

## Россыпной технический гранат – новый вид минерального сырья Мурманской области

Петров С.В.<sup>1,5</sup>, Казанов О.В.<sup>2</sup>, Гончаров С.В.<sup>3</sup>, Бакаев Г.Ф.<sup>4</sup>, Бороздин А.П.<sup>5</sup>, Пославский С.В.<sup>6</sup>, Пестриков А.А.<sup>3</sup>, Кондратюк В.А.<sup>5</sup>, Шелухина Ю.С.<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, petrov64@gmail.com

<sup>2</sup> Всероссийский институт минерального сырья, Москва

<sup>3</sup> ООО «Инжиниринг минеральных ресурсов», Санкт-Петербург

<sup>4</sup> ОАО «Центрально-Кольская экспедиция», Мончегорск

<sup>5</sup> ООО «Лаборатория изучения минерального сырья», Санкт-Петербург

<sup>6</sup> ООО «РГ Минеральная компания», Санкт-Петербург

**Аннотация.** В последние десятилетия активно развиваются новые технологии обработки материалов, связанные с применением абразивных материалов. Особенно активно развивается метод гидроабразивной резки с применением гранатового абразива. В России разведано много коренных месторождений технического гранатового сырья, однако, практически все эти объекты не представляют промышленного интереса по экономическим причинам. В Мурманской области обнаружены новые крупные россыпные проявления гранатосодержащих песков, освоение которых может обеспечить страну высоколиквидным, стратегическим сырьем. В настоящее время в долинах рек Яурийоки и Лотта с разной степенью детальности изучается пять россыпей, общие ресурсы граната в которых оцениваются 8,25 млн т, а ресурсы попутного рутила – около 200 тыс. т. Россыпи технического граната сформировались за счет перемива гранатосодержащих моренных отложений (песчано-супесчаная морена) в условиях внутреннего моря (трансгрессия фолас), сформировавшегося после осташковского оледенения. Коренным источником минерала являются породы лапландского гранулитового пояса.

**Ключевые слова:** россыпные месторождения, технический гранат, абразив.

## Placer technical garnet – a new type of mineral raw materials in the Murmansk region

Petrov S.V.<sup>1,5</sup>, Kazanov O.V.<sup>2</sup>, Goncharov S.V.<sup>3</sup>, Bakaev G.F.<sup>4</sup>, Borozdin A.P.<sup>5</sup>, Poslavsky S.V.<sup>6</sup>, Pestrikov A.A.<sup>3</sup>, Kondratyuk V.A.<sup>5</sup>, Shelukhina Yu.S.<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup> St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, petrov64@gmail.com

<sup>2</sup> All-Russian Institute of Mineral Resources, Moscow

<sup>3</sup> LLC Engineering of Mineral Resources, St. Petersburg

<sup>4</sup> PLC Central Kola Expedition, Monchegorsk

<sup>5</sup> LLC Laboratory for the Study of Mineral Raw Materials, St. Petersburg

<sup>6</sup> LLC «RG Mineral Company», St. Petersburg

**Annotation.** New material processing technologies associated with the use of abrasive materials have been actively developing in recent decades. The method of waterjet cutting with garnet abrasive has been developing particularly actively. In Russia, many primary deposits of technical garnet have been explored, however, almost none of these objects are of industrial interest for economic reasons. In the Murmansk region, new large placer deposits of garnet-containing sand have been discovered, the development of which can provide the country with highly liquid, strategic raw material. Currently, five placer deposits are explored in the valleys of the Yauriyoki and Lotta rivers, total garnet resources are estimated at 8.25 million tons, and associated rutile resources are about 200 thousand tons. The placer of technical garnet was formed due to the rewashing of garnet-containing moraine deposits (sandy-loamy moraine) in the conditions of the inland sea (the folas transgression) formed after the Ostashkov glaciation. The source of the mineral is the rocks of the Lapland granulite belt.

