

УДК 549.08:622.7

## **ИСТОЧНИКИ АНОМАЛЬНО ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ТАНТАЛА, БЕРИЛЛИЯ И ИТТРИЕВОЗЕМЕЛЬНЫХ РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ: ПРОМЫШЛЕННАЯ ЦЕННОСТЬ И ЗАДАЧИ ПОИСКОВ**

**Г. Б. Мелентьев**

*Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия*

Приводятся результаты минералого-геохимических исследований и оценки эффективности небольших, но богатых танталом, бериллием и иттриевоземельными металлами пегматитовых месторождений различно специализированных гранитных интрузий. В одном из них профилирующие промышленно-ценные минералы представлены танталитом, колумбит-танталитом и бериллом (Восточный Казахстан), в другом – Pb-микролитом, пирохлором, иттрофлюоритом и другими концентраторами редкоземельных металлов средне-тяжелой группы (Кольский регион). Редкометалльные пегматиты первого месторождения были отработаны горно-обогатительным комбинатом с высокой экономической рентабельностью, в то время как редкоземельно-редкометалльные пегматоиды второго остались недоразведанными и недоизученными. Примеры этих месторождений могут служить эталонами объектов поисков, геологоразведки и ускоренного освоения без капитального строительства в условиях возрождения и развития отечественных редкометалльных производств.

**Ключевые слова:** редкометалльные пегматиты; высокая концентрация; тантал; бериллий; иттриевоземельные металлы; промышленная ценность; поиски.

### **G. B. Melent'ev. SOURCES OF ABNORMALLY HIGH CONCENTRATIONS OF TANTALUM, BERYLLIUM, AND YTTRIUM-EARTH RARE METALS: COMMERCIAL VALUE AND SEARCH PROBLEMATICS**

The results of mineralogical and geochemical studies and evaluations of the efficiency of small but rich in tantalum, beryllium and yttrium-earth metals pegmatite deposits in granite intrusions of various specializations are reported. Major commercially valuable minerals in one of them are represented by tantalite, columbite-tantalite and beryl (East Kazakhstan), and in the other by Pb-microlite, pyrochlore, yttrifluorite and other concentrators of rare-earth metals of the medium-heavy group (Kola region). The rare-metal pegmatites of the first deposit were extracted by a mining and processing plant with high profitability, while the rare-earth and rare-metal pegmatoids of the second deposit remained underexplored and understudied. These deposits can serve as showcases of prospecting, exploration and accelerated mining without major construction in the context of the revival and development of the domestic rare-metal industry.

**Keywords:** rare-metal pegmatites; high concentration; tantalum; beryllium; yttrium-earth metals; commercial value; searches.

## Введение

В период активизации обсуждения приоритетных направлений возрождения и развития в России производств редких металлов [Мелентьев, 2011, 2014а] представляется целесообразным привлечь внимание геологов-поисковиков, минералогов, технологов и инвесторов к небольшим, но инвестиционно привлекательным месторождениям редкометалльных пегматитов, которые аномально обогащены танталом, бериллием и иттриевоземельными металлами. По совокупности причин в условиях распада СССР и почти 30-летнего «переходного периода» производство тантала осуществляется исключительно на базе ОАО «Соликамский магниевый завод», а «Ловозерский ГОК» выпускает лопаритовый концентрат (Ta, Nb, TR, Ti) в значительно меньших количествах сравнительно с его выпуском в СССР как из лопаритовых, так и из собственно танталовых концентратов, производившихся из редкометалльного пегматитового сырья. Подобная же ситуация сложилась за счет переработки профилирующих фенакит-бертрандитовых и сопутствующих берилловых концентратов. Редкоземельная продукция Ловозерско-Соликамского «тандема» отличается лантан-цериевой специализацией, а состояние химико-металлургических переделов не позволяет в настоящее время получать наиболее востребованные сопутствующие иттриевоземельные и тем более индивидуальные компоненты. В этих условиях потребности ОПК и других высокотехнологичных отраслей нашей страны в редких металлах преимущественно удовлетворяются за счет импорта, что представляется недопустимым с позиций экономической и национальной безопасности [Мелентьев, 2011, 2014а, 2017]. Радикальное изменение сложившейся ситуации возможно за счет организации оперативного освоения давно известных редкометалльных месторождений, возобновления приостановленной добычи на некоторых из них и интенсификации поисков новых, в первую очередь логистически доступных, богатых редкими металлами и легкообогащаемых природных и техногенных объектов ускоренного промышленного освоения.

