

**ПОЗДНИЕ МИНЕРАЛЫ В ИЛЬМЕНИТОВЫХ АГРЕГАТАХ СЕЛЯНКИНСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИЛЬМЕНОРУТИЛА (Ю. УРАЛ)**

С.В. Чередниченко¹, В.А. Котляров²

¹*Ильменский государственный заповедник УрО РАН, г. Миасс, svcheredn@mail.ru*

²*Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, kotlyarov@mineralogy.ru*

**LATE MINERALS IN ILMENITE AGGREGATES OF THE SELYANKINO DEPOSIT
OF ILMENORUTILE (SOUTH URALS)**

S.V. Cherednichenko¹, V.A. Kotlyarov²

¹*Ilmen State Reserve UB RAS, Miass, svcheredn@mail.ru*

²*Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, kotlyarov@mineralogy.ru*

Введение

Селянкинское месторождение ильменорутила приурочено к пегматитам одноимённого сиенитового массива (Минералы..., 1949). Массив относится к ильменогорскому щелочному комплексу, который расположен в южной части Сысертско-Ильменогорской зоны Восточно-Уральского поднятия на Южном Урале. Селянкинский сиенитовый массив размером 6´0.4 км залегает субсогласно с метаморфическими породами селянкинской серии, вытянут в меридиональном направлении. Массив сложен в основном пироксеновыми сиенитами, в подчинённом количестве встречаются амфиболовые и биотитовые разности, тела амфиболитов. Тела пегматитов залегают субмеридионально вблизи восточного контакта Селянкинского массива с вмещающими гранитогнейсами (рис. 1), располагаясь одно за другим на протяжении одного километра. Форма жил линзовидная, с резкими извилистыми границами, с крутым восточным падением под углом 70–85°. Протяжённость пегматитов 30–180 м, мощность 1.3–7 м, в раздувах до 12 м. Большинство жил выклиниваются на глубине до 35–74 м (Шемелин, Брагина, 1941ф).

Пегматиты сложены крупнокристаллическим полевым шпатом, в раздувах встречается меланократовый амфибол-пироксен-полевошпатовый агрегат. В зальбандах жил встречаются участки слюдита (мощностью до 5 м), образованные агрегатом разнородного флогопита, частично гидратированного до вермикулита. Рудная минерализация в виде желваков и жилок (толщиной в среднем около 15 см) в основном приурочена к слюдитовой зоне лежащего бока пегматита; характерно неравномерное гнездовое оруденение. По составу рудные агрегаты можно разделить на пироксено-ильменорутил-ильменитовый, пироксено-гематит-ильменитовый и гематит-ильменитовый типы. С периферии рудные желваки и жилки нередко оторочены титанитом, в ассоциации с ним встречаются флогопит, фторпатит, магнетит, пироксено-рутил, ильменит и амфибол (рис. 2). В зоне гипергенеза по трещинам в рудных агрегатах отложился лимонит (гётит), глинистые минералы (каолинит, нонтронит) и анатаз (Минералы..., 1949). Дополнительные исследования поздних минералов позволило выявить в рудных агрегатах также монтмориллонит, нибозинит-(Ce), монацит-(Ce), алланит-(Ce), ярозит.

Методы исследования

Описание образцов минералов и оптические исследования выполнены С.В. Чередниченко. Аналитические исследования проведены в Институте минералогии УрО РАН (г. Миасс). Химический состав минералов изучен на сканирующем электронном микроскопе-микроанализаторе РЭММА–202М (аналитик В.А. Котляров) и рентгеновском микроанализаторе JСХА-733 JEOL (аналитик Е.И. Чурин). Состав гётитовых образований определён на СЭМ Tescan Vega3 с ЭДС (аналитик И.А. Блинов). В участках микронзондового анализа получены КР-спектры минералов на спектрометре Horiba Jobin Yvon HR320 с He-Ne-лазером мощностью 20 мВт, с длиной волны излучения 632.8 нм (аналитик С.М. Лебедева). Для некоторых минералов получены ИК-спектры (ИК-Фурье спектрометр Nicolet 6700, аналитик М.В. Штенберг)

