

Полученные результаты с учетом существующих представлений [9] о том, что кимберлиты и лампроиты не имеют собственной алмазной минерализации, а наследуют ее при замещении интрузивных первичных алмазодержащих пироповых перидотитов, эклогитов и других флюидными расплавами, что может быть отнесено и к ладогалитам, позволяют по клинопироксенам из нодулей и мегакристов диатремовых ладогалитов на основе парагенетического анализа провести реконструкцию минерального состава первичных алмазоносных пород, существовавших до проявления флюидного щелочнокалиевого метасоматоза. С этой целью использована предложенная А. А. Маракушевым [8, 9] систематика алмазоносных пород в кимберлитовых и лампроитовых трубках по составам гранатов и клинопироксенов, как включающих алмазы (рис. 1), так и находящихся в алмазах в виде включений (рис. 2). На диаграммах (рис. 1, 2) клинопироксены из нодулей мегакристов диатремовых ладогалитов распо-

ложены в поле алмазоносных гранатовых пироксенитов. К нему же, по [10, 11], приурочены и клинопироксены, находящиеся в парагенезисах с гранатами, соединенные с ними коннодами. По аналогии парагенезисов можно предположить, что гранаты, ортопироксены и оливин, находившиеся в парагенезисе с клинопироксенами из нодулей и мегакристов диатремовых ладогалитов до флюидного щелочнокалиевого метасоматоза и образования ладогалитовой магмы, относились: гранаты — к альмандин-пироповому ряду (43–64% пиропового минала) с примесью андрадит-гроссуляровых миналов; ортопироксены — к глиноземистым бронзитам, а оливин, видимо, присутствовал в количествах, не превышающих 5%.

Таким образом, алмазоносные протопороды, вероятно, до флюидного щелочнокалиевого метасоматоза были представлены гранатовыми вебстеритами и гранатовыми клинопироксенитами эклогитовой фации.

1. Хазов Р. А., Попов М. Г., Бискэ Н. С. Трубки взрыва в Карелии // ДАН. 1985. Т. 285, № 4. С. 975–977.

2. Хазов Р. А., Попов М. Г., Бискэ Н. С. Рифейский калиевый щелочной магматизм южной части Балтийского щита. СПб., 1993. 217 с.

3. Khazov R. A. et al. Diamonds in ladogalites // Precambrian industrial minerals of Karelia. Petrozavodsk, 1993. P. 51–52.

4. Хазов Р. А., Попов М. Г., Бискэ Н. С. Мегакристаллы в трубках взрыва Карелии // ДАН. 1991. Т. 318, № 5. С. 1216–1219.

5. Толмачева Е. В., Качалов М. В., Хазов Р. А. и др. Включения минералообразующих сред в ладогалитах и мегакристаллах клинопироксена // Тез. докл. симпозиума. Благородные металлы и алмазы Севера Европейской части России. Петрозаводск, 1995. С. 179–180.

6. Эдгар А. Д., Арима М. Экспериментальное изучение калиевого метасоматоза с использованием модели

пиролитовой мантии и его значение для выявления генезиса высококалиевых магм // 27-й Междунар. геол. конгр. Т. 9. М., 1984. С. 246–258.

7. Kushiro I. Stability amphibole and phlogopite in the upper mantle // Year Book. Washington. Carnegie Inst. V. 68. 1970. P. 246–247.

8. Маракушев А. А. Минеральные ассоциации алмаза и проблема образования алмазоносных магм // Очерки физико-химической петрологии. Вып. XIII. М., 1985. С. 5–53.

9. Маракушев А. А. и др. Полифациальность алмазоносных пород кимберлитовых и лампроитовых трубок // ДАН. 1994. Т. 337, № 4. С. 490–493.

10. Шарков Е. В., Пухтель И. С. Минералы эклогитов (гранатовых вебстеритов) и эклогитоподобных пород из трубок взрыва о-ва Еловый (Кольский п-ов) // Глубинные ксенолиты и строение литосферы. М., 1987. С. 127–447.

