном серпентините.

имеет следующую кристаллохимическую формулу – $(Mg_{0.92}Fe_{0.07}Ca_{0.01})_{\Sigma=1.00}[CO_3]$. В антигоритовых серпентинитах карбонат более железистый (FeO до 11.6 мас. %) с кристаллохимической формулой – $(Mg_{0.86}Fe_{0.14})_{\Sigma=1.00}[CO_3]$. Кроме железа и кальция в этом магнезите отмечаются небольшие примеси марганца (MnO до 0.3 мас. %) и никеля (NiO до 0.2 мас. %).

Магнетит, так же как и карбонат, встречается во вмещающих антигоритовых серпентинитах и в самих оливиновых жилах, где он образует включения в форстерите (рис. 10) и кристаллы размером до 1 см в тальке. Мелкие кристаллы обычно представлены только октаэдром, на более крупных индивидах появляется дополнительная грань ромбододекаэдра. Цвет минерала – черный, с поверхности замещается рыхлым коричневым агрегатом гидроокислов железа.

По химическому составу (табл. 3, ан. 1–5) магнетит в оливиновых жилах чистый и хорошо пересчитывается на эталонную кристаллохимическую формулу. Из примесей отме-

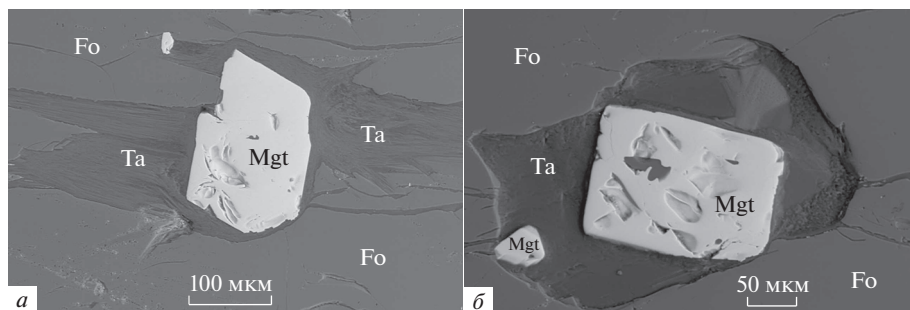


Рис. 10. Включения магнетита (Mgt) в оливине (Fo) и тальке (Ta). Изображения в обратно-отраженных электронах.

Fig. 10. Magnetite (Mgt) inclusions in olivine (Fo) and talc (Ta). BSE images.

Таблица 3. Химический состав магнетита (мас. %) из Иткульского массива
Table 3. Chemical composition of magnetite (wt %) from the Itkul massif

№	TiO ₂	V ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	NiO	CoO	MnO	MgO	Сумма
1	0.24	0.12	0.17	0.05	68.32	30.09	0.28	0.18	—	0.38	99.84
2	0.12	0.12	0.12	0.05	68.14	29.48	0.33	0.12	0.06	0.54	99.09
3	0.27	0.10	0.09	—	68.23	29.99	0.28	0.10	0.01	0.47	99.55
4	0.22	0.14	0.09	0.04	68.69	30.07	0.29	0.18	0.03	0.42	100.17
5	0.17	0.06	0.18	0.02	69.18	29.41	0.34	0.14	0.03	0.88	100.41
6	—	0.15	11.40	0.05	57.61	28.68	0.58	0.11	0.15	1.03	99.76

Кристаллохимические формулы в расчете на 4 атома кислорода

1	$(\text{Fe}_{0.97}^{2+}\text{Mg}_{0.02}\text{Ni}_{0.01})_{\Sigma=1.00}(\text{Fe}_{1.98}^{3+}\text{Cr}_{0.01}\text{Ti}_{0.01})_{\Sigma=2.00}\text{O}_4$
2	$(\text{Fe}_{0.96}^{2+}\text{Mg}_{0.03}\text{Ni}_{0.01})_{\Sigma=1.00}\text{Fe}_{1.99}^{3+}\text{O}_4$
3	$(\text{Fe}_{0.97}^{2+}\text{Mg}_{0.03}\text{Ni}_{0.01})_{\Sigma=1.01}(\text{Fe}_{1.98}^{3+}\text{Ti}_{0.01})_{\Sigma=1.99}\text{O}_4$
4	$(\text{Fe}_{0.97}^{2+}\text{Mg}_{0.02}\text{Ni}_{0.01})_{\Sigma=1.00}(\text{Fe}_{1.98}^{3+}\text{Ti}_{0.01})_{\Sigma=1.99}\text{O}_4$
5	$(\text{Fe}_{0.94}^{2+}\text{Mg}_{0.05}\text{Ni}_{0.01})_{\Sigma=1.00}(\text{Fe}_{1.99}^{3+}\text{Cr}_{0.01}\text{Ti}_{0.01})_{\Sigma=2.01}\text{O}_4$
6	$(\text{Fe}_{0.91}^{2+}\text{Mg}_{0.06}\text{Ni}_{0.02}\text{Mn}_{0.01})_{\Sigma=1.00}(\text{Fe}_{1.66}^{3+}\text{Cr}_{0.34})_{\Sigma=2.00}\text{O}_4$