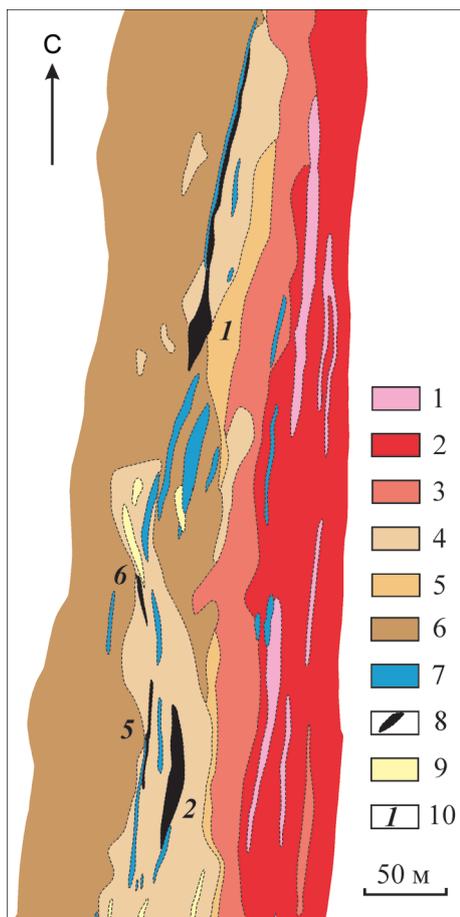


Рис. 1. Фрагмент геологической карты Селянкинского месторождения ильменорутила, по Н.С. Денисенко и К.М. Михайлову, 1939 (Шемелин, Брагина, 1941ф), с упрощениями.

Гранитогнейсы селянкинской серии (1–3): 1 – аплитовидные, 2 – биотитовые, 3 – амфиболовые; сиениты Селянкинского массива (4–6): 4 – биотитовые и биотит-амфиболовые, 5 – кварцевые пироксеновые, 6 – пироксеновые; 7 – амфиболиты; 8 – пироксен-полевошпатовый пегматит с ильменорутилом; 9 – полевошпатовый пегматит с цирконом; 10 – номер пегматитовой жилы.

в режиме отражения с участков размером 50–150 мкм, в интервале 400–1400 см⁻¹, число точек сканирования 1024. Обработка спектров проведена с помощью программного пакета OMNIC. Рентгенограммы минералов сняты на дифрактометре ДРОН-2.0, CuK_{α1}, скорость съёмки 0.02 °/мин (аналитик Т.М. Рябухина). Параметры элементарной ячейки (ПЭЯ) титанита рассчитаны по программе Unit Cell (С.В. Чердниченко).

Характеристика состава и строения минералов

Рудные желваки и жилки нередко окаймлены неравнозернистым титанитовым агрегатом. Образование титанита как вторичного, замещающего рудные минералы в желваках некоторых жил сиенитовых пегматитов Ильменских гор, описано в ряде работ (Крыжановский, Гинзбург, 1940; Козакова, 1947; Симонов, 1947). В составе титанита отмечались примеси Се и Nb до 1 мас. % каж-

дого (Крыжановский, Гинзбург, 1940).

В результате наших исследований установлено, что на периферии гематит-ильменитовых жилок **титанит** представлен неравнозернистым (ранним) и крупнозернистым (более поздним) образованиями; титанитовая оторочка толщиной до 1–10 мм, но иногда отсутствует. Ранний титанит жёлто-коричневого цвета, на границе с гематит-ильменитовым агрегатом тонкозернистый. Зёрна размером до 0.1 мм содержат в центре округлые включения гематит-ильменитового агрегата. Граница между титанитовым и гематит-ильменитовым агрегатами извилистая, с «заливами» в результате частичного совместного роста этих минералов (рис. 3). К периферии рудной жилки отмечается постепенный переход от тонко- к среднезернистому титаниту и уменьшение количества рудных включений. Поздний титанит представлен крупнозернистым агрегатом (в ассоциации с апатитом и магнетитом) и обрастает ранний титанит, иногда заполняет трещины в нём и в рудном агрегате. Ранний и поздний титаниты содержат примеси Nb, Се и Mn; кроме этого, в раннем титаните встречены Y и V. В составе позднего титанита определено Nb₂O₅ 2.64 мас. % и примесь Na (табл. 1).

На КР спектрах титанита сильная полоса в интервале 612–638 см⁻¹ обусловлена симметричным валентным колебанием связи ν₁ (Ti–O) в октаэдрах TiO₆, она уширена и смещена в высокочастотную область из-за гетеровалентного замещения титана Nb, Fe и Al (рис. 4). Наибольшее смещение частотного



Рис. 2. Пироклор-ильменорутил-ильменитовый желвак с титанитовой оторочкой.