11. Магматические горные породы. Т. 5. М., 1988. 508 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МИНЕРАЛОВ КАРЕЛИИ

В. В. Щипцов

Институт геологии Карельского НЦ РАН, Петрозаводск

По определению Ф. В. Чухрова, «...типоморфными считаются минералы, образующиеся в определенных условиях и позволяющие судить об этих условиях. К типоморфным особенностям относят различные черты минералов, которые позволяют конкретизировать условия их образования в определенных ассоциациях» [1]. В настоящее время получила развитие новая область прикладной минералогии — это технологическая минералогия, предметом которой является изучение минералов

как объектов переработки с помощью различных методов, прежде всего, технологий обогащения. При развитии направления технологической минералогии играют значительную роль типоморфные особенности минералов и минеральных ассоциаций, влияющие на показатели переработки руд, т. е. на технологические свойства руд и минералов. В. М. Изюмко [2] обобщила материалы по технологической минералогии относительно железных, медно-никелевых, вольфрамовых, оло-

ванных, медных и полиметаллических руд, золота и платины и показала их существенное влияние на совершенствование технологических схем, вовлечение в переработку новых промышленных типов месторождений и руд. Имеется большое количество публикаций, посвященных технологической минералогии конкретных руд, например, железных [3], оловянных [4] и др.

Методы технологической минералогии с таким же успехом применимы и по отношению к индустриальным минералам. Нельзя не отметить работы В. И. Ревнивцева по кварцу и полевому шпату [5], О. Б. Дудкина [6] и другие. Технологические свойства индустриальных минералов прогнозируются на основе двух порядков признаков типоморфных особенностей. *Первый порядок* – это признаки, зависящие от условий образования. К ним относятся химический состав, присутствие элементов-примесей, структура (параметры, дислокации и т.п.), конституция, структурно-текстурные особенности породы (морфологический тип текстуры, типы срастаний минералов, морфология и гранулометрия минеральных агрегатов), степень выветривания, поверхностные пленки и другие свойства минералов и горных пород. *Второй порядок* – это признаки, производные

от первого порядка. К ним относятся физические и механические типоморфные свойства (цвет, прозрачность, контактная электризация, твердость, микротвердость, хрупкость, упругость, пластичность, пористость, сорбция, адсорбция, растворимость, реакционная способность, коэффициент анизотропии, люминесцентность, радиоактивность и др.).

Образование руд индустриальных минералов тесно зависит от литологического, магматического, структурного и метаморфического факторов контроля. Процессы петрогенезиса, повлиявшие на химический и минеральный состав горных пород Карельского региона, в значительной мере связаны с метаморфизмом горных пород изначально магматического и осадочного генезиса, что относится к характерной особенности докембрия Карелии (табл. 1). Широкий диапазон меняющихся термодинамических условий повлиял на многообразие и специфику индустриальных минералов в количественном и качественном отношении.

При выборе схем переработки руд индустриальных минералов, как правило, доминирующее значение придается наиболее контрастным свойствам минерала, присущим только одному в ассоциации с другими минералами.

Таблица 1
Геологические обстановки формирования индустриальных минералов Карелии

Основная геологическая обстановка	Индустриальный минерал
Архейские гранито-гнейсовые поля с интенсивно, умеренно и слабо реактивизированными областями	Полевой шпат, кварц, мусковит, гранат, графит, кианит, пирит, корунд, сподумен
Структурно-формационные комплексы лопийских зеленокаменных поясов	Кварц, гранат, графит, кианит, мусковит, пирит, ставролит, тальк
Области развития свекокарельских осадочно-вулканогенных и вулканических толщ	Кварц, тальк, шунгит, графит, полевой шпат, барит, андалузит
Рифейско-вендский комплекс	Кварц, флюорит, Ba-Sr полевой шпат, волластонит
Дифференцированные интрузии от ультраосновного до кислого и карбонатитового состава архейского и протерозойского периода	Апатит, кальцит, полевой шпат, барит, ильменит, титаномagnetит, магнетит, хромит, асбест, тальк, магнезит, пирит, оливин
Фанерозойские осадочные комплексы	Диатомит, сапропель

Главные индустриальные минералы Карелии, представляющие собой полезные ископаемые, повторяются в разнообразной роли в ассоциациях минералов, образующих горные породы, что показано в табл. 2 для наиболее типичных месторождений индустриальных минералов в Карелии. Один и тот же минерал может стать породообразующим или второстепенным до акцессорного, т. е. для некоторых минералов их количественное содержание варьирует от следов до близкого к 100%: кварц (высококремнистый кварцит или кварцевая жила), кальцит (мрамор, карбонатит, кальцифир), доломит (доломит), оливин (оливинит), битовнит-лабрадор (анортосит), тальк (талькит), шунгит (высокоуглеродистый шунгитовый сланец), гранат (гранатит).