Примечание. Анализы: 1–5 – включения в оливине, 6 – включения в серпентините.

чаются магний (MgO до 0.9 мас. %), никель (NiO до 0.3 мас. %), титан (TiO₂ до 0.3 мас. %), кобальт (CoO до 0.2 мас. %), хром (Cr₂O₃ до 0.2 мас. %) и ванадий (V₂O₃ до 0.1 мас. %). Суммарное содержание примесей не превышает 2 мас. %, содержание магнетитового минала варьирует в пределах 93–96%.

При этом магнетит из вмещающих антигоритовых серпентинитов (табл. 3, ан. 6) резко отличается по составу и содержит примесь хрома (Cr₂O₃ до 11.4 мас. %, хромитовый минал до 17%). Из других примесей в составе магнетита присутствует магний (MgO до 1.0 мас. %), никель (NiO до 0.6 мас. %), марганец (MnO до 0.2 мас. %), ванадий (V₂O₃ до 0.2 мас. %) и кобальт (CoO до 0.1 мас. %). Можно предположить, что хромсодержащий магнетит образовался в результате замещения аксессуарного хромшпинелида.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

О генезисе иткульского оливина существует два мнения: (1) это тальк-оливиновые породы – продукты прогрессивного метаморфизма ультрабазитов (Штейнберг, 1976), (2) или уникальные гидротермальные жилы оливина (Варлаков, Раевский, 1991; Варлаков и др., 1998). Первую гипотезу аргументировано критиковал А.С. Варлаков. Он указывал, что для оливина из тальк-оливиновых пород характерна пониженная железистость (Fa 10–11%), и эти породы не образуют жильных тел. Можно добавить, что тальк-оливиновые породы в гипербазитовых массивах наряду с магнетитом всегда содержат амфиболы и хлорит (Вахрушева и др., 2017, и др.), чего не отмечается в иткульских оливиновых жилах.

Мы придерживаемся гипотезы о гидротермальном генезисе иткульского оливина. Как известно, месторождения ювелирного оливина (хризолита) встречаются исключительно в основных (базальтоиды) и ультраосновных (кимберлиты, щелочно-ультра-

основные породы и альпинотипные гипербазиты) породах и связанных с ними россыпях. При этом выделяются три генетических класса месторождений – магматический, гидротермальный и россыпной (Киевленко, 2001). С иткульским оливином лучше всего соотносится хризолит гидротермального типа из альпинотипных гипербазитов, как недавно отмечал С.В. Соколов (2019).

Наши наблюдения показывают, что жилы на горе Вишнёвая сложены сплошным зернистым агрегатом форстерита с многочисленными включениями магнетита, который можно назвать горной породой – оливинитом (метасоматического генезиса). Его образование, вероятно, связано с влиянием гранитных интрузий, которые отмечаются в пределах Иткульского гипербазитового массива. Под воздействием высокотемпературных флюидов, циркулировавших по тектонически раздробленным серпентинитам, происходило преобразование ультраосновных пород. Это подтверждается развитием вторичного форстерита в приконтактных антигоритовых серпентинитах.

