

Н.Д.МАЛОВ, канд. геол.-минерал. наук, геолог, *nelli.malova@yandex.ru*

ОАО «Севзапгеология», Санкт-Петербург, Россия

В.В.ЩИЩОВ, д-р геол.-минерал. наук, директор, *shchipts@krc.karelia.ru*

Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

КРИЗИС СЛЮДЯНОЙ ОТРАСЛИ БЕЛОМОРСКОЙ ПЕГМАТИТОВОЙ ПРОВИНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВА ЕГО ПРЕОДОЛЕНИЯ

Обсуждены причины и последствия кризиса слюдяной отрасли Северо-Западного Беломорья, связанные с изучением и добычей листового мусковита. Подтверждено альтернативное значение крупного по запасам месторождения Межозерное (Северная Карелия) – коренного источника дефицитных светлых слюд. Результаты минералоготехнологических исследований показывают, что оно является перспективным объектом на добычу и переработку маложелезистого чешуйчатого мусковита.

Ключевые слова: мусковит, рыночный спрос, геолого-геофизическая и технологическая изученность, альтернативный объект.

Мусковит представляет собой самый распространенный гидроксил- и фторсодержащий алюмосиликат. Как источник сырья для различных отраслей промышленности он традиционно делится на два вида – листовый и мелкозернистый (пластины площадью 4 см²). Направления их использования значительно отличаются. При этом доля листового мусковита в общемировом объеме производства слюды составляет 1,5-2,0 %, 10-5 % приходится на флогопит, а остальное – скрап (отходы от переработки листового мусковита и мелкозернистый (чешуйчатый) мусковит). Одним словом, скрап – торговое название мелкозернистой слюды [7].

Беломорская пегматитовая провинция является вторым после Мамской провинции мусковитоносным регионом России. Коренное изменение конъюнктуры мирового слюдяного рынка в 90-х годах XX в. привело к ликвидации инфраструктуры горнодобывающей промышленности и системы геологического обеспечения с необратимыми социальными последствиями, к пересмотру сырьевых стандартов [1, 5, 6] и, наконец, к переориентации промышленных интересов на дефицитную чешуйчатую маложелезистую слюду и поискам ее рентабельных месторождений. Масштаб отраслевых кризисных потерь Карело-Кольского региона иллюстрируется кратким ретроспективным обзором состояния геолого-геофизической и горно-геологической изученности недр слюдоносной территории, достигнутой в период ее активного освоения в 1945-1996 годах.

Беломорская пегматитовая провинция размером 350 × (30-50) км протягивается от района Лейвойвы на северо-западе до района г.Беломорска на юго-востоке. Ее приосевая часть сложена продуктивными на мусковит глиноземистыми гнейсами чупинской свиты. Выделяются пегматитовые районы – Енский, Чупино-Лоухский и Кемско-Беломорский. В их пределах учтены 10 промышленных месторождений листового слюды и многочисленные пегматитопроявления [3, 5].

Геологами научных институтов (КНЦ РАН и КарНЦ РАН, ВСЕГЕИ, ВИМС), вузов (ЛГИ, ЛГУ), производственных геологоразведочных организаций и ГОКов («Карелслюда», «Ковдорслюда») в 1946-1996 годах были установлены основные факторы контроля слюдоносных (и керамических) пегматитов и критерии определения их ценности.

Геологическое картирование пегматитовых районов осуществлялось геологоразведочными экспедициями (ГРЭ): Северной (с 1946 г.), Енской и Карельской (с начала 50-х годов) в масштабах 1:2000 – 1:10 000 и 1:50 000. Геологические работы сочетались с воздушными и наземными геофизическими работами и каротажем. В этих районах с разной экстенсивностью выполнены наземные опытно-методические радиогеохимические картировочные работы, основанные на U(Ra)-Rn-специализации промышленных пегматитов с высокой корреляцией (0,84) содержания валового (и подвижного) урана и кондиционного мусковита в пегматитах.

Здесь на перспективных участках в значительных объемах было проведено структурное бурение до глубины 900-1200 м (Плотина, Риколатва), поисково-оценочное и разведочное бурение до глубины 300-700 м. Например, Северной ГРЭ в 80-х годах было выполнено до 25 % плановых буровых работ государственного геологического предприятия «Севзапгеология» в целом; в тот же период Северная ГРЭ ежегодно выполняла буровые работы объемом до 30 тыс. погонных метров.