Главнейшие по частоте встречаемости метаморфические минералы – полевой шпат, кварц, амфибол, слюда, пироксен. Группа минералов, характерных главным образом для метаморфических пород, относится к типоморфным для обра-

зований данного класса – это ставролит, кианит, андалузит, силлиманит, кордиерит, пироксен, гранат, биотит, мусковит, серицит, хлорит, амфибол, тремолит, актинолит, серпентин, форстерит, тальк, волластонит, скаполит, шунгит, пирит, ильменит, титаномagnetит (преимущественно метаморфические). Типоморфные минералы образуют лейкократовую (кварц, калиевый полевой шпат, плагиоклаз, нефелин, кальцит и другие) и меланократовую (пироксены, амфиболы, оливины, слюды и другие) группы. Большинство из них в метаморфических породах не имеет собственных кристаллографических форм – кристаллизация ксенобластическая, катакластическая. Включения в минералах не контролируются зонами роста, а их количество и формы очень сильно отражаются на качестве конечного продукта (концентрата). На первом этапе исследуются примеси в минералах, разделяемые на три группы (табл. 3), что имеет исключительно важное значение при оценке на обогащаемость.

Таблица 2

Минеральный состав исходной рудной массы основных месторождений промышленных минералов Карелии

Индустриальный минерал	Сод. в руде, %	Главные сопутствующие минералы										Типичные второстепенные сопутствующие минералы									
Кианит	10–40	кв	му	су								гр	би	та	ру						
Гранат	15–49	кв	му			ки									пш	ам	би				
Тальк	До 40–70				кар											хл	ма	су			сер
Полевой шпат ¹	До 75–85						ам	би		эг						хл	ма				
Полевой шпат ²	До 40–50	кв	му										би			ам					пи
Полевой шпат ³	До 55–65	кв						би									ма	су			
Апатит ¹	15–18				кар								би				ма		фл		
Флюорит	10–40		му			гр	ам									хл	ма			пи	
Графит	2,8–6,1	кв						би				гр						су		пи	ам
Ильменит	До 25						ам		пш	ол	пи						ма	су			
Шунгит	30–42	кв	му					би	пш								су				

Примечание. Кв – кварц; му – мусковит, серицит; кар – карбонаты (кальцит, доломит, магнезит); су – сульфиды (пирит, пирротин); гр – гранат (пироп, альмандин); ам – амфиболы; би – биотит; пш – полевые шпаты (микроклин, плагиоклаз); эг – эгирин; ол – оливин; пи – пироксен; фл – флогопит; та – тальк; ки – кианит; хл – хлорит; ма – магнетит; ру – рутил; сер – серпентин. Полевой шпат¹ – нефелиновый и щелочной сиенит; полевой шпат² – кварцевый порфир; полевой шпат³ – геллефлинта; апатит¹ – карбонатитовый комплекс.

Таблица 3

Примеси в минералах (признаки первого порядка)

Удаляемые примеси		Методы обогащения	Применяемые методы обогащения
Минеральные	Глинистые	Механические	Промывка
	Зернистые		Сортировка, гравитация, сепарация магнитная и электрическая, флотация
	Пленочные		Механическая очистка поверхности
Включения	Твердые	Физико-химические	Пирометаллургия
	Газово-жидкие		Декрепитация
Структурные			Химические, гидрометаллургия

Примеры типоморфизма минералов первого порядка: тонкодисперсный рутил в решетке кианита ограничивает области применения кианитового концентрата в промышленном использовании (требования по содержанию TiO_2 для керамических материалов – не более 0,2, а в иных случаях – 0,01%), природное срастание мусковита с биотитом резко сужает возможности использования тонкомолотого мусковита в производстве красок, пластиков и бумаги, прораствание граната с другими минералами не лучшим образом влияет на выбор областей его применения – для фильтрации воды не допускается готовый продукт к использованию, если содержание граната меньше чем 97%. Структурно-текстурные особенности пород играют особую роль при дезинтеграции, влияя на дробимость, – это измельчаемость, раскрываемость минералов и т. п. Один из многих примеров – на приводимом рисунке, на котором показаны различные морфолого-структурные типы ильменитовых руд месторождения Суриваара.