Таблица 1

Химический состав титанита, мас. %

Компоненты	1	2	3	4
SiO ₂	30.41	30.74	30.11	29.83
TiO ₂	36.22	35.36	35.35	35.94
Nb ₂ O ₅	1.09	1.59	2.29	2.64
Al ₂ O ₃	1.89	1.84	1.33	1.27
FeO	2.45	2.44	2.58	2.45
CaO	27.17	27.21	26.86	26.33
MnO	–	–	0.31	0.22
Na ₂ O	–	–	0.25	0.17
Ce ₂ O ₃	0.91	0.82	0.70	0.82
Сумма	100.13	99.99	99.78	99.67

Примечание. Титанит: 1, 2 – тонкозернистый; 3, 4 – крупнозернистый. Прочерк – элемент не обнаружен. Аналитик Е.И. Чурин.

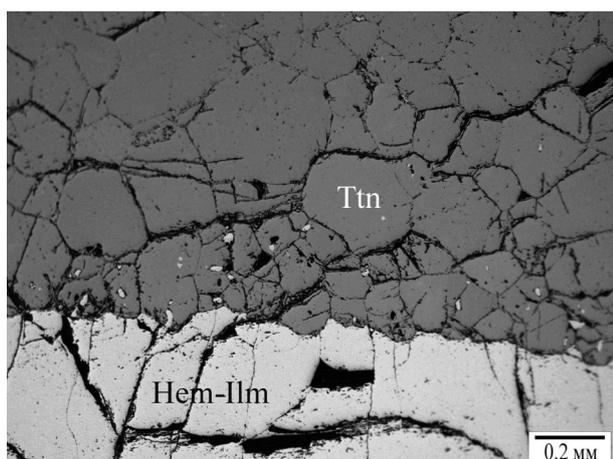


Рис. 3. Титанит (Ttn) на границе с гематит-ильменитовым (Hem-Ilm) агрегатом.

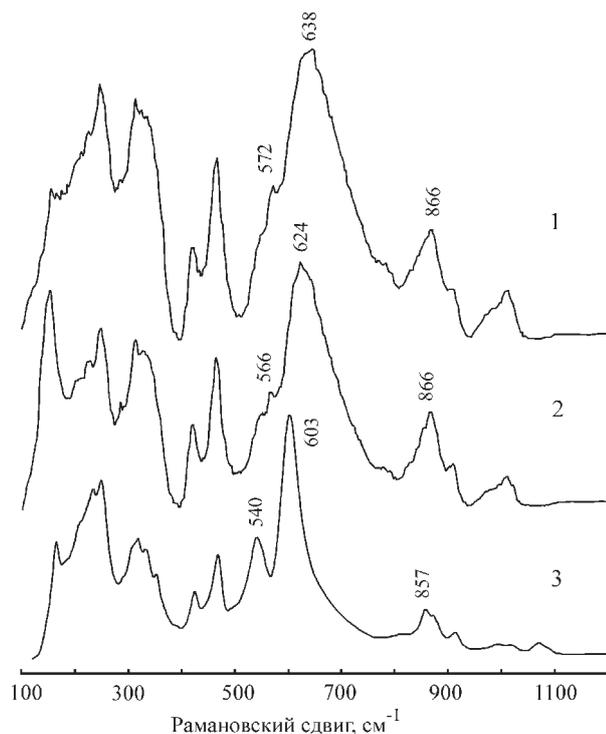


Рис. 4. Спектры КР титанита: 1 – поздний, 2 – ранний, 3 – эталон сравнения RRUFF R100025.

сдвига 638 см⁻¹, характерное для спектра позднего титанита, связано с большим содержанием Nb в составе минерала. Замещение титанита анатазом характеризуется выносом Si и Ca. На КР спектре частично изменённого титанита отмечается уменьшение интенсивности частоты 866 см⁻¹, соответствующее валентному колебанию аниона ν₁ (Si–O).