Кроме того, Северная ГРЭ в условиях сглаженного рельефа систематически осуществляла горные работы. Первоначально глубина разведочных шахт достигала 100 м. Всего были пройдены десятки таких стволов.

Эксплуатационные горные работы проводились обоими ГОКаами. В связи с падением спроса на листовую мусковит в 1995 г. было принято решение о ликвидации 19 шахтных комплексов глубиной до 400 м на подземных слюдорудниках (Тэдино, Лопатова губа, Машиновская Варакка, Северная и Плотина). Тогда же были законсервированы штольневые выработки в Енском районе на Лейвойве, Риколатве и Неблогоре.

В результате выполнения весьма дорогостоящих работ в 1945-1995 годах были подсчитаны запасы листового мусковита промышленных категорий в количестве не менее 100 тыс.т. Остаточные запасы листовой слюды на 01.01.2001 г. составили около 70 тыс.т, а промышленные запасы мелкозернистого мусковита – 115 тыс.т [4]. Последние в значительной мере заключены в рудничных отвалах, являя собой крупное техногенное месторождение. Оно рассматривается [3, 5, 7] как возможный источник для производства молотой слюды (с содержанием суммарного железа 2-3 %), используемой в резиново-технических изделиях, некоторых видах электроизоляции, стройматериалов, красок и т.п.

Негативными особенностями подготовленной сырьевой базы листовой слюды являются ограниченные размеры большинства жил и часто их значительная удаленность от эксплуатационных горизонтов [6].

Добыча листового мусковита в Карело-Кольском регионе в 1995 г. практически прекратилась в связи с резким падением спроса на него как следствия мощного развития микроэлектроники и неконкурентности в этих условиях изделий из листовой слюды [3].

В последние десятилетия страны производители и импортеры мусковита (США, Китай и др.) ориентированы на использование мелкочешуйчатой низкожелезистой (около 1 % Fe) слюды, применяемой как добавки при тампонаже скважин нефтяного бурения, при производстве высокотехнологичных и огнестойких лаков, перламутровых красок и пигментов широкой цветовой гаммы для нужд авто- и авиапрома, формованных электроизоляторов, мягких кровельных материалов, сорбентов для сельского хозяйства, в косметологии при производстве минеральной косметики и др. В этом направлении лидером являются США, где семь компаний производят 80 тыс.т мусковита сухого и мокрого помола из собственного и импортного сырья, при этом 60 % продукции приходится на долю Северной Каролины. По данным Геологической службы США, по состоянию на 2014 г. общее мировое производство слюды составило 1 млн 130 тыс.т, при этом отмечается рост потребностей в молотой слюде, включая микронизированные мусковитовые концентраты [9].

В 1999 г. в северной Карелии геологами Северной ГРЭ и Института геологии КарНЦ РАН было выявлено крупное проявление маложелезистого мелкочешуйчатого мусковита в

кварц-мусковитовых сланцах в пределах центральной части Северо-Карельского зеленокаменного пояса на востоке Хизоваарской структуры на участке Межозерное [4, 8]. Богатые скопления чешуйчатого маложелезистого мусковита пригодны для получения из этого продукта помольных и микронизированных мусковитовых порошков широкого промышленного применения. В отличие от чупинского мелкогабаритного мусковита маложелезистый мусковит на данной площади имеет превосходные характеристики: по железу – менее 1 %, мышьяку – не более 3 мг/кг, свинцу – не более 20 мг/кг, более 90 % свободных от минеральных примесей чешуек фракции $-(0,04-0,1)$ мм, что удовлетворяет ряду технических условий.

В 2001 г. было обосновано проведение поисково-оценочных работ на этой площади. В результате определена продуктивная толща, которая залегает среди амфиболитов хизоваарской свиты неоархей. В составе продуктивной толщи выделяются кварц-мусковитовые сланцы и мусковитовые кварциты с чешуйчатым мусковитом серебристого цвета размером 5-7 мм, а также кварц-кианитовые сланцы с тонкочешуйчатым мусковитом. Практический интерес на данном участке представляют кварц-мусковитовые сланцы, составляющие до 90 % от общей массы всего комплекса пород. Содержание мусковита варьирует от 7,8 до 42 % при среднем 18,1 %.