Региональный метаморфизм существенно влияет на технологические свойства промышленных минералов – как позитивно, так и негативно. Например, графитовые руды зон низкотемпературного метаморфизма имеют низкую флотационную обогатимость при содержании тонкодисперсного графита в них свыше 60%, в то же время в условиях высокотемпературного метаморфизма амфиболитовой фации образованы легкообогащаемые высококачественные руды

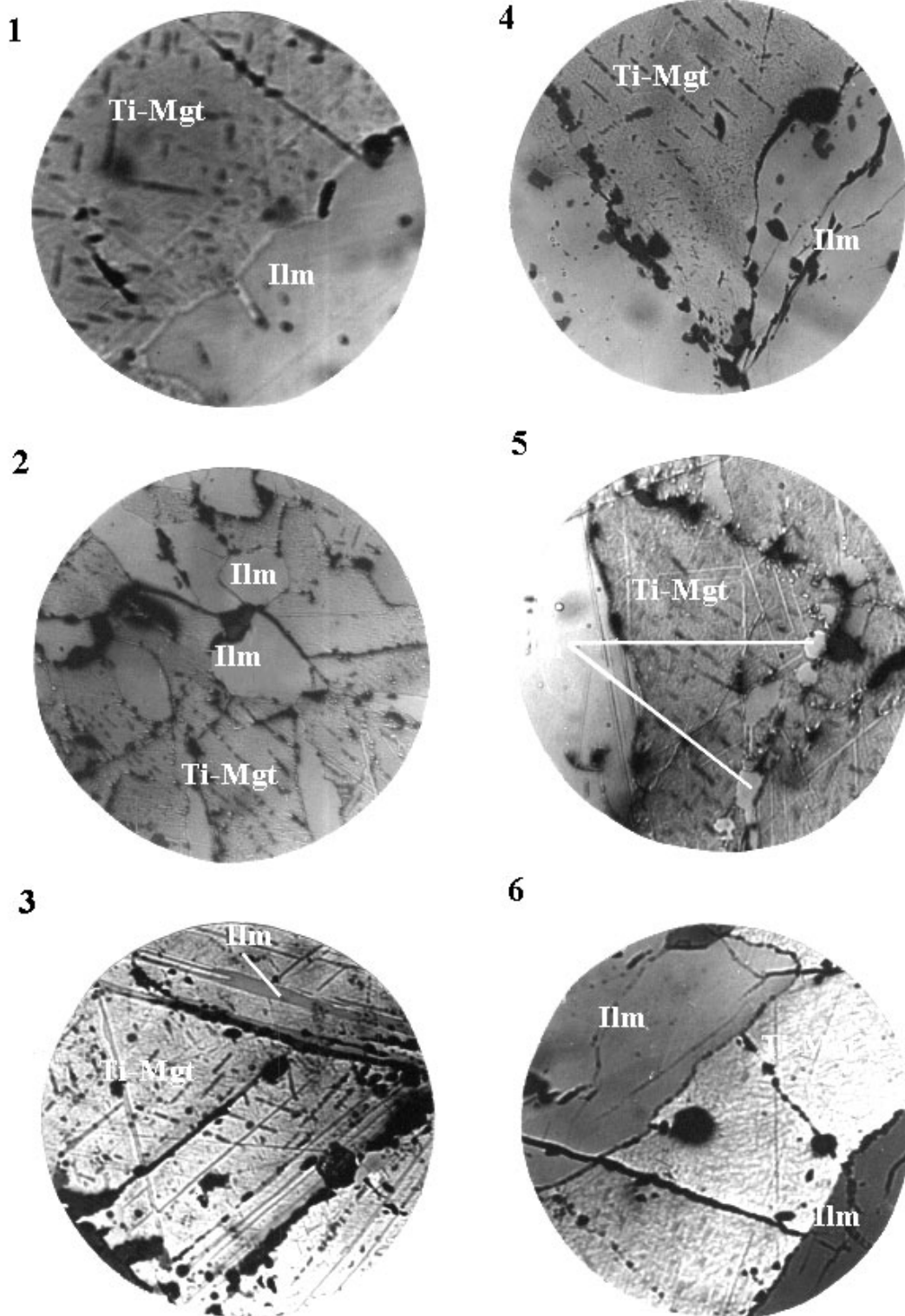
с крупночешуйчатым графитом при содержании 2,8–5,9% (Ихальское месторождение) [7]. Другой пример относится к мусковиту. Мусковит принадлежит к одному из наиболее распространенных минералов в группе слюд. В зависимости от условий образования этот минерал в пегматитах характеризуется переменным составом, что и позволяет использовать его как индикатор среды минералообразования [8].