Иткульское проявление оливина можно сравнить с известным месторождением хризолита на о. Зебергет (ныне о. Сент-Джонс), расположенном в Красном море вблизи восточного побережья Египта. Найденные здесь кристаллы хризолита исключительны по своим размерам и чистоте, они добывались с древних времен вплоть до середины прошлого века (Gübelin, 1981). Ювелирный хризолит о. Зебергет встречается исключительно в жилах оливинита, которые достигают мощности 1 м и секут вмещающие слабо серпентинизированные перидотиты (шпинелевые лерцолиты, гарцбургиты и дуниты), а последние в свою очередь зажаты между блоками метаморфических гнейсов Нубийского докембрийского щита. Жилы оливинитов сопряжены с тектоническими зонами и состоят из очень крупных пластинчатых кристаллов оливина (размером до 20 см) коричневого цвета, в интерстициях которых располагается антигорит. В жилах отмечаются многочисленные полости, которые иногда содержат чистые, прозрачные кристаллы зеленого хризолита (Kurat et al., 1993) с газово-жидкими включениями, которые гомогенизируются в диапазоне от 750–900 °С (Maaskant, 1986).

Находка ювелирного форстерита на Южном Урале привела к тому, что другой драгоценный камень – демантоид продолжительное время назывался “хризолитом” или “уральским хризолитом”.

Как известно, Н.Г. Норденшельд открыл демантоид на рубеже 1853–1854 гг., а увидел он и описал этот гранат (или как его на тот момент называли – “алмазо-уваровит”) в шлихах из Телянской золотоносной россыпи в экспозиции Нижнетагильского заводского музея (Кропанцев, 2019; Kropantsev, 2020). Первые исследования “алмазоуваровита” начались только в 1867 г., когда учитель практической минералогии Горного института и хранитель Геологического музея В.В. Нефедьев на основании результатов исследования демантоидов в химической лаборатории Горного института отнес их к “разновидности оливина” (!?), сохранив при этом название минерала, предложенное Н.Г. Норденшельдом. Сам В.В. Нефедьев не написал о демантоиде научной статьи, а только в устной форме изложил результаты своего исследования библиотекарю Горного института Д. Планеру – составителю “Сборника вновь открытых и вновь исследованных в новейшее время минералов” (Планер, 1867). В 1870 г. П.В. Еремеев исследовал демантоиды Норденшельда методом паяльной трубки и отнес их к “необыкновенной разновидности гроссуляра” (Еремеев, 1871), а в конце 1879 г. он же на заседании Минералогического общества доложил о повторном исследовании демантоидов и установил их принадлежность к известково-железистому гранату – андрадиту (Еремеев, 1880).

О находке драгоценного камня – хризолита на Урале стало известно с 1847–1848 гг. Ювелирный форстерит из окрестностей оз. Иткуль сразу попал на рынок драгоценных камней в г. Екатеринбурге. Одновременно на тот же рынок попали мало изученные на тот момент зеленые и желто-зеленые камни (демантоиды), которые повсеместно находили при обработке золотых и платиновых россыпей в Нижнетагильском

округе. Их сходство с иткульским хризолитом привело к тому, что местные крестьяне-старатели и гранильщики самоцветов тоже стали называть гранат “хризолитом”. После открытия в середине 1870-х гг. проявлений демантоида в окрестностях Полдневой на юге Среднего Урала (а это недалеко от оз. Иткуль), данное название за гранатом закрепилось. В результате, начиная со второй половины 70-х годов XIX века и вплоть до 50-х годов XX столетия, демантоиды на Урале именовались “хризолитами” (Кропанцев, 2019; Kropantsev, 2020). Кстати, эта путаница перекочевала и в некоторые справочные пособия. К примеру, в известной книге “Самоцветы СССР” утверждалось, что хризолит активно добывался в россыпях рек Урала (Самсонов, Туринге, 1985). И это при том, что иткульский ювелирный форстерит является единственной находкой в пределах Урала и россыпью настоящего хризолита здесь пока не обнаружено.

ВЫВОДЫ

Детально изучена минералогия оливиновых жил из Иткульского гипербазитового массива. Установлено, что они сложены форстеритом в ассоциации с тальком, магнетитом и магнезитом. По проведенным замерам и совокупным данным П.В. Еремеева и А.С. Варлакова вычерчен идеализированный кристалл оливина. Показано, что порода, слагающая жилы, является метасоматическим оливинитом.