В образовании мусковитовых кварцитов определенную роль сыграли процессы кислотного выщелачивания мусковит-кварцевой фации свекофеннского периода. Метасоматические процессы данной фации выщелачивания характеризуются инертностью Al_2O_3 и SiO_2 , а также повышенной активностью калия в растворах, что приводит к мусковитизации и окварцеванию исходных пород с образованием кварц-мусковитовых метасоматитов [4]. Кроме того, высокая восстановительная обстановка, подвижность железа и достаточная активность серы привели к формированию в данных породах прожилково-вкрапленной сульфидной минерализации.

Развитие процессов кислотного выщелачивания кварц-мусковитовой фации проходило по узким зонам рассланцевания, в результате наблюдается значительная неравномерность мусковитизации пород и, соответственно, широкие вариации минерального и химического состава пород по скважинам с глубиной. По результатам изучения минералогопетрографических особенностей кварц-мусковитовых метасоматитов по керну семи скважин были выделены несколько типов пород, отличающихся по минеральному составу в зависимости от исходных пород и степени метасоматической переработки [4, 8]. В целом с увеличением степени метасоматической переработки исходных пород наблюдается замещение плагиоклаза, кианита и биотита мусковитом и кварцем с образованием кварц-мусковитового агрегата. При этом отмечено развитие более крупнозернистого мусковита, образующего прослой в мелкозернистом преимущественно кварцевом агрегате, происходит изменение химического состава слюды в сторону уменьшения содержания железа, магния, титана.

Месторождение было выявлено и оценено. На площади размером 1000×350 м проведено опробование мусковитовых пород, изучен их вещественный состав и обогатимость. В результате полученных данных сделано заключение о легкой обогатимости руд гравитационными методами и дана характеристика маложелезистого чешуйчатого мусковита как высококачественного сырья, пригодного для многих областей использования, в том числе и для высокотехнологичных перламутровых пигментов [4]. Апробированные прогнозные ресурсы чешуйчатого мусковита составляют (до глубины 70 м) 840,0 тыс.т по категории P_1 и 1150 тыс.т по категории P_2 (протокол Министерства природных ресурсов РФ от 12.08.2003 г. № 07-11/0347-ПР).

Практический интерес на данном участке представляют кварц-мусковитовые сланцы, составляющие до 90 % от общей массы породы. Минеральные группы показаны в табл.1, а составы мусковитов – в табл.2.

Таблица 1

Минеральные группы метасоматически измененных пород и характеристика мусковита (месторождение Межозерное)

Минеральные группы сланцев	Генерации	Размер чешуек мусковита, мм	Характеристика мусковита
Кварц-мусковитовая	1	0,5-1,7	Цепочки и скопления по трещинам и микротрещинам, ориентирован согласно общей сланцеватости пород, часто в сростании с рудным минералом
	2	0,1-0,5	Разноориентированные скопления мусковита в кварцевом агрегате (мусковит-кварцевая ассоциация)
	3	0,02-0,44	Включения мусковита в зернах плагиоклаза и кварца
Кварц-кианитовая	1	0,5-1,1	Цепочки и скопления по трещинам, ориентированные по сланцеватости, часто в сростании с реликтивными зернами плагиоклаза и кианита, а также рутила
	2	0,1-0,3	Разноориентированные лейсты в кварцевом агрегате
Кварц-мусковитовые с фукситом и биотитом	1	0,1-0,5	Мусковит замещен, наименьшие его содержания в породе

Таблица 2

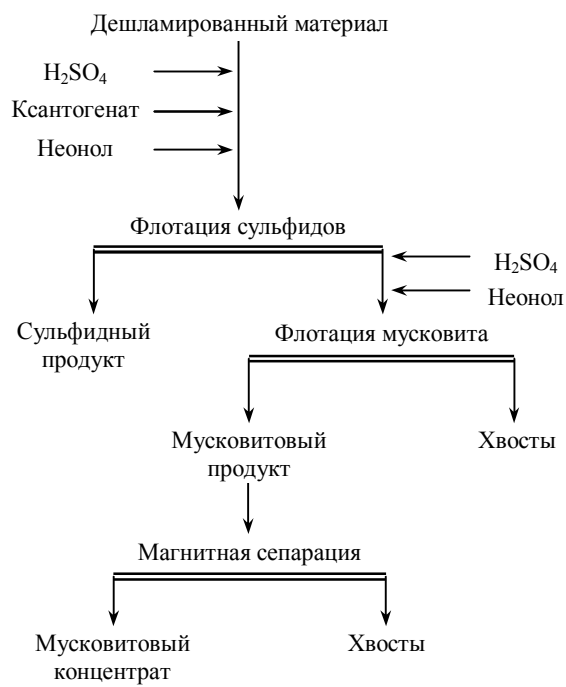
Химический состав мусковита по типам руд, % по массе