Значительная роль отводится изучению физических и механических свойств промышленных минералов, некоторые из которых приводятся в табл. 4 (типоморфизм второго порядка).

Технологическая минералогия стоит в авангарде современных направлений развития теории и практики обогащения руд, что позволяет совершенствовать технологические процессы, научно обосновывать и разрабатывать новые технологические подходы и технические решения; интенсифицировать технологии обогащения различных руд на основе направленного изменения свойств минералов. На основе того, что типоморфные свойства минералов – это связующее звено между природным типом руд и выбором оптимальной технологии их обогащения, в лаборатории геологии, технологии и экономики минерального сырья выполнен большой объем лабораторных исследований, проистекающих из геолого-минералогического этапа изучения целого ряда промышленных минералов Карелии. В результате показаны перспективы переработки конкретных природ-

ных типов руды на кианит, апатит, кварц, ильменит, гранат, мусковит, нефелин-полевошпат и другие. Дальнейшая задача состоит в том, чтобы повысить роль технологической ми-

нералогии в априорной оценке технологических свойств по многим видам индустриальных минералов минерально-сырьевой базы Республики Карелия.



Морфолого-структурные типы ильменитовой руды (месторождение Суриваара, Ельтьозерский массив):

1, 2 – контакт зерен ильменита с титаномагнетитом (×40); 3 – мелкозернистый ильменит в титаномагнетите (×40); 4 – мозаичный ильменит в титаномагнетите (×40); 5 – структура распада титаномагнетита (×40); 6 – характер выделений ильменита в среднезернистом габбро (×36)