Параметры элементарной ячейки титанита в большей степени зависят от замещений в октаэдрической позиции TiO₆, чем в CaO₇-полиэдрах (Higgins, Ribbe, 1976). При анализе ПЭЯ за эталон сравнения принимались данные из базы WWW-МИНКРИСТ (карточка титанит-4772: a₀ 6.55 Å, b₀ 8.70 Å, c₀ 7.43 Å, β 119.72°, V 367.70 Å³). В наших образцах ПЭЯ раннего (тонкозернистого) титанита составили (Å): a₀ 6.53, b₀ 8.70, c₀ 7.44, β 119.67°, V 367.49 Å³; параметры позднего (крупнозернистого) титанита близки к эталонным: a₀ 6.55, b₀ 8.70, c₀ 7.44, β 119.69°, V 368.07 Å³. Содержание примесей Fe и Al, замещающих Ti, отличаются незначительно в обоих типах титанита. Основное различие в содержании Nb: в раннем титаните Nb₂O₅ 1.09–1.59 мас. %, в позднем – 2.64 мас. %, что и обусловило несколько повышенное значение ПЭЯ в последнем.

В титанитовой оторочке рудных жилков выявлены мелкие зёрна редкоземельных минералов: монацита-(Ce), алланита-(Ce), ниобозинита-(Ce).

Монацит-(Ce) образует зёрна до 10 мкм в виде одиночных табличек, а также тонких прожилок (до 7 мкм), в основном, по трещинам в титанитовой оторочке. Выявлено совместное образование монацита-(Ce) с алланитом-(Ce) (рис. 5 а). Проанализированные зёрна монацита-(Ce) можно разделить на три разности по соотношению La/Nd (табл. 2): I) La/Nd 0.35–0.54 (7 зёрен, 1 прожилка); II) La/Nd 3.10–3.94 (3 зерна); III) La/Nd 0.67–1.13 (5 зёрен). Во всех разностях монацита присутствуют примеси Si, S, Th, U, Ca, незначительно – Y и Sr. Установлена положительная корреляция между P, Pr, Nd, Sm. В разности-I монацита-(Ce) содержания этих элементов наибольшие; устойчивая отрицательная связь

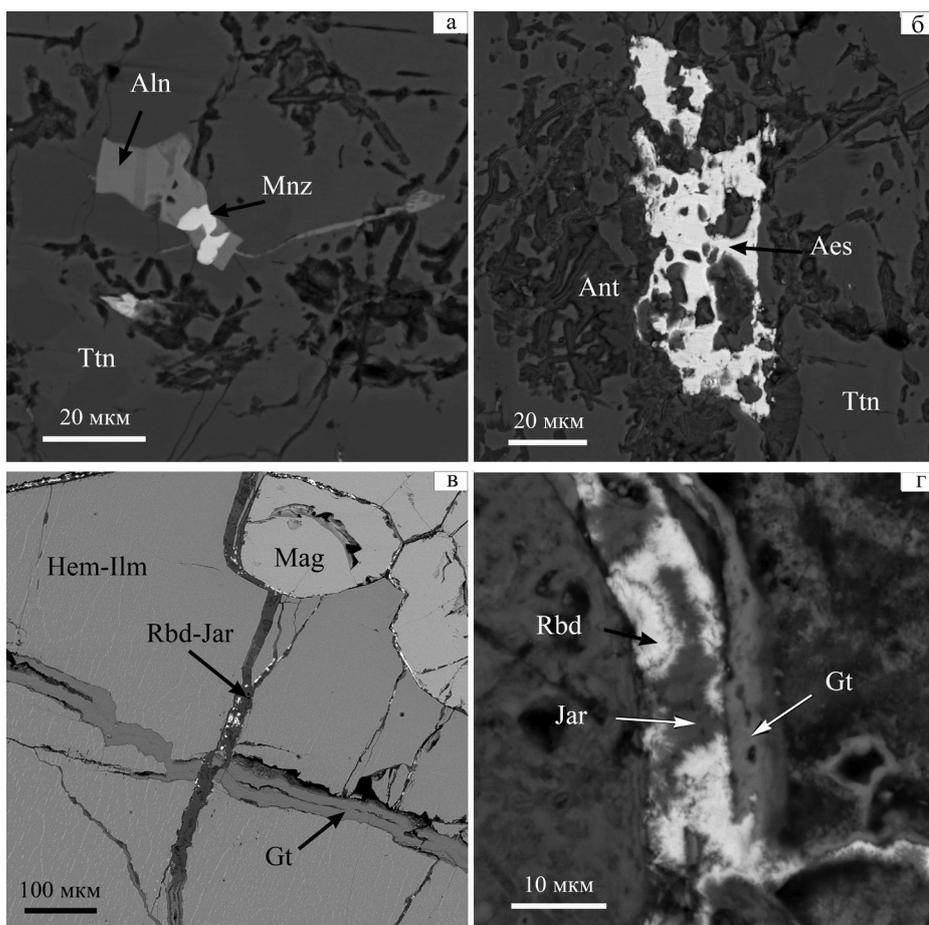


Рис. 5. Монацит-алланитовый сросток (а) и зерно ниобозешинита-(Ce) в титаните (б); в-г – рабдофан-(Ce)-ярозитовые и гётитовые прожилки в гематит-ильменитовом (в) и титанитовом агрегатах (г).