Оксиды	Кварц-мусковитовый сланец	Кварц-кианитовый сланец	Кварц-кианит-фукситовый сланец
SiO ₂	47,00	46,00	46,66
TiO ₂	0,65	0,76	0,93
Al ₂ O ₃	34,51	32,74	33,67
Fe ₂ O ₃	0,55	0,68	0,11
FeO	0,23	0,38	0,21
MnO	0,024	0,088	0,040
MgO	1,41	5,27	2,51
CaO	0,14	0,38	0,19
Na ₂ O	1,09	0,92	0,86
K ₂ O	9,34	8,23	9,81
H ₂ O	0,14	0,10	0,09
Сумма	99,75	99,50	99,59

Мусковит серебристо-белый, изредка с зеленоватым оттенком, чешуйчатый, размером 5-7 мм, тонкочешуйчатый и игольчатый, близкий к типу слюды, называемой серицитом. Распределен неравномерно. Содержание мусковита варьирует от 7,8 до 42 % при среднем 18,1 %. Отмечается недостаток Al в четверной и шестерной координации и небольшой избыток Si.

Кварц-мусковитовые сланцы являются комплексными рудами, так как основную минеральную ассоциацию составляют мусковит, кварц, кианит и полевой шпат. Содержание кварца в исходной руде 12,7-68 % при среднем 49,2 %, кианита 2,1-13,6 % при среднем 6,8 %, полевого шпата в среднем 19,1 %.

Сопутствующие минеральные компоненты (кварц и кианит) также представляют практический интерес. Оценена возможность получения кварцевых концентратов из кварц-мусковитовых метасоматитов данного месторождения на основе детального минералогопетрографического изучения пород по образцам керн скважин. С этой целью были выполнены минералоготехнологические исследования хвостов обогащения после получения мусковитового концентрата (100 проб), а затем проведены исследования по глубокому обогащению кварца по двум пробам из керн скважин для отработки комплексной технологии обогащения с получением трех минеральных продуктов – мусковитового, кианитового и



Принципиальная схема флотации мусковита

операцией и двумя перечистками промпродуктов подтвердили предварительные выводы о легкой обогатимости руды (см. рисунок, табл.3).

кварцевого. Разработка технологии извлечения дополнительных продуктов значительно повысит инвестиционную привлекательность объекта в целом.

Гравитационное обогащение осуществлялось на лабораторном концентрационном столе. Оптимальные режимы основного процесса и перечистных операций определялись опытным путем. Изменялись регулировочные параметры концентрационного стола, расход воды и нагрузка. Анализ результатов разделения показывает, что основная гравитация на концентрационном столе позволяет вывести из процесса отвальные хвосты, практически не содержащие мусковит.

Значительная часть мусковита концентрируется в промежуточном продукте как в свободном виде, так и в виде сростков с кварцем. Для повышения извлечения мусковита промпродукты перечищались.

Результаты обогащения руды крупностью 1-0,1 мм по гравитационной схеме с основной

Таблица 3

Свободный баланс результатов обогащения

Продукты	Технологические показатели, %		
	Выход	Содержание мусковита	Извлечение мусковита
Мусковитовый концентрат	28,97	96,05	84,96
Тонкий мусковитсодержащий слив (0,1 мм)	3,22	54,62	5,37
Промпродукт	4,58	7,58	1,06
Кианитовый продукт	2,37	0	0
Хвосты гравитации	47,82	1,33	1,94
Шлам	13,07	16,71	6,67
Исходная руда	100	32,75	100

По результатам обогащения 102 проб, отобранных по семи скважинам, установлено, что мусковит по содержанию железа можно условно разделить на три группы: 1) содержание $Fe_2O_3 < 0,2\%$ (5 % проб); 2) $Fe_2O_3 = 0,2 \div 1,0\%$ (67 % проб); 3) $Fe_2O_3 > 1,0\%$ (28 % проб). Пробы первой группы представлены мусковитом, в котором элементарная ячейка с межплоскостным расстоянием $d_{060} = 1,499$ имеет показатель $b = 9,00$, что соответствует обычному мусковиту. При увеличении содержания железа и магния в мусковите возможно развитие минералов изоморфного ряда, вплоть до флогопита ($d_{060} = 1,522$, $b = 9,13$).