**Key words:** placer deposits, technical garnet, abrasive.

## **Введение**

Гранат широко используется как абразивный материал (Hashish, 1984), в настоящее время добывается более 1.5 млн. тонн этого минерала, прежде всего из россыпных месторождений прибрежно-морского генезиса. Гранатовый абразив находит применение во многих отраслях, но главные области применения следующие:

– очистка поверхностей оборудования, сооружений и материалов струйными агрегатами (в 5-7 раз эффективней кварца, в 2-3.5 раза уменьшается расход материала по сравнению с кварцем, более равномерная обработка поверхностей с увеличением скорости обработки от 1.7 до 5 раз);

– очистка сточных и питьевых вод, вина, масел, нефтепродуктов от механических примесей; гранат обладает более высокой смачиваемостью и фильтрацией по сравнению с кварцем, а также более устойчив при рециклинге;

– гидроабразивная резка различных материалов (алюминий, медь, титан, броневые стали и прочие металлы и сплавы, камень, бетон, стекло, керамика и прочее) под большим давлением (4000 атм.) с помощью воды и гранатового абразивного песка без нагрева и с минимальной толщиной распила до 1 мм при толщине материала до 120 мм.

Среди прочих областей применения – традиционные абразивы, щадящие абразивы и пасты для шлифовки и полировки точной оптики, зеркал, кожи, бумаги, ценных пород дерева; инертный наполнитель, композит при работе с керамикой. Весьма перспективным является возможность применения гранатового концентрата как проппанта для повышения нефтеотдачи пластов в нефтедобывающей промышленности.

Россия является важным потребителем гранатового абразива, в стране работает более 1000 установок гидроабразивной резки, однако весь гранат закупается за рубежом (Австралия, Индия, ЮАР, Китай).

## **История исследований**

В восточной части Мурманской области на территории Западных Кейв между оз. Сейявр и Сахарьок еще в первой половине XX века выявлены пять крупнейших в мире комплексных кианитовых месторождений с суммарными запасами попутного технического граната в коренном залегании до глубины 20-50 м в количестве 2.7 млн. т. Однако из-за недоразвитости инфраструктуры эти месторождения пока не представляют промышленного интереса.

**В начале 60-х гг.**, в западной части Мурманской области при проведении поисковых работ масштаба 1:25000 на молибден и другие редкие металлы обнаружены повышенные концентрации россыпного граната и рутила в рыхлых отложениях долины реки Юрийоки (М.И. Дубровский, 1963).

**В 2002-2004 гг.** ОАО ЦКЭ провела работы по поискам россыпей технического граната в Западной части Кольского полуострова (Т.В. Петряшова, 2005). На участке Явр (рис. 1), расположенном на правом берегу р. Юрийоки, в межгорной седловине г. Юовв-оайв и г. Учабю-оайв, подсчитаны прогнозные ресурсы граната и рутила:

– для флювиогляциальных песков объемом 5626 тыс. м<sup>3</sup>: граната – 1151 тыс. т и рутила – 22 тыс. т., при среднем содержании граната – 204 кг/м<sup>3</sup>, рутила – 3,9 кг/м<sup>3</sup>;

– для моренных отложений объемом 12684 тыс. м<sup>3</sup>: граната – 2112 тыс. т и рутила – 27 тыс. т., при среднем содержании граната – 166 кг/м<sup>3</sup>, рутила – 2.1 кг/м<sup>3</sup>;

**В 2014 г** сотрудниками ОАО ЦКЭ (О.В. Казанов) и ООО ЛИМС (С.В. Петров) были инициированы ревизионные работы на участке Явр с целью поиска объекта технического россыпного граната с промышленными перспективами.

**Осенью 2014 г** специалистами ОАО ЦКЭ было отобрано 5 проб ледниковых отложений участка Явр массой по 100 кг. Пробы проанализированы в ООО ЛИМС (С.В. Петров, В.А. Мельникова, 2016), где обнаружены высокие устойчивые содержания граната в песках. Среднее содержание граната в пробах составило 282 кг/м<sup>3</sup>, рутила – 6.2 кг/м<sup>3</sup>, циркона – 1.5 кг/м<sup>3</sup>. Получены кондиционные гранатовые концентраты (содержание минерала > 96 мас. %), а также попутные концентраты рутила и циркона.