К таким объектам относятся месторождения различно специализированных редкометалльных пегматитов, обнаруживающие пространственно-генетическую связь с интрузиями плюмазитовых или щелочных гранитов. Автором были изучены два месторождения соответствующих типов: Кварцевое в Восточном Казахстане, представленное альбитовым с фторид-

но-литиевыми слюдами и сподуменом инъекционно-жильным типом, и Плоскогорское в Кольском регионе, представленное пегматидными амазонит-альбитовыми с железисто-литиевыми слюдами апофизами интрузии щелочных гранитов. Первое месторождение было оперативно (1971–1975 гг.) выработано Белогорским ГОКом Минцветмета СССР, специализированным на тантал, а второе в 1970–80-х годах служило объектом добычи блокового амазонита ПО «Северкварцсамоцветы», хотя минералогами ГИ КНЦ РАН, геологами «Северкварцсамоцветов» и Мурманской ГРЭ с различных позиций в начале 1980–90-х годов оценивались перспективы этого месторождения ценного поделочного камня, на тантал и иттриевоземельные металлы.

### **Месторождение Кварцевое – пример инвестиционно привлекательного объекта ускоренного промышленного освоения на тантал и бериллий**

Месторождение локализовано в зоне северо-западного выклинивания Калбинского пегматитового пояса, простирающегося с ЮВ на СЗ более чем на 300 км и связанного со сложно дифференцированным гранитным батолитом, приуроченным к системе разломов Прииртышского левобережья [Мелентьев, Айздерзис, 1978]. Несмотря на значительную удаленность от Белогорского ГОКа (более 200 км), который долгие годы эксплуатировал месторождения редкометалльных гранитных пегматитов Центральной Калбы на тантал с сопутствующими ниобием, бериллием и оловом, а также молотыми нерудными концентратами, месторождение Кварцевое было вовлечено в отработку с геолого-экономической эффективностью, превысившей традиционную для центральных плано-убыточных месторождений. Это было обусловлено отработкой нового объекта с поверхности карьером, высоким содержанием тантала как профилирующего полезного компонента и легкой обогатимостью редкометалльного сырья по упрощенной гравитационной схеме на существующей обогатительной фабрике, что компенсировало логистические расходы на автотранспорт. Следует заметить, что среднее содержание тантала в рудах центральных месторождений Калбы не превышало 60–70 г/т при соотношении  $Ta_2O_5/Nb_2O_5 = 1-1,5$ , в то время как в пегматитах месторождения Кварцевое в среднем оно составляло 96 г/т при соотношении  $Ta_2O_5/Nb_2O_5 \geq 2$ . Товарный танталовый концентрат с Кварцевого содержал 40,9 %  $Ta_2O_5$  и 15,9 %

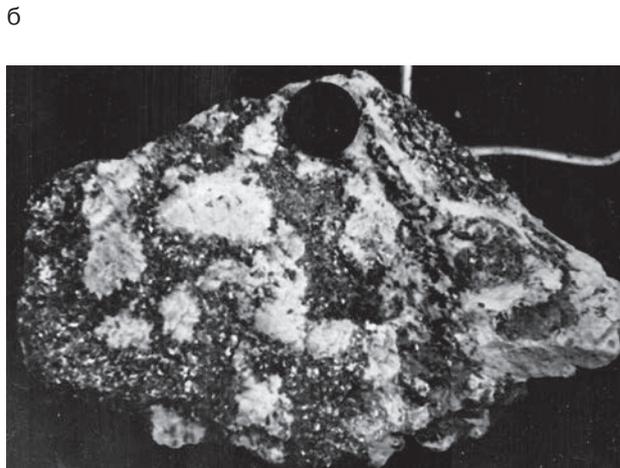


Рис. 1. Берилл в кварц-альбитовом комплексе (а) и максимально продуктивный на тантал и бериллий кварц-альбит-литиевослюдистый комплекс (б) (месторождение Кварцевое)