Rbd – рабдофан-(Ce), Mnz – монацит-(Ce), Aln – алланит-(Ce), Jar – ярозит, Gt – гётит, Mag – магнетит, Hem-Ilm – гематит-ильменитовый агрегат, Ttn – титанит, Aes – ниобозешинит-(Ce), Ant – анатаз.

отмечается также между La-(P, Pr, Nd, Sm). В составе монацита-(Ce) разности-II $Ce > La > Nd$ при прямой зависимости Si-Th, наибольшие содержания примесей SiO_2 и ThO_2 (1.60 и 3.22 мас. %, соответственно).

В разности-III монацита-(Ce) содержания La и Nd близки, но выявлены значительные вариации содержаний редких и примесных элементов. В исследуемых монацитах отмечена слабая прямая связь между S и U, Ca. Наибольшие содержания этих примесей установлено в разности-III (мас. %): SO_3 1–2, иногда до 5; CaO 4–7; UO_2 7–15; содержание TR_2O_3 уменьшается до 45 мас. % при обратной зависимости U-(Ce, Pr, Nd) и Ce-(S, Ca).

Алланит-(Ce) встречен по трещинам в титанитовой оторочке в виде одиночных зёрен, прожилков, иногда совместно с монацитом-(Ce) (см. рис. 5 а). Состав минерала характеризуется низким содержанием ThO_2 до 0.5 мас. %, ΣTR_2O_3 24 мас. %. Эмпирическая формула алланита (на 8 катионов) $Ca_{0.98}(Ce_{0.53}La_{0.25}Pr_{0.03}Nd_{0.10})_{0.90}(Al_{1.32}Fe_{1.27}Mg_{0.26}Mn_{0.10})_{2.94}[(Si_{2.99}Ti_{0.19})_{3.18}O_{11}]O(OH)$.

Одиночные зёрна **ниобозешинита-(Ce)** аллотриоморфной формы встречены среди землистого анатаза (см. рис. 5 б). Ниобозешинит-(Ce) имеет следующий состав (мас. %): Nb_2O_5 40.05; TiO_2 17.49; Ta_2O_5 0.56; Ce_2O_3 15.90; CaO 3.14; La_2O_3 3.22; Nd_2O_3 7.80; Pr_2O_3 1.69; UO_2 0.5; ThO_2 5.97; FeO 0.87; сумма 97.21; $H_2O_{расч}$ 2.79; эмпирическая формула (на $B=2$) $(Ce_{0.37}Ca_{0.21}Nd_{0.18}Th_{0.09}La_{0.08}Fe_{0.05}Pr_{0.04})_{1.02}(Nb_{1.15}Ti_{0.84}Ta_{0.01})_2O_6$.

В гематит-ильменитовой жилке и титанитовой оторочке образовался ряд вторичных минералов: анатаз, гётит, гематит, глинистые минералы (железосодержащий монтмориллонит, нонтронит и каолинит), рабдофан-(Ce), ярозит и натроярозит.

Анатаз в виде игольчатых кристаллов формы размером 6–9 мкм и землистых масс желтовато-белого цвета развит в титаните по трещинам и с периферии зёрен. Ранее анатаз был описан как ксантитан с