**В 2015-2016 гг.** выполнен комплекс поисковых работ на участке, расположенном вдоль русла р. Кессемкуетскиййоки (левого притока р. Юриййоки), в результате которых оконтурена крупная россыпь гранатсодержащих песков Явр-2. Оценка ресурсов абразивного сырья этого объекта привела к следующим результатам (ресурсы рутила оценены в 54 тыс. тонн):

– в контуре запасов  $C_2$  5022 тыс. м<sup>3</sup> песков, содержащих 1129 тыс. т граната, при среднем содержании минерала – 225 кг/м<sup>3</sup>;

– в контуре прогнозных ресурсов  $P_1$  4203 тыс. м<sup>3</sup>, содержащих 891 тыс. т граната, при среднем содержании минерала – 212 кг/м<sup>3</sup>.

Таким образом, суммарные ресурсы гранатового абразива в пределах двух проявлений (Явр и Явр-2) в верховьях р. Юриййоки составляют более 5,2 млн т, а ресурсы рутила – более 100 тыс. т.

Тождественность четвертичных отложений в приграничной зоне рек Юриййоки и Лотта позволила спрогнозировать россыпные проявления граната и в долине р.Лотта. В течение **2017-2018 гг.** поисковыми работами была выявлена целая серия россыпепроявлений в этой долине. Первые оценки ресурсного потенциала трёх выявленных россыпей составил более 15 млн. м<sup>3</sup> песков. Ресурсы технического граната оставили (рис. 1): на проявлении Скайтварн 1548 тыс. т, Коллокоски – 723 тыс. т и на проявлении Мадсаш – 695 тыс. т. Содержание минерала в песках, аналогично месторождениям на р. Юриййоки, составило 250-285 кг/м<sup>3</sup>.

### **Геологическое строение**

*Коренные докембрийские породы*, являющиеся источником поступления граната и рутила в россыпи, относятся к лапландскому комплексу гранулитов, представленного в данном случае подкомплексом метасоматических эндербитов состава: диоритов, кварцевых диоритов ( $\delta\epsilon K_2^{21}$ ), тоналитов, гнейсовидных гранулитоподобных мигматит-гранодиоритов гранатсодержащих ( $\gamma\delta\epsilon K_2^{21}$ ), плагиогранитов ( $\rho\eta K_2^{21}$ ). Подчиненную роль играет подкомплекс кислых гранулитов ( $g\eta K_2^{21}$ ), представленный метаморфо-метасоматическими гранат-кварц-полевошпатовыми и силлиманит-гранат-биотит-кварц-полевошпатовыми породами.

Эндербиты диоритового-плагиогранитного состава представляют собой неравномернотекстурированные породы, массивные, нечеткогнейсовидные, гнейсовидные, состоящие из плагиоклаза (40-90 %), ромбического пироксена (до 10-30 %), моноклинного пироксена (0-7 %), кварца (5-30 %), биотита (0-10 %) и бурой роговой обманки (0-10 %), из аксессуарных отмечаются апатит, циркон, титанит. Гранатовые мигматит-гранодиориты в состоят из плагиоклаза (30-80 %), кварца (30-70 %), граната (0-30 %), биотита (0-15 %), силлиманита (0-5 %), кордиерита (0-5 %) из аксессуарных здесь отмечаются рутил, апатит, циркон, титанит. В составе кислых гранулитов преобладают кварц (до 70 %), плагиоклаз (20-70 %), калиевый полевой шпат (5-50 %) и в зависимости разновидности они содержат до 10-20 % граната, первые проценты слюды, магнетита (титаномагнетита), рутила в качестве сагенитовых вростков в кварце, графита (от единичных чешуек до 1 %). Иногда в кислых гранулитах отмечаются линзовидные обособления гранатитов – это среднетекстурированные розовато-серые массивные породы, состоящие преимущественно из граната с характерной сиренево-розовой окраской.