Fig. 1. Beryl in the quartz-albite complex (a) and the most productive for tantalum and beryllium quartz-albite-lithium-micaceous complex (b) (Kvartsevoye (Quartz) deposit)

$Nb_2O_5$  и по своей высокой сортности значительно превышал не только основную продукцию БГОКа, но и танталсодержащие продукты бывшего СССР: колумбит-танталитовые из редкометалльных пегматитов и гранитов Восточного Забайкалья и тем более лопаритовые Ловозера (0,62–0,77 %  $Ta_2O_5$  и 8–12,8 %  $Nb_2O_5$ ).

Высокая степень концентрации тантала, как абсолютная, так и относительно ниобия, обусловлена многократной направленной дифференциацией исходных гранит-пегматитовых расплавов [Мелентьев, Айздерзис, 1978] в пределах гранитных интрузивов – до остаточных лейкократовых сателлитово-жильных фаз и фаций в дайково-жильном комплексе двуслюдяных и мусковитовых гранит-пегматит-аплитов, в жильных пегматитовых инъекциях и их редкометалльных производных и, наконец, в объеме последних, представленных на месторождении Кварцевом аномально продуктивной жилой Главной.

Для жилы Главной, представляющей месторождение, характерны линзовидная форма, длина по простиранию 700 м, средняя мощность 21 м при максимальной 48 м и участково-зональное внутреннее строение. По падению (к ЮЗ – от вертикального до 30°, с выполаживанием и изгибом) жила прослежена на 200–300 м. Продуктивная жила залегает в сателлите – выступе на дневную поверхность биотитовых – двуслюдяных лейкогранитов и приурочена к висячему боку жильной серии мусковитовых аплит-пегматитов. Краевые зоны продуктивной пегматитовой жилы представле-

ны участково-полосчатыми пегматит-аплитами с каплевидным («гороховым») кварцем и с различно ориентированными ксенолитами гранит-аплитов. Преобладающий объем жилы Главной выполнен мелкокристаллическим кварц-альбитовым комплексом с редкими участковыми обособлениями блокового микроклина, кварц-мусковитового и значительно реже кварц-сподуменового комплексов. Осевая зона, смещенная в сторону висячего бока жилы, выполнена сливным розовым кварцем. К ней примыкает со стороны лежащего бока прерывистая зона максимально продуктивного кварц-альбит-литиевослюдистого («грейзенного») комплекса с крупнокристаллическими танталитом и бериллом (рис. 1, а, б). Линзовидно-полосчатые агрегаты литиевых слюд (до 70 % объема зоны) выделяются в кварц-альбитовой «матрице» зеленовато-коричневым цветом. Содержание ведущих редких металлов в этой наиболее богатой зоне составляет 0,163 %  $Ta_2O_5$  и 0,115 % (до 0,2 %)  $BeO$ , а редких щелочных металлов – 0,1 %  $Li_2O$ , 0,176 %  $Rb_2O$  и 0,029 %  $Cs_2O$ . При этом литий преимущественно сосредоточен в литиевых слюдах и частично – в сподумене (6,4 %), в то время как рубидий – в тех же слюдах и микроклине (0,130 %  $Rb_2O$ ), а цезий, кроме слюд, в микроклине (0,017 %  $Cs_2O$ ). Для состава берилла (11,5 %  $BeO$ ) характерны содержание от 0,4–0,6 %  $Li_2O$  до 0,017 %  $Rb_2O$  и повышенная концентрация  $Cs_2O$  (0,17–0,63 %). Редкометалльная специфика пегматитов месторождения Кварцевое проявлена в гнездовых скоплениях гигантокристал-

лического берилла, что позволило осуществить его ручную выборку при организации поставки на Новосибирский завод редких металлов.