Минералогический анализ хвостов показал, что фракция хвостов крупностью 0,315-0,1 мм, составляющая 34,09 %, не содержит мусковита. Фракция крупнее 0,315 мм в основной массе представлена сростками кварца с полевым шпатом и кварца с кианитом. Единичные сростки содержат тонкочешуйчатую слюду. Мусковит в сростках не превышает 1 %; содержание мусковита в свободном виде 1 %.

Кроме сростков кварца с кианитом, полевым шпатом отмечается наличие тонких включений в кварце темноцветных минералов.

Эксперименты по получению чистого кварца из хвостов различной крупности подтверждают выводы, полученные в опытах на мономинеральных фракциях, показавших, что флотационное разделение на мономинеральные фракции кварца, кианита и плагиоклаза эффективно только при крупности материала с верхним пределом 0,16 мм. Получение чистого кварца из хвостов крупностью 1-0,1 мм затруднено из-за большого количества нераскрытых сростков кварца с другими минералами. Из хвостов крупностью 0,4-0,1 мм по сложной многоступенчатой схеме глубокого обогащения можно получить чистый кварц, но максимальное количество его не превысит 15 % [2].

Кроме того, объект расположен в благоприятных горно-геологических (практически нулевая вскрыша, хорошая обогатимость руд, возможность комплексного использования за счет второго продукта – чистого кварца) и географо-экономических (близость к райцентру с развитой транспортно-энергетической инфраструктурой) условиях.

В связи с возможным перспективным освоением Восточной Хизоваары отметим, что материалы Петербургского международного экономического форума 2014 г. подтвердили заинтересованность ряда зарубежных стран в расширении экономического сотрудничества с Северо-Западом РФ в области природопользования. Эти материалы позволяют вернуться к маркетинговым проработкам Управления Департамента по недропользованию СЗ ФО Республики Карелия по Восточной Хизовааре [3]. Обновление их будет способствовать оживлению рыночной ситуации в Карелии.

Выводы

1. По степени комплексной и детальной объемной изученности Беломорская пегматитовая провинция не уступает другим крупнейшим горнопромышленным объектам жильного типа в восточной части Фенноскандинавского щита. Однако полученные здесь разнообразные геологические материалы и опыт проведения масштабных геолого-геофизических работ должным образом не обобщены и не проанализированы. В частности, это касается вопросов геометризации жильных полей и оценки оптимального вертикального размаха пегматитогенеза в Беломорской провинции.

2. Месторождение Межозерное является перспективным объектом на добычу маложелезистого чешуйчатого мусковита. Получение дополнительной товарной кварцевой продукции из отходов обогащения мусковита и вовлечение в сферу попутного производства песков кварцевого продукта позволит организовать на базе месторождения безотходное производство и уменьшить расходы на поддержание отвального и хвостового хозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беломорский комплекс Северной Карелии и юго-запада Кольского полуострова (геология и пегматитоносность) / К.А.Шуркин, Н.В.Горлов, М.Е.Салье и др. Л.: Наука, 1962. 306 с. (Тр. ЛАГЕД АН СССР. Вып.14).
2. Данилевская Л.А. Мусковитовые метасоматиты месторождения Восточная Хизоваара как нетрадиционный источник кварцевого сырья / Л.А.Данилевская, Л.С.Скамницкая // Разведка и охрана недр. 2012. № 6. С.60-65.
3. Минерально-сырьевая база Республики Карелия / Отв. ред. В.П.Михайлов и В.Н.Аминов. Петрозаводск: Карелия, 2006. Кн.2. 355 с.
4. Мусковитовые кварциты Карелии – новый промышленный тип слюдяного сырья / В.В.Щипцов, Л.С.Скамницкая, Т.П.Бубнова, Л.А.Данилевская, В.С.Родионов // Геология полезных ископаемых Карелии. 2003. Вып.6. С.67-77.
5. Руденко Д.Г. Неметаллы. Слюда-мусковит // Недра Северо-Запада Российской Федерации / ВСЕГЕИ. СПб, 2003. С.207-210.
6. Слюда: Справочник. М.: ЗАО «Геоформарк», 1997. 44 с.
7. Ткачев А.В. Сырьевая база мусковита: особенности и перспективы развития / А.В.Ткачев, Н.А.Щербаков, Т.А.Щербакова // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2002. № 2. С.10-17.