Авторы благодарны коллекционерам В.А. Волосатову и Г.И. Алексееву за возможность ознакомиться с уникальными образцами, а также инженеру А.Е. Богомоловой за обработку каменного материала.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-17-00027, <https://rscf.ru/project/22-17-00027/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бек В.В. О хризолите (глинките), найденном на Урале // Горный журн. **1849**. № 6. С. 332–336.
- Бетехтин А.Г. Минералогия. М.: Изд-во “Красное знамя”, **1949**. 957 с.
- Буканов В.В. Цветные камни. Энциклопедия. СПб: Геммологический центр, **2008**. 415 с.
- Варлаков А.С., Раевский А.Н. Хризолит (глинкит) из района оз. Иткуль (Южный Урал) // Минер. журн. **1991**. Т. 13. № 2. С. 76–79.
- Варлаков А.С., Кузнецов Г.П., Кораблев Г.Г., Муркин В.П. Гипербазиты Вишневогорско-Ильменогорского метаморфического комплекса (Южный Урал). Миасс: ИМин УрО РАН, **1998**. 195 с.
- Вахрушева Н.В., Ширяев П.Б., Степанов А.Е., Богданова А.Р. Петрология и хромитовосность ультраосновного массива Рай-Из (Полярный Урал). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, **2017**. 265 с.
- Годовиков А.А. Минералогия. М.: Недра, **1983**. 647 с.
- Долгов В.С., Середя М.С., Козлов А.В. Минералы Златоустовского Урала. Златоуст: ООО “ФотоМир”, **2007**. 208 с.
- Еремеев П.В. Описание кристалла глинкита из музея Горного института // Записки СПб. минерал. общества. **1866**. Т. 1. С. 326–328.
- Еремеев П.В. О демантоиде Н. Норденшельда из россыпей около Нижне-Тагильского завода на Урале // Записки СПб. минерал. общества. **1871**. Т. 6. С. 393–396.
- Еремеев П.В. О демантоиде из окрестностей Нижнего Тагила на Урале // Записки СПб. минерал. общества. **1880**. Т. 15. С. 207.
- Калузина Р.Д., Копанев В.Ф., Стороженко Е.В., Лукин В.Г., Степанов А.Е., Михалева Е.Н., Рапопорт М.С., Ильясова Г.А., Сулов Д.Л., Шуб И.З., Михайлов А.П., Глазырина Н.С., Герасименко Б.Н. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200000. Издание второе. Серия Среднеуральская. Лист О-41-XXXI. Объяснительная записка. М.: Московский филиал ВСЕГЕИ, **2017**. 180 с.
- Киевленко Е.Я. Геология самоцветов. М.: Ассоциация “Экост”, **2001**. 579 с.
- Кривовичев В.Г. Минералогический словарь. СПб: Изд-во СПбГУ, **2008**. 556 с.
- Кропанцев С.Ю. Место первой находки демантоида на Урале // Вестник Уральского отделения РМО. **2019**. № 16. С. 46–62.
- Лебедев Г. Учебник минералогии. Часть описательная. Выпуск 1. Санкт-Петербург: Типография М. М. Стасюлевича, **1890**. 321 с.
- Медведев М. Минералогия. Санкт-Петербург: Типография О. И. Бакста, **1863**. 549 с.

Минералы. Силикаты с одиночными и двояными кремнекислородными тетраэдрами. Ред. Ф.В. Чухров. М.: Наука, **1972**. 883 с.

Нечаев А.В. Минералогия. М.-Л.: Государственное научно-техническое издательство, **1931**. 296 с.

Николаев А.В. К минералогии Кыштымского горного округа. Минералы Кыштымской и Каслинской дач // Труды Геологического музея им. Петра Великого Императорской академии наук. **1912**. Т. 6. С. 171–231.

Перевозчиков Б.В., Булыкин Л.Д., Попов И.И., Орфаницкий В.Л., Андреев М.И., Сначев В.И., Даниленко С.А., Черкасов В.Л., Ченцов А.М., Жарикова Л.Н., Клочко А.А. Реестр хромитопоявлений в альпинотипных ультрабазитах Урала. Пермь: КамНИИКИГС, **2000**. 474 с.

Планер Д. Сборник вновь открытых и вновь исследованных в новейшее время минералов // Горный журн. **1867**. № 2. 390 с.

Романовский Г.Д. Глинкит, новый уральский минерал // Горный журн. **1847**. № 4. С. 142–144.

Самсонов Я.П., Туринге А.П. Самоцветы СССР. М.: Недра, **1985**. 335 с.

Соколов С.В. Геологические формации, месторождения и условия образования хризолита // Геммология. Мат. 9-й научн. конф. Томск: Томский центр научно-технической информации, **2019**. С. 176–184.

Ферсман А.Е. Избранные труды. Т. VII. М.: Изд-во АН СССР, **1962**. 592 с.