Площадь района почти полностью перекрыта *четвертичными отложениями* (рис. 1). Из четвертичных образований в районе россыпепроявлений граната наибольшим распространением пользуются отложения неоплейстоцена (верхнее звено) и голоцена. Неоплейстоценовые образования представлены ледниковыми отложениями ошастковского оледенения – моренными и флювиогляциальными отложениями, неоплейстоцен-голоценовые образования – аллювиальными, морскими, торфяно-болотными отложениями.

Моренные отложения ( $g\Pi\sigma$ ) практически сплошным чехлом перекрывают кристаллические породы фундамента и представлены супесчаной мореной (количество гравийно-галечного материала 10-60 %, валунов 10-30 %, в отдельных случаях до 50-70 %). Крупнообломочный материал средней степени окатанности и по своему составу в целом отвечает составу подстилающих пород. По данным шлихового опробования (в отчетах К.Д. Беляева, 1956 и Л.И. Увадьева, 1957) в моренных отложениях (в супесчаной составляющей моренных отложений) в пределах развития пород ла-



Рис. 1. Схема распространения четвертичных отложений на западе Мурманской области. Цифрами показаны обнаруженные россыпепроявления: 1 – Явр; 2 – Явр-2; 3 – Скайтварн; 4 – Коллокоски; 5 – Мадсаш. Фрагмент карты с сайта <https://map.mineral.ru>.

Fig. 1. The distribution scheme of the Quaternary sediments in the west of the Murmansk region. The numbers show alluvial detections: 1 – Yavr; 2 – Yavr-2; 3 – Skytevarn; 4 – Kolloskoski; 5 – Madsash. Fragment of the map from <https://map.mineral.ru>

пландского гранулитового комплекса повсеместно присутствует гранат. Достоверных количественных определений содержания граната в моренных отложениях непосредственно в пределах участка на данный момент нет. По аналогии с данными шлихового опробования моренных отложений по шурфам, выполненных на р. Юриййоки (М.И. Дубровский, 1963), содержание граната в них оценивается в среднем около 4 %. Средняя мощность отложений 2.5-3 м.

Водно-ледниковые отложения (fIIIos) формируют, в основном, гряды протяженностью от сотен м до 1-2 км и высотой до 15-20 м, расположенные в долинах ручьев и пониженных частях рельефа. Они залегают непосредственно на моренных отложениях, хотя иногда отмечаются и внутри них. Породы представлены валунно-галечно-гравийно-песчаным материалом (содержание крупнообломочного материала до 20-60 %). Обломочный материал от слабо- до окатанного. Песчаная фракция средне-мелкозернистая, характеризуется грубой сортировкой по крупности, слоистость параллельная, редко пересекающаяся, наклоненная по склонам гряд. Учитывая низкую степень сортировки песчаного материала, не стоит ожидать сколько-нибудь существенной концентрации граната относительно моренных отложений, о чем свидетельствует минералогический анализ единичных проб. Вероятно, среднее содержание граната в водно-ледниковых отложениях будет составлять до 10 %.

Морские отложения (mIIIos-H) отмечаются вдоль русла р. Лотта полосой шириной до 1-2 км (редко до 3 км), перекрывая моренные и, возможно, водно-ледниковые отложения. Верхняя граница распространения морских отложений в пределах участка оценивается порядка 120-130 м. В целом разрез морских отложений снизу вверх выглядит следующим образом (с учётом материалов А.А. Никонова, 1960).