Таблица 4

Физико-механические свойства основных индустриальных минералов Карелии

Группа, класс	Индустриальный минерал	Физические свойства				Механические свойства	
		Плотность, г/см ³	Электропроводность, Ом ⁻¹ см ⁻¹	Диэлектрическая проницаемость	Удельная магнитная восприимчивость, $\times 10^{-6}$ см ³ /г	Твердость	Хрупкость
Самородные	Графит	2,09–2,25	$<10^{-6}$	>81	–6	1	Мягкий
	Шунгит	1,84–1,98	$<10^{-6}$		–60		
Галогениды (фториды)	Флюорит	3,1–3,55	$10^{-17}–10^{-13}$	6,2–8,5	–0,285	4	Хрупкий
Сульфиды	Пирит	4,9–5,2	$10^{-2}–10^4$	$>33,7 – <81$	От +1 до +5	6–6,5	Хрупкий
	Пирротин	4,58–4,7	$10^2–10^4, 10^6$	>81	+230; 500–45 000	3,5–4,5	Хрупкий
Окислы	Кварц	2,65	$10^{-17}–10^{-12}$	4,2–6	От –0,461 до +10	7	Хрупкий
	Рутил	4,2–5,6	$>10^{-6}; 1–10^4$	31–173 (10,6)	От –1 до +2; 23	6–6,5	
	Ильменит	4,4–5	$>10^{-6}; 10^2–10^4$	$>33,7 – <81$	От +90 до +450	5–6	
	Магнетит	4,5–5,3	$10^{-5}–10^2; 10^3–10^6$	$>33,7 – <81$	До +80 000	5,5–6,5	Хрупкий
Карбонаты	Доломит	2,8–3,0	$<10^{-5}$	6,3; 7,4; 8,2	+0,92	3,5–4	Хрупкий
	Кальцит	2,7–2,73	$10^{-11}–10^{-8}$	6,3–9,3	12,5	3	Хрупкий
	Магнезит	2,9–3,1	$10^{-14}–10^{-12}$	4,4; 5–7; 10,6	От –1 до +5	4–4,5	Хрупкий
Сульфаты	Барит	4,3–4,5	$10^{-4}–10^{-2}$	4,5; 5–12,2	–0,3	3	Хрупкий
Фосфаты	Апатит	3–3,2	$<10^{-12}$	5,8–12,8	От –10 до +5	5	Хрупкий
Силикаты	Гранат	3,7–4,26		3,5; 4,3; 11,8	От +60 до 400	6,5–7,5	
	Андалузит	3,1–3,2		7–7,1		7–7,5	
	Кианит	3,52–3,68		5,7; 7,9–8,,	+0,01	4–4,5	Хрупкий
	Силлиманит	3,23–3,28		6,6–6,9		6–7	Хрупкий
	Оливин	3,2–4,4		6,8; 7,3–9,1	45–80	6,5–7	Хрупкий
	Тальк	2,7–2,8	$10^{-15}–10^{-10}$	3,9–5,8	+18,2; +23,9 от –0,5 до +1	1–1,5	Режется ножом
	Ставролит	3,6–3,8		7,4–9,9	От +20 до +50	7–7,5	Хрупкий
	Сфен	3,3–3,55	$10^{-11}–10^{-9}$	4–6,6	От +2 до 10; +22	5–6	Хрупкий
	Биотит	3,02–3,12	$10^{-14}–10^{-11}$	6,0–9,3; 9,75–10	До +36; +60; +116	2,5–3	
	Мусковит	2,7–3,1	$10^{-16}–10^{-14}$	6–8	+1; +12	2–3	
	Нефелин	2,6	$10^{-15}–10^{-10}$	6,2; 6,6–8,5		5,5	Хрупкий
	Микроклин	2,55–2,57	$<10^{-12}$	5–6,9	От –1 до +1	6–6,5	Хрупкий
	Плаггиоклаз	2,61–2,75	$<10^{-12}$	7,4–8		6–6,5	

Примечание. Использованы данные лаборатории геологии, технологии и экономики минерального сырья Института геологии КарНЦ РАН и литературные [9, 10, 11, 12].

1. Чухров Ф. В. Некоторые вопросы типоморфизма минералов // Типоморфизм минералов и его практическое значение. М., 1972. С. 6–11.

2. Изоитко В. М. Технологическая минералогия и оценка руд. СПб., 1997. 592 с.

3. Технологическая минералогия железных руд / Пирогов Б. И., Порохов Г. С., Холошин И. В., Тарасенко В. Н. Л., 1980. 304 с.

4. Иванов О. П., Кушпаренко Ю. С., Маришкова Н. К. Технологическая минералогия оловянных руд. Л., 1989. 207 с.

5. Ревнищев В. И. Обогащение полевых шпатов и кварца. М., 1970. 129 с.

6. Дудкин О. Б. Технологическая минералогия комплексного сырья на примере месторождений щелочных плутонов. Апатиты, 1996. 134 с.

7. Бискэ Н. С. Влияние регионального метаморфизма на технологические свойства графитонесных

пород // Технологическая минералогия главнейших промышленных типов месторождений. Л., 1987. С. 183–188.

8. Щипцов В. В. Типоморфные особенности мусковитов и биотитов из пегматитов центральной части Западного Беломорья // Минералы-индикаторы особенностей вмещающей их среды. Л., 1975. С. 71–76.

9. Барский Л. А., Данильченко Л. М. Обогащаемость минеральных комплексов. М., 1987. 240 с.

10. Берлинский А. И. Разделение минералов. М., 1975. 176 с.

11. Кевлич В. И., Сыромятина Н. Д. Технологическая минералогические рекомендации к разработке схем по выделению мономинеральных фракций из докембрийских горных пород Карелии. Петрозаводск, 1985. 68 с.

12. Копченкова Е. В. Минералогический анализ шлихов и рудных концентратов. М., 1979. 247 с.