Пример оперативной отработки Белогорским ГОКом Минцветмета СССР запасов редкометалльного пегматитового сырья месторождения Кварцевое является уникальным для нашей страны. На месторождении с запасами 104 тыс. т руды были выделены и переработаны по двухстадийной гравитационной схеме (черновой концентрат и доводка до товарного продукта) два типа сырья: рядовой (60 %) с извлечением тантала в концентрат 65,5 % и богатый (40 %) с извлечением 85 %. При несоизмеримо меньших запасах и объемах переработки редкометалльных пегматитов Кварцевого сравнительно с главными объектами эксплуатации – Бакенным и Белогорским месторождениями Центральной Калбы извлекаемая ценность первых (75 % по танталу) благодаря аномально высокому содержанию профилирующего полезного компонента многократно, согласно расчетам Е. А. Калиш, превосходит ценность сырья главных месторождений: для рядовой руды – в 2,3 раза и для богатой – в 11 раз. Соответственно, добыча и ежегодная переработка ~ 13 тыс. т руды с месторождения Кварцевое и выпуск 8,5 т концентрата (18 % от суммарного по БГОКу) были осуществлены по минимальной себестоимости. Для планомерно-убыточного производства Белогорского ГОКа, который обеспечивал 50 % выпуска танталового продукта в СССР, такая практика позволила обеспечить активное продление жизнедеятельности, имевшей стратегически важное значение.

В условиях новой России приведенный пример свидетельствует об инвестиционной привлекательности подобных редкометалльных месторождений и очевидной актуальности их поисков и разведки.

### **Месторождение Плоскогорское – пример перспективного объекта для ускоренного промышленного освоения на тантал и иттриевоземельные металлы**

Месторождение расположено в пределах Кейвской возвышенности в центральной части Кольского полуострова и приурочено к выходам крупного по площади интрузива щелочных гранитов (3500 км<sup>2</sup>). Для этой территории характерно распространение амазонитсодержащих пегматитов, которые служили объектами ГРП и в исключительных случаях – эксплуатации с 1970 по 1992 гг. на высококачественный амазонит как ювелирно-поделочный камень (месторождения гор Плоской и Парусной). От-

работка пегматитов с блоковым амазонитом осуществлялась ПО «Северкварцсамоцветы» в карьере буровзрывным способом, что обусловило сильную трещиноватость добываемого кондиционного сырья и товарного амазонита. Согласно подсчетам запасов в продуктивном пегматитовом теле Плоскогорского месторождения, количество сортового амазонита составляло 1675,7 т при 47 032,2 т сырца и 33 432,4 т декоративной амазонитовой крошки. В результате отработки указанным способом в карьере образовались объемные отвалы кварц-амазонит-альбитового с железисто-литиевыми слюдами сырья, которые привлекли внимание специалистов содержанием редкометалльных минералов.

До начала 1980-х годов не предпринимались попытки минерально-сырьевой оценки на редкие металлы Плоскогорского месторождения, как и других амазонитсодержащих объектов Кейв. Следует заметить, что минералогии-исследователи различных организаций (А. В. Волошин, И. Д. Батиева, И. В. Бельков, Д. А. Торопов из ГИ КНЦ РАН, А. П. Калита из ИМГРЭ, В. В. Буканов и Ю. О. Липовский от ПО «Северкварцсамоцветы» и др.) в Кейвах, несмотря на труднодоступность этой щелочногранитной провинции (вездеходы, вертолеты, зимники, 80–90 км к востоку от Ловозерского ГОКа), своими открытиями новых минералов сыграли роль высококвалифицированных поисковиков и создали необходимую информационно-аналитическую базу для развития в этом районе поисково-оценочных работ.