8. Щипцов В.В. Минералого-петрографические особенности кварц-мусковитовых сланцев месторождения Восточная Хизоваара (северная Карелия) и их обогатимость / В.В.Щипцов, Л.С.Скамницкая, Т.П.Бубнова // Материалы IV конгресса обогатителей стран СНГ. М.: Альтекс, 2003. Т.2. С.240-242.
9. Mica (Natural). Mineral Commodity summaries / U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2015. P.104-105.

REFERENCES

1. Shurkin K.A., Gorlov N.V., Sal'e M.E. et al. Belomorskii kompleks Severnoi Karelii i yugo-zapada Kol'skogo poluostrova (geologiya i pegmatitono-snost') (*Belomorskiy complex in Northern Karelia and southwestern Kola Peninsula (geology and pegmatite content)*). Leningrad: Nauka, 1962, p.306. (Tr. LAGED AN SSSR. Iss.14).
2. Danilevskaya L.A., Scamnitskaya L.S. Muskovitovye metasomatity mestorozhdeniya Vostochnaya Khizovaara kak netraditsionnyi istochnik kvartsevoogo syr'ya (*Muscovite metasomatic deposits Eastern Hizovara as a non-traditional sources of quartz*). Razvedka i okhrana neдр. 2012. N 6, p.60-65.
3. Mineral'no-syr'evaya baza Respubliki Kareliya (*Mineral and raw materials base of the Republic of Karelia*). Editors V.P.Mikhailov and V.N.Aminov. Petrozavodsk: Kareliya, 2006. Kn.2, p.355.
4. Shchiptsov V.V., Skamnitskaya L.S., Bubnova T.P., Danilevskaya L.A., Rodionov V.S. Muskovitovye kvartsity Karelii – novyi promyshlennyy tip slyudyanogo syr'ya (*Muscovite quartzite of Karelia – new industrial type of mica raw materials*). Geologiya poleznykh iskopaemykh Karelii. Iss.6. 2003, p.67-77.
5. Rudenko D.G. Nemetally. Slyuda-muskovit (*Nonmetals. Muscovite mica*). Nedra Severo-Zapada Rossiiskoi Federatsii. VSEGEI. St Petersburg, 2003, p.207-210.
6. Slyuda (*Mica*). Moscow: ZAO «Geoiformark», 1997, p.44.
7. Tkachev A.V., Shcherbakov N.A., Shcherbakova T.A. Syr'evaya baza muskovita: osobennosti i perspektivy razvitiya (*Raw materials base of muscovite: specific features and development prospects*). Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie. 2002. N 2, p.10-17.
8. Shchiptsov V.V., Skamnitskaya L.S., Bubnova T.P. Mineralogo-petrograficheskie osobennosti kvarts-muskovitovykh slantsev mestorozhdeniya Vostochnaya Khizovaara (severnaya Kareliya) i ikh obogatimost' (*Mineralogical and petrographic characteristics of quartz-muscovite schist deposits Hizovaara (East-North Karelia) and washability*). Materialy IV kongressa obogatitelei stran SNG. Moscow: Al'teks, 2003. Vol.2, p.240-242.
9. Mica (Natural). Mineral Commodity summaries / U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2015. p.104-105.

CRISIS IN MICA PRODUCTION INDUSTRY OF THE BELOMORSKAYA PEGMATITE PROVINCE AND PERSPECTIVE OF ITS OVERCOMING

N.D.MALOV, *PhD in Geological & Mineral Sciences, geologist, nelli.malova2010@yandex.ru*
JSC «Sevzapgeologia», St Petersburg, Russia

V.V.SHCHIPTSOV, *Dr. of Geological & Mineral Sciences, Director, shchipts@krc.karelia.ru*
Institute of Geology Karelian Research Centre, RAS, Petrozavodsk, Russia

The crisis of the Belomorian pegmatite province mica sector and perspectives of its overcoming causes and consequences of the mica sector crisis in the North-West Belomorie related to studies and a production of lamellar micaceous pegmatite is discussed. The alternative importance of the unique deposit in the Mezhozernoe (Eastern Hizovaara, Northern Karelia) – primary source of scarceness lamellar light mica is confirmed. The results of mineralogical and technological researches show that it is a promising target for mining and processing a small ferrous flake muscovite.

Key words: mica, market requirements, geological, technological and geophysical studies, alternative target.