Штейнберг Д.Д. Оливин-тальковые и оливин-антигоритовые породы – продукты метаморфизма ультрабазитов на Среднем Урале // Геология метаморфических комплексов Урала. Сборник статей. Свердловск: УФАН СССР, **1976**. Вып. 127. С. 45–48.

Штрюбель Г., Циммер З. Минералогический словарь. М.: Недра, **1987**. 494 с.

Юшкин Н.П., Иванов О.К., Попов В.А. Введение в топоминералогии Урала. М.: Наука, **1986**. 293 с.

Forsterite from the Itkul Hyperbasite Massif, Southern Urals or Once Again about Glinkite

Yu. V. Erokhin^{a, *}, A. V. Zakharov^a, V. S. Ponomarev^a,
D. A. Petrov^{b, **}, and S. Yu. Kropantsev^a

^aZavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch RAS,
Yekaterinburg, Russia

^bSaint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

*e-mail: erokhin-yu@yandex.ru

**e-mail: da-petrov@list.ru

The mineralogy of olivine veins from the Itkul hyperbasite massif, Southern Urals has been studied. These veins are composed of forsterite with minor talc, magnetite, and magnesite. Secondary minerals are iron hydroxides. Itkul olivine, which was discovered in 1847 as a new mineral – glinkite, is forsterite with a fayalite content of 16.5%. It has been shown that the rock formed the veins is metasomatic olivinite which occurred due to recrystallization of host serpentinite under influence of a nearby granite intrusion. It has been suggested that because of visual similarity of Itkul forsterite with Ural demantoid, the latter for a long time began to be called “chrysolites” or “Ural chrysolites”.

Keywords: forsterite, glinkite, metasomatic olivinites, Itkul hyperbasite massif, Southern Urals.

REFERENCES

Beck W.W. Chemische Analyse des Glinkits. *Verhandlungen der Russisch-Kaiserlichen Mineralogischen Gesellschaft St. Petersburg*, **1847**. P. 244–249.

Beck W.W. About chrysolite (glinkite) found in the Urals. *Mining J.* **1849**. N 6. P. 332–336 (*in Russian*).

Betekhtin A.G. Mineralogy. Moscow: Publishing house “Red Flag”, **1949**. 957 p. (*in Russian*).

Bukanov V.V. Colored stones. Encyclopedia. Saint Petersburg: Gemological Center, **2008**. 415 p. (*in Russian*).

Dolgov V.S., Sereda M.S., Kozlov A.V. Minerals of the Zlatoust Urals. Zlatoust: PhotoMir LLC, **2007**. 208 p. (*in Russian*).

Eremeev P.V. Description of a glinkite crystal from the Museum of the Mining Institute. *Zapiski Saint Petersburg Miner. Soc.* **1866**. Vol. 1. P. 326–328 (*in Russian*).