Средний химический состав монацита (1–3) и рабдофана (4), мас. %

Компоненты	1	2	3	4
	I (12)	II (4)	III (8)	(3)
P ₂ O ₅	31.25	28.76	29.39	27.99
SiO ₂	0.72	1.60	0.42	0.22
SO ₃	1.45	0.18	2.26	2.97
ThO ₂	0.40	3.22	0.28	0.41
TiO ₂	–	–	–	0.46
UO ₂	0.10	0.21	7.96	–
Y ₂ O ₃	0.03	–	–	–
Ce ₂ O ₃	32.65	38.23	28.91	30.19
La ₂ O ₃	6.24	17.06	8.79	8.02
Pr ₂ O ₃	5.28	3.35	3.85	3.14
Nd ₂ O ₃	13.19	4.90	9.47	13.07
Sm ₂ O ₃	2.13	–	1.12	1.01
CaO	4.68	1.41	5.79	5.12
SrO	0.79	0.08	0.32	–
FeO	–	–	–	1.67
Сумма	98.88	99.01	98.56	94.26
ΣTR ₂ O ₃	56–62	62–65	45–61	55.43
La/Nd	0.35–0.54	3.10–3.94	0.67–1.13	0.57–0.73

Примечание. I, II, III – номер разности монацита-(Ce).

В скобках количество анализов. Аналитики В.А. Котляров, И.А. Блинов.

каолинита, ярозита и монтмориллонита с вариациями состава агрегатов, мас. %: Fe₂O₃ 55.66–80.12; SiO₂ 6.50–16.18; TiO₂ 0.97–15.91.

В спектрах ИК-отражения гётита из титанитовой оторочки проявлены интенсивные полосы 891 и 793 см⁻¹, обусловленные деформационными колебаниями связей Fe–ОН. Примесь каолинита в гётите установлена по наличию в ИК-спектрах полос 1080, 1032, 1016, 941 см⁻¹. Полосы в КР спектрах гётита непросты для идентификации из-за присутствия примесей и наложения полос одних минералов на другие (рис. 6, табл. 3). Нередко в спектре отмечаются интенсивные полосы примесного гематита, характеристические полосы которого 294 и 225 см⁻¹, из-за тонкозернистости минерала уширены и смещены в низкочастотную область до 274 и 214 см⁻¹.

Железосодержащий монтмориллонит в виде микрозернистых скоплений жёлтого цвета встречен среди микрозернистого агрегата анатаза. В монтмориллонитовом агрегате определены (среднее из 4-х ан., мас. %): SiO₂ 44.93; Al₂O₃ 26.83; Fe₂O₃ 10.56; TiO₂ 2.06; CaO 0.43; K₂O 0.31; MgO 0.13; сумма 85.39; H₂O_{расч.} 14.61. Повышенное содержание титана в монтмориллоните обусловлено примесью анатаза. При исключении TiO₂ из суммы анализа формула монтмориллонита может иметь вид: (K_{0.03}Mg_{0.03}Ca_{0.04})_{0.10}(Al_{1.44}Fe_{0.56})₂[Si_{3.19}Al_{0.81}]₄(O_{9.81}OH_{2.19})₁₂. ИК-спектр монтмориллонита содержит основные полосы отражения, см⁻¹: 1124, 1045, 905, 671, 536, 471, 426. Полоса 1045 см⁻¹ связана с валентными колебаниями связи Si–O. Полоса меньшей интенсивности 905 см⁻¹, соответствующая деформационным колебаниям Al–ОН, смещена в область низких частот из-за присутствия Fe в октаэдрической позиции. Уширенная полоса 671 см⁻¹ относится к внеплоскостным деформационным колебаниям Al–O.

В монтмориллоните при микронзондовом исследовании обнаружено его неоднородное строение и микронные выделения **нонтронита** с составом (мас. %): SiO₂ 43.68; Fe₂O₃ 32.83; Al₂O₃ 5.31; CaO 0.64; K₂O 0.64; TiO₂ 0.54; MgO 0.46; сумма 84.35; H₂O_{расч.} 15.65; эмпирическая формула (на 6 катионов) (Ti_{0.03}Mg_{0.06}Ca_{0.06}K_{0.07})_{0.22}(Fe_{1.99}Al_{0.01})₂[Si_{3.51}Al_{0.49}]₄(O_{9.93}OH_{2.07})₁₂.

Таблица 2 примесями Si, Al, Fe, Mg, Ca и содержанием TiO₂ 64 мас. % (Минералы..., 1949). Химический состав землистого анатаза с примесью других минералов (мас. %): TiO₂ 64.59; SiO₂ 9.60; Al₂O₃ 1.94; FeO 8.89; CaO 1.33; P₂O₅ 1.02; K₂O 0.33; MgO 0.05; сумма 87.75; иногда есть примеси Nb и Ва (аналитик В.А. Котляров). КР спектр анатаза характеризуется максимумом при 155 см⁻¹, полоса уширена и смещена в высокочастотную область из-за тонкозернистого строения минерала, остальные полосы, 394, 515 и 643 см⁻¹, малоинтенсивны. В землистых выделениях анатаза выявлена небольшая примесь каолинита по наличию в КР-спектре полосы 232 см⁻¹ и слабых полос 338, 652 и 673 см⁻¹.