В подошве морских отложений залегают глины (суглинки) синеватого (синевато-серого) цвета с тонкой параллельной горизонтальной слоистостью. Гранат в них не отмечается. Иногда в синевато-



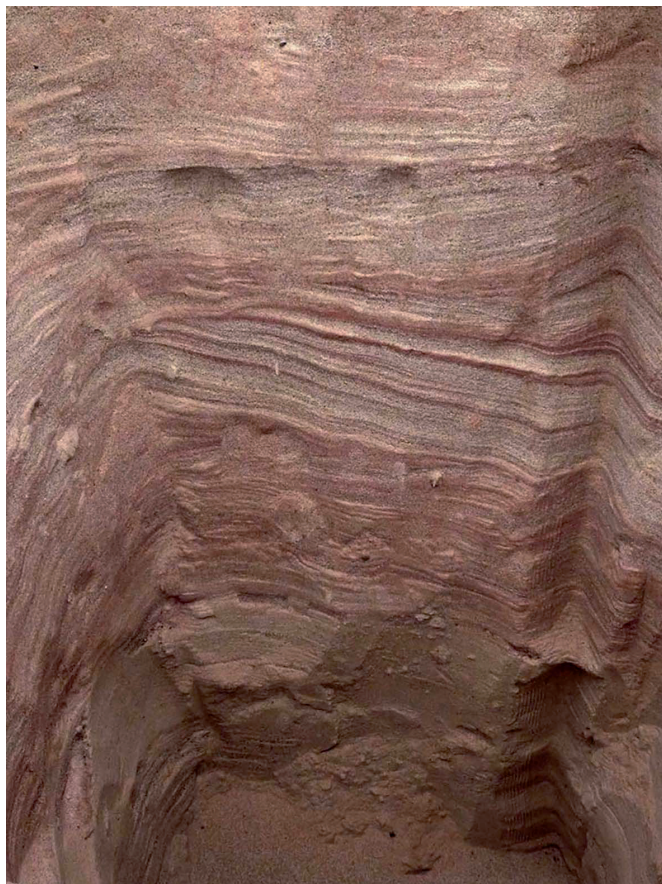


Рис. 2. Слоистость в продуктивных песках, обусловленная отложением граната. Россыпь Скайтварн, р. Лотта, шурф 1.5×1.5×2.2 м.

Fig. 2. Layering in productive sands caused by garnet deposition. Placer Skytevarn, riv. Lotta, prospecting pit 1.5×1.5×2.2 m.

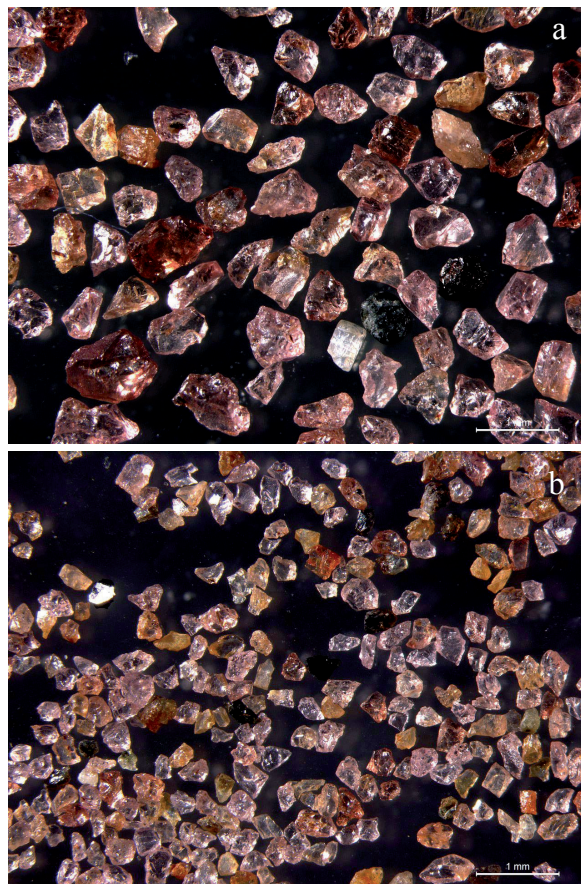


Рис. 3. Гранат россыпи Явр-2, а – фракция -0.8+0.5 мм, б – фракция -0.315+0.18 мм.