В частности, обнаружение А. В. Волошиным и В. В. Букановым в пегматитах г. Плоской плюмбомикролита и плюмбопирохлора [Волошин и др., 1981], т. е. двух промышленно ценных минералов – концентраторов тантала и ниобия, а затем и минералов – концентраторов иттриевоземельных металлов, обусловило необходимость проведения ревизионно-оценочных работ на этом месторождении как потенциально перспективном на редкие металлы. В 1983–1984 гг. в качестве куратора ИМГРЭ Мингео СССР по танталу и ниобию автор по согласованию с отделом цветных и редких металлов министерства, а также геолотделом ПГО «Севзапгеология» и руководством ПО «Северкварцсамоцветы» в Ленинграде выполнил специальные исследования фондовых материалов и непосредственное ознакомление на месте с Плоскогорским месторождением, с отбором проб с поверхности по основным минерально-парагенетическим комплексам, представляющим зональное внутреннее строение наиболее продуктивной жилы Главной (№ 19), и по сква-



Рис. 2. Обособления амазонита в кварц-альбитовом комплексе

Fig. 2. Isolation of amazonite in the quartz-albite complex

жинам, пробуренным для оценки на амазонит на глубину 10–15 м, единичным – до 45–70 м.

Продуктивная жила локализована в биотитовых гнейсах на контакте щелочных гранитов с кейвскими сланцами. На дневной поверхности она прослежена на 200 м при мощности 10–20 м. По данным бурения, с глубиной к восточному флангу мощность продуктивного тела увеличивается до 50–70 м, что позволяет с учетом его падения на север считать ее склонение северо-восточным и, следовательно, западный фланг – фронтальным, т. е. выклиниванием.

Внутреннее строение жилы Главной характеризуется отчетливо проявленной асимметричной зональностью, лейтмотивом которой являются: осевая зона сливного кварца, наиболее протяженные по простиранию две зоны блокового амазонита (рис. 2), краевые и центральная (под кварцевой осевой) кварц-альбитовые зоны. Однако на глубине 10–15 м зоны блокового амазонита выклиниваются, в то время как «матричный» мелкокристаллический кварц-альбитовый (с амазонитом) комплекс становится преобладающим и выполняет весь объем нижних горизонтов продуктивного тела. При этом наблюдается значительное увеличение мощности жилы до 50–70 м, что в целом позволяет рассматривать ее в качестве пегматоидной апофизы не вскрытой эрозией щелочногранитной интрузии с зонами блокового амазонита и кварца в апикальной части (рис. 3).

Еще в 1983 г., до ознакомления с вертикальными разрезами вкрест простирания и по простиранию эксплуатируемой жилы г. Плоской, было очевидно, что с глубиной, в направлении склонения, т. е. к СВ, осевая кварцевая и промежуточные кварц-альбитовые зоны должны выклиниваться, а краевые и осевая кварц-альбитовые зоны объединяться в единую субгоризонтальную рудную залежь. Верхняя крупноблоковая часть жильной апофизы г. Плоской идентифицируется с зоной штокшейдера в месторождениях редкометалльных гранитов; здесь же обнаруживаются элементы ритмичной расслоенности и, наконец, переход к массивным мелкокристаллическим микроклин-альбитовым фациям гранитов.

Таким образом, Плоскогорское месторождение оказывается представленным не пегматитовыми жилами, а пегматоидными апикальными фациями интрузии, продуктивность которых на редкие металлы помимо верхних горизонтов распространяется и на нижние. Справедливости ради надо отметить, что существует и другая точка зрения, согласно которой амазонитовые рандпегматиты являются метасоматитами, не имеющими прямой генетической связи с щелочными гранитами (А. В. Волошин, Ю. П. Меньшиков, Я. А. Пахомовский и др.), но в данной статье автор вне дискуссии выражает только свою позицию по вопросу генезиса.