Гётит в виде землистых масс образовал прожилки и рассеянные аллотриоморфные вкрапления в гематит-ильменитовой жилке и титанитовой оторочке. В отражённом свете гётит светло-серый с голубым оттенком, при косом освещении красно-коричневый и коричневатожёлтый. В рудном агрегате прожилки гётита содержат примесь SiO₂ 5.50 мас. %, в отличие от вкраплений в титанитовой оторочке, где они представлены смесью из гётита, гематита, анатаза,

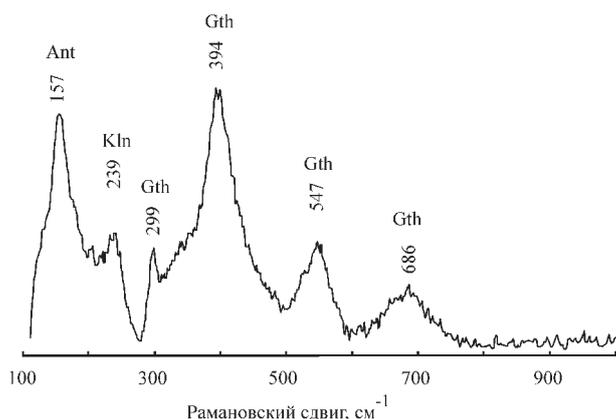


Рис. 6. Спектр КР гётита (Gth) с примесью каолинита (Kln) и анатаза (Ant).

Таблица 3

Диагностические полосы КР спектров вторичных минералов

Волновое число, см ⁻¹	Минералы	Волновое число, см ⁻¹	Минералы
154–159	Анализ	394–398	Анализ/гетит
194	Каолинит	432–436	Ярозит/монтмориллонит
206–210	Гетит	458	Каолинит/ярозит
213–218	Гематит	513–524	Анализ
221–224	Ярозит	532–540	Каолинит
231–239	Каолинит	547–557	Гетит
245–250	Гетит	570–578	Ярозит
267–277	Гематит	641–643	Анализ/каолинит
281–283	Монтмориллонит	652–664	Гематит/каолинит
299	Гетит/ярозит	670–673	Каолинит
334–340	Каолинит	681–686	Гетит
348–354	Ярозит	693–697	Монтмориллонит

Примечание. Выделены сильные полосы в спектре минерала.

коричневато-серые, неоднородны по составу с участки повышенных содержаний Na₂O 1.30–2.30 мас. %, вплоть до образования натроярозита с Na₂O 3.00 мас. % (табл. 4). Ярозит частично подвергся гидролизу и, как следствие, в его составе отмечается дефицит щелочных катионов (K+Na 0.52–0.71 к.ф.) и избыток Fe в октаэдрической позиции.

Обсуждение результатов и выводы

Образование разномерного титанита в виде оторочки, окаймляющей гематит-ильменитовые жилки среди слюдита и полевого шпата, возможно, связано с поздними гидротермальными процессами или, скорее всего, с рудным остаточным раствором, где титанит сформировался после образования рудных агрегатов.

В зоне гипергенеза изменение ранее образовавшихся минералов (полевого шпата, флогопита, ильменита, титанита и др.) привело к формированию вторичных минералов и отложения гипергенных минералов. Образование редкоземельных минералов – ниобозинита-(Ce), монацита-(Ce) и алланита-(Ce) – в титанитовой оторочке гематит-ильменитовых жилок, вероятно, произошло в результате поступления поздних гидротермальных растворов, обогащённых РЗЭ. Наиболее поздний рабдофан-(Ce) в жилках с ярозитом, возможно, образовался вследствие растворения гидротермальными растворами первичных редкоземельных фторапатита и монацита-(Ce). Окисление железистых минералов (ильменита, магнетита, гематита, пирита) привело к образованию землистого гётита. Монтмориллонит и нонтронит, скорее всего, образовались в результате разложения в поверхностных условиях слюды и амфибола, а каолинит