Fig. 3. Placer garnet of the Yavr-2 deposit, a – fraction -0.8+0.5 mm, b -0.315+0.18 mm

ватых глинах отмечаются трещины усыхания, выполненные коричневыми суглинками. Мощность глин составляет до 5-6 м в депрессиях. В целом мощность этого горизонта возрастает в направлении устья р. Лотта. Отложения этого горизонта относят к образованиям приледникового бассейна.

Следующий горизонт (отложения трансгрессии португалий) сложен супесями зеленовато-серого, зеленовато-коричневого цвета с тонкой горизонтальной слоистостью. Отмечаются прослои песков тонкозернистых и суглинков зеленовато-коричневых. Гранат в супесях не отмечается, но в прослоях песков вероятно присутствует. Мощность горизонта супесей составляет до 3.5 м (максимальные мощности приурочены к депрессиям). В горизонтах глин и супесей отмечаются разрывные микронарушения с амплитудой до 20-40 см. Плоскости сместителя заполнены песком из перекрывающих песчаных отложений, а в самих песках отмечаются зоны смятия оползневой типа. По кровле горизонта супесей иногда отмечается ожелезнение и единичная галька.

Верхний горизонт морских отложений (отложения трансгрессии фолас) сложен песками мелкозернистыми (изредка до средне-крупнозернистых, редко с незначительным количеством гравия) желтовато-коричневого цвета с прослоями супесей (алевритов?) мощностью до 3.5 м. В песках отмечается косая, волнистая, параллельная горизонтальная слоистость по зерновому составу и плотности минералов. Мощность отдельных прослоев 1-5 мм. В песках присутствуют высокие концентрации граната, что иллюстрируется описанием разрезов по горным выработкам (рис. 2, 3). Ориентируясь на данные шлихового опробования по шурфам в долине рек Яурийоки и Лотта содержание граната в морских песках можно оценить в диапазоне 10-25 % мас. Мощность горизонта песков от первых метров до 10-15 м в пляжевых грядах. Последние отмечаются среди полей развития

морских отложений представляющих собой выположенную поверхность прорезанную водотоками; гряды ориентированы вдоль русла крупных рек и, вероятно, заложены на месте развития моренных и водно-ледниковых гряд. В долине р. Яурийоки мощность гранатсодержащих песков оценивается 1.6-9 м, составляя в среднем 4.4 м.

Аллювиальные отложения (аШос-Н) картируются узкой полосой вдоль русла реки Лотта и представлены гранатсодержащими песками и валунно-галечно-гравийно-песчаными отложениями, в зависимости от того какие породы размывались, моренные отложения или морские. Болотные отложения (рН), представлены торфяниками (ориентировочно мощностью до 1 м). Отмечаются вдоль русел ручьев, на пониженных участках рельефа. Залегают на моренных и морских отложениях.

### **Геологическая модель объекта**

Россыпь технического граната сформировалась за счет перемива гранатсодержащих моренных отложений (песчано-супесчаная морена) в условиях внутреннего моря (трансгрессия фолас), сформировавшегося после осташковского оледенения на месте оз. Нотозеро (ныне Верхнетуломское водохранилище).

Формирование россыпи происходило в условиях эстуария (в современном рельефе представлен долиной реки Лотты) береговая линия которого, в условиях низкогорного рельефа изобиловала островами, отмелями и заливами, что усложняло гидродинамическую обстановку в зоне формирования россыпи и соответственно приводило к усложнению ее геологического строения. Основная масса гранатовой минерализации приурочена к верхней части разреза морских отложений, сложенной мелкозернистыми песками с прослоями супесей и алевритов и перекрывается только почвенно-растительным слоем. На возвышенных участках (моренные гряды) гранатовые пески залегают на моренных и водно-ледниковых отложениях, а в депрессиях – на горизонтах супесей (с прослоями песков) и суглинков (морские отложения трансгрессии португалий и приледникового бассейна). Россыпи представляют собой пластообразную субгоризонтальную залежь мощностью от первых метров до 10-15 м в пляжевых грядах, ориентированных вдоль современного русла р. Лотта и сформировавшихся на месте моренных и водно-ледниковых гряд. Верхняя граница распространения морских отложений, составляет, ориентировочно, от 100 м на востоке (нижнее течение р. Лотта) до 130 м в пределах лицензионного участка. Подобное изменение высотных отметок границы распространения морских отложений ряд исследователей связывает с неотектоническими движениями. Ожидаемая протяженность россыпей по простиранию 1.5-4 км при ширине 500-1000 м.

### **Гранат**

Состав минерала отвечает изоморфному ряду альмандин (52 %) – пироп (42 %) – гроссулярового (6 %) (рис. 3). Установлены две разновидности: розовато-фиолетовая и оранжево-желтая. Гранат обладает парамагнитными свойствами и извлекается в слабомагнитную фракцию, вместе с гранатом извлекаются амфиболы, пироксены и ильменит. Окатанность зерен весьма слабая (1-2 балла), максимальные размеры свободных частиц граната в пробах достигают 2-3 мм, а во фракции  $-0.4+0.2$  мм содержится почти 75 % граната, а во фракции  $-0.5+0.14$  мм – более 90 % минерала. Средневзвешенный размер зерна песка в пробах составляет от 0.39 мм до 0.49 мм. Отмечается увеличение зернистости песка прямопропорционально росту содержания граната (коэффициент корреляции 0.68). Прямые испытания гидроабразивной резки граната (россыпь Явр-2) продемонстрировали превосходные характеристики, как по скорости резки различных материалов, так и по качеству отрезанной поверхности.

### **Выводы**

Анализ геологических данных о россыпепроявлениях технического граната в долинах рек Яурийоки и Лотта позволяет предполагать наличие в Мурманской области новых крупных месторождений этого сырья. Данные объекты могут полностью обеспечить ценным стратегическим сырьем предприятия Российской Федерации и быть конкурентными на международном рынке.

## Литература

1. Беляев К.Д. Отчет Яврозерской партии о работах в бассейнах рек Лоты, Явр, Кацким в 1955г. (Печенгском и Кольском районах Мурманской области). СЗГУ ККЭ. Апатиты. 1956. Мурманский филиал ФБУ «ТФГИ по СЗФО». Инв. № 342.
2. Дубровский М.И. Отчет о результатах геолого-поисковых работ на молибден и другие редкие металлы проведенных в 1961-1962 гг. в Печенгском р-не Мурманской обл. СЗГУ. Ленинград. 1963. Мурманский филиал ФБУ «ТФГИ по СЗФО». Инв. № 510.
3. Мельникова В.А. Особенности технологической оценки гранатового сырья. Магистерская диссертация. Институт наук о Земле. СПбГУ. 2016.
4. Никонов А.А. Закономерности формирования четвертичных (антропогенных) образований на западе Кольского п-ова (бассейн р Лотты). ГИ КНЦ РАН. Апатиты. 1960. Мурманский филиал ФБУ «ТФГИ по СЗФО». Инв. № 686.
5. Петряшова Т.В. Информационный отчет о результатах поисков россыпей технического граната в западной и центральной частях Кольского полуострова (участки Явр, Гора Лысая, Пулозеро) в 2001-2004 гг. ОАО «ЦКЭ». Мончегорск. 2005. Мурманский филиал ФБУ «ТФГИ по СЗФО». Инв. № 6243.
6. Увадьев Л.И. Отчет о поисково-съёмочных работах, проведенных Верхне-Лоттинской партией в районе озер Вуернис-яур и Мадсаш-яур в 1956 г. СЗГУ ККЭ. Апатиты. 1957. Мурманский филиал ФБУ «ТФГИ по СЗФО». Инв. № 561.
7. Hashish M. A modeling study of metal cutting with abrasive waterjets //J. Eng. Mater. Technol. 1984. V. 106. P. 88–100.