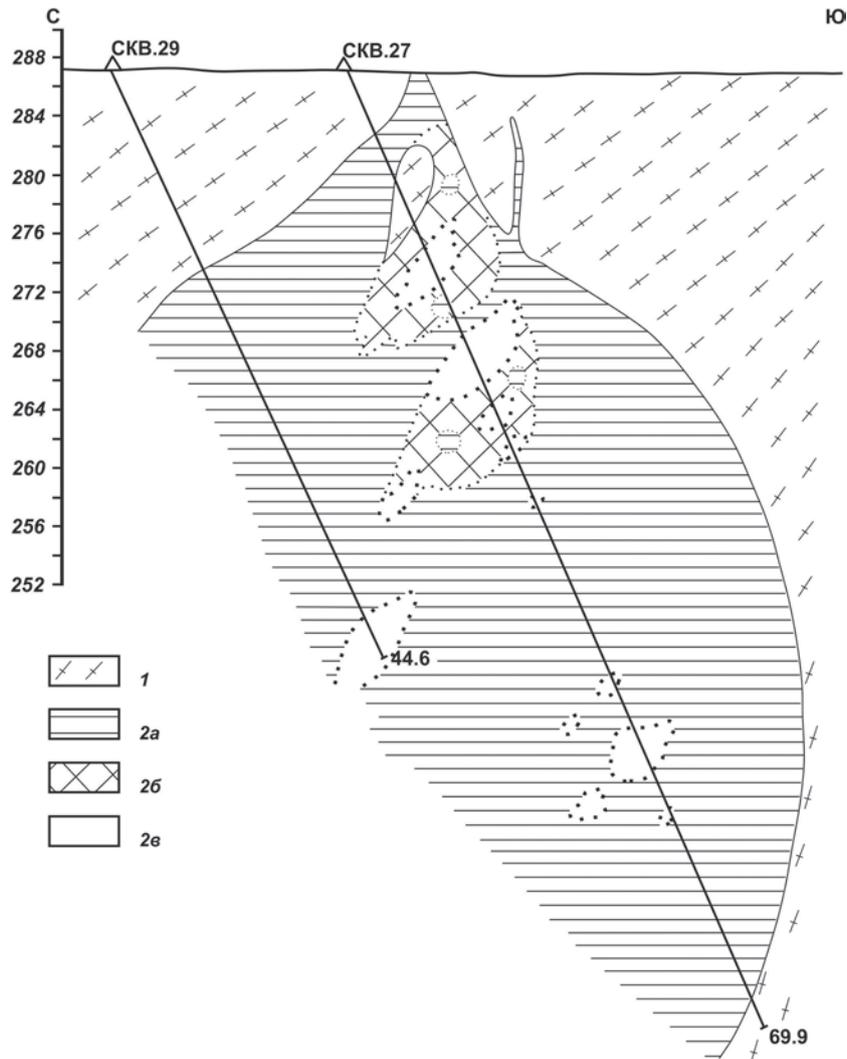


Рис. 3. Увеличение мощности жилы Главной и выклинивание кварц-амазонитовых блоков с глубиной с заменой пегматоидов «матричным» кварц-альбитовым комплексом:

1) вмещающие породы – гнейсы; 2) минеральные комплексы продуктивной амазонит-альбитовой жилы: а) матричный кварц-альбитовый; б) обособления блокового кварц-амазонитового; в) обособления мономинерального кварца

Fig. 3. Increasing of the vein of Glavnaya width and feathering out of quartz-amazonite blocks with depth followed by the pegmatoids replacement with a "matrix" quartz-albite complex:

1) enclosing rocks – gneisses; 2) mineral complexes of a productive amazonite-albite vein: a) matrix quartz-albite; b) separation of block quartz-amazonite; c) isolation of monomineral quartz

Вертикальная зональность щелочногранитных интрузий наиболее отчетливо проявлена в Зашихинском месторождении (В. Саяны, Иркутская обл.), где, согласно исследованиям Ю. М. Учакина (первооткрывателя месторождения), документально подтверждена замена в вертикальном диапазоне продуктивных щелочногранитных фаций на литий-танталовые остаточные плюмазитовые производные:

а) нижняя зона – рибекит-альбит-микроклиновые (с арфведсонитом) граниты; содержание

пентоксидов ниобия и тантала соответственно 0,1 и 0,012 %, циркония – 0,082 %; отношение  $Ta_2O_5/Nb_2O_5$  – 1:12–1:10; основные промышленно ценные минералы – пироклор (364 г/т), тантало-колумбит (239 г/т);

б) средняя зона – микроклин-альбитовые (с рибекитом, биотитом и протолитионитом) граниты; среднее содержание пентоксидов: ниобия и тантала – 0,197 и 0,017 %, циркония – 0,33 %; отношение  $Ta_2O_5/Nb_2O_5$  – 1:10–1:8; основные промышленно ценные минералы – тан-

талоколумбит (854 г/т) и пироклор (464 г/т), минералы циркония и криолит (до 10 %);

в) верхняя зона – микроклин-альбитовые (с литиевыми слюдами и топазом) граниты; среднее содержание пентоксидов ниобия и тантала – 0,17 и 0,02 %, циркония – 0,35 %; отношение  $Ta_2O_5/Nb_2O_5$  – 1:8–1:6; основные промышленно ценные минералы – танталоколумбит (3,37 кг/т), касситерит (273 г/т), пироклор (126 г/т), ильменорутит (292 г/т), флюорит (4,17 кг/т) и минералы циркония;

г) апикальная зона – альбититы (с флюоритом и литиевыми слюдами); среднее содержание пентоксидов ниобия и тантала – 0,19 и 0,05 %, циркония – 0,31 %; отношение  $Ta_2O_5/Nb_2O_5$  – 1:6–1:2; основные промышленно ценные минералы – танталоколумбит (2,83 кг/т), ильменорутит (835 г/т), флюорит (4,17 кг/т) и минералы циркония.

Следует заметить, что шлировидные и линзовидно-полосчатые обособления соседних зон, как правило, встречаются в пределах друг друга; для средней и верхней зон характерны подобные же обособления кварц-топаз-литиевослюдистых «грейзенов»; в верхней и апикальной зонах наряду с микроклином встречается амазонит. В то же время в экзоконтактах интрузии развиты редкометалльные жилы – апофизы кварцевых альбититов, субвулканические фации гранит-порфиров и альбитофиоров, их эруптивные брекчии с флюорит-бериллиевым оруденением (берилл, фенакит, лейкофан, бертрандит) и кварцевые жилы с касситеритом, вольфрамитом и золотом. Все эти данные достаточно убедительно свидетельствуют о магматогенно-ликвационном характере ее внедрения, что обусловило достаточно контрастное распределение ниобия, тантала и других ценных компонентов в вертикальном диапазоне, то есть формирование различных типов руд в пределах фронтальной части интрузии. Принципиально важной с прогнозно-поисковых позиций является локализация бериллиевого оруденения в метасоматически измененной надинтрузивной зоне, танталового – в апикальной и верхней зонах интрузии и, наконец, ниобиевого – в средней и нижней ее зонах.

С другой стороны, для верхних зон интрузии редкометалльных микроклин(амазонит)-альбитовых гранитов, как известно, характерно развитие «штокшейдеров», представленных крупными блоками калиевого полевого шпата, удлиненными и ориентированными по нормали относительно плоскости апикального контакта интрузии. С глубиной эти блоки резко уменьшаются в размерах и сравнительно равномерно распределяются в «цементирующей»

их мелкозернистой кварц-альбитовой (с литиевыми слюдами и топазом) матрице в виде линзовидно-полосчатых обособлений и шлиров, параллельных плоскости апикального контакта интрузии. Обычно эта матрица содержит мелкую вкрапленность минералов тантала, среди которых могут преобладать