Рабдофан-(Ce) встречается в виде сферолитовых агрегатов в ярозитовых прожилках (см. рис. 5 в-г) и мельчайших одиночных игольчатых зёрен в гематит-гётитовых и монтмориллонитовых агрегатах. Для состава рабдофана-(Ce) характерно низкое содержание ThO₂ 0.41 мас. %, высокое – SO₃ 3.00 мас. %, сумма TR₂O₃ составляет 55.43 мас. %, присутствуют CaO 5.12 мас. % и FeO 1.67 мас. % (см. табл. 2). Расчётная формула на O=4 рабдофана-(Ce): (Ce_{0.43}Ca_{0.21}Nd_{0.18}La_{0.11}Fe_{0.04}Sm_{0.01})_{1.03}[(P_{0.91}S_{0.08}Si_{0.01}Ti_{0.01})_{1.01}O₄]·H₂O. Ранее рабдофан-(Ce) был отмечен в жиле гранитного пегматита в фенитах горы Фирсовой Ильменского заповедника (Поляков, Баженова и др., 1988).

Ярозит образует тонкие прожилки, секущие и жилки гётита в гематит-ильменитовом агрегате (см. рис. 5 в-г). Плотные сплошные массы ярозита коричневатого-жёлтого цвета, в отражённом свете

Химический состав ярозита и натроярозита, мас. %

Компоненты	1	2	3	4
Na ₂ O	0.00	1.00	2.24	3.03
K ₂ O	7.30	4.26	4.28	2.43
Al ₂ O ₃	4.93	1.81	3.18	3.06
FeO	41.08	50.23	49.55	47.87
SiO ₂	0.89	1.42	1.64	1.34
P ₂ O ₅	2.11	1.81	1.44	1.06
SO ₃	35.01	31.51	32.85	32.36
Сумма	91.31	92.04	95.19	91.14
Коэффициенты формул на (S + P + Si) = 2				
Na	0.00	0.15	0.32	0.44
K	0.64	0.41	0.40	0.23
ΣD	0.64	0.56	0.72	0.67
Al	0.40	0.16	0.27	0.27
Fe	2.37	3.16	3.01	3.02
ΣG	2.77	3.32	3.28	3.29
Si	0.06	0.11	0.12	0.10
P	0.12	0.11	0.09	0.07
S	1.82	1.78	1.79	1.83
ΣT	2.00	2.00	2.00	2.00

Примечание. 1–3 – ярозит; 4 – натроярозит. Аналитик В.А. Котляров.

— при изменении полевого шпата. Процессы окисления сульфидов железа (пирита, пирротина, халькопирита) привели к формированию ярозита.

В результате исследования поздних минералов в гематит-ильменитовых жилках Селянкинского месторождения установлена последовательность их образования от ранних к поздним: титанит, ниобозинит-(Ce), монацит-(Ce), алланит-(Ce), анатаз, гётит, гематит; наиболее поздние – рабдофант-(Ce)–ярозитовые прожилки и глинистые минералы (монтмориллонит, нонтронит, каолинит).

Авторы выражают благодарность сотрудникам Института минералогии УрО РАН С.М. Лебедевой, М.В. Штенбергу, И.А. Блинову за помощь в исследованиях.

Литература

- Козакова А.А. Минералогия ильменитовых месторождений горы Фирсовой // Тр. Ильменского гос. заповедника. 1947. № 3. С. 165–193.
- Крыжановский В.И., Гинзбург А.И. Некоторые новые данные к минералогии горы Лохматой в Ильменских горах // Тр. Ильменского гос. заповедника. 1940. № 2. С. 191–208.
- Минералы Ильменского заповедника / Под ред. А.Н. Заварицкого. М.-Л.: АН СССР, 1949. 397 с.
- Поляков В.О., Баженова Л.Ф., Петров В.И. Рабдофанит Ильменских гор // Новые данные по минералогии Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. С. 53–56.
- Симонов А.И. Титановые минералы в некоторых пегматитах Ильменского хребта // Тр. Ильменского гос. заповедника. 1947. № 3. С. 103–163.
- Шемелин В.М., Брагина М.В. Объяснительная записка к подсчёту запасов по Селянкинскому месторождению ильменорутила. Свердловск: Урал. геол. управл., 1941ф. 148 с.
- Higgins J.B., Ribbe P.H. The crystal chemistry and space groups of natural and synthetic titanite // Am. Min. 1976. V. 61. P. 878–888.