- Eremeev P.V. About the demantoid of N. Nordenskiöld from the placers near the Nizhny Tagil plant in the Urals. *Zapiski Saint Petersburg Miner. Soc.*, **1871**. Vol. 6. P. 393–396 (*in Russian*).
- Eremeev P.V. About a demantoid from the vicinity of Nizhny Tagil in the Urals. *Zapiski Saint Petersburg Miner. Soc.* **1880**. Vol. 15. P. 207 (*in Russian*).
- Fersman A.E. Selected works. Vol. VII. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, **1962**. 592 p. (*in Russian*).
- Godovikov A.A. Mineralogy. Moscow: Nedra, **1983**. 647 p. (*in Russian*).
- Gübelin E. Zabargad: The ancient peridot island in the Red Sea. *Gems & Gemol.* **1981**. Vol. 17. N 1. P. 2–8.
- Hermann R. Untersuchungen russischer mineralien. *Journal Praktische Chemie*, **1849**. Vol. 46. P. 222–243.
- Kalugina R.D., Kopanov V.F., Storozhenko E.V., Lukin V.G., Stepanov A.E., Mikhaleva E.N., Rapoport M.S., Ilyasova G.A., Suslov D.L., Shub I.Z., Mikhailov A.P., Glazyrina N.S., Gerasimenko B.N. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 200000. Second edition. The Sredneural'skaya series. Sheet O-41-XXXI. Explanatory note. Moscow: Moscow branch of VSEGEI, **2017**. 180 p. (*in Russian*).
- Kievlenko E.Ya. Geology of gems. Moscow: Ecost Association, **2001**. 579 p. (*in Russian*).
- Krivovichev V.G. Mineralogical dictionary. Saint Petersburg: Saint Petersburg University Press, **2008**. 556 p. (*in Russian*).
- Kropantsev S.Yu. Place of the first find of demantoid in the Ural]. *Bull. Ural branch Russian Miner. Soc.* **2019**. N 16. P. 46–62 (*in Russian*).
- Kropantsev S.Yu. Demantoid from the Telyansky Klyuch deposit (Middle Urals) – is the place of the first discovery in the Urals. *News Ural State Mining University*. **2020**. N 1. P. 37–46.
- Kurat G., Palme H., Embey-Isztin A., Touret J., Ntaflos T., Spettel B., Brandstatter F., Palme C., Dreibus G., Prinz M. Petrology and geochemistry of peridotites and associated vein rocks of Zabargad Island, Red Sea, Egypt. *Miner. Petrol.* **1993**. Vol. 48. P. 309–341.
- Lebedev G. Textbook of mineralogy. The part is descriptive. Issue 1. Saint Petersburg: Publishing house M. M. Stasyulevich, **1890**. 321 p. (*in Russian*).
- Maaskant P. Electron probe microanalysis of unopened fluid inclusions, a semi-quantitative approach. *Neues Jahrb. Mineral. Monatsheft*. **1986**. Vol. 7. S. 297–304.
- Medvedev M. Mineralogy. Saint Petersburg: Publishing house O.I. Bakst, **1863**. 549 p. (*in Russian*).
- Nechaev A.V. Mineralogy. Moscow-Leningrad: State Scientific and Technical Publishing House, **1931**. 296 p. (*in Russian*).
- Minerals. Silicates with single and double silicon-oxygen tetrahedra. Ed. by F.V. Chukhrov. Moscow: Nauka, **1972**. 883 p. (*in Russian*).
- Nikolaev A.V. Mineralogy of the Kyshtym mining district. Minerals of the Kyshtym and Kasli dachas. *Proc. Geol. Museum Imperial Acad. Sci.* **1912**. Vol. 6. P. 171–231 (*in Russian*).
- Perevozchikov B.V., Bulykin L.D., Popov I.I., Orfanitskiy V.L., Andreev M.I., Snachev V.I., Danilenko S.A., Cherkasov V.L., Chentsov A.M., Zharikova L.N., Klochko A.A. Register of chromite occurrences in alpine-type ultramafic rocks of the Urals. Perm, **2000**. 474 p. (*in Russian*).
- Planer D. Collection of minerals which newly discovered and newly explored in recent times. *Mining J.* **1867**. N 2. 390 p. (*in Russian*).
- Romanovsky G.D. Glinkite, a new Ural mineral. *Mining J.* **1847**. N 4. P. 142–144 (*in Russian*).
- Samsonov Ya.P., Turinge A.P. Gems of the USSR. Moscow: Nedra, **1985**. 335 p. (*in Russian*).
- Shteinberg D.D. Olivine-talc and olivine-antigorite rocks are ultramafic metamorphic products in the Middle Urals. In: *Geology of metamorphic complexes of the Urals*. Sverdlovsk, **1976**. N 127. P. 45–48 (*in Russian*).
- Strübel G., Zimmer S.H. Lexikon der Mineralogie. dtv Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, 1982.
- Sokolov S.V. Geological formations, deposits and conditions for the formation of chrysolite. In: *Geology. Mat. 9th Sci. Conf.* Tomsk: Tomsk Center for Scientific and Technical Information, **2019**. P. 176–184 (*in Russian*).
- Vakhrusheva N.V., Shiryaev P.B., Stepanov A.E., Bogdanova A.R. Petrology of the Ray-Iz ultrabasic massif (Polar Urals) and its chromite content. Yekaterinburg, **2017**. 265 p. (*in Russian*).
- Varlakov A.S., Raevskiy A.N. Chrysolite (glinkite) from the area of the Lake Itkul (South Ural). *Miner. J.* **1991**. Vol. 13. N 2. P. 76–79 (*in Russian*).
- Varlakov A.S., Kuznetsov G.P., Korablev G.G., Murkin V.P. Hyperbasite rocks of the Vishnevogorsk-Ilmenogorsk metamorphic complex (Southern Urals). Miass: IMin UrBr RAS, **1998**. 195 p. (*in Russian*).
- Yushkin N.P., Ivanov O.K., Popov V.A. Introduction to topomineralogy of the Urals. Moscow: Nauka, **1986**. 293 p. (*in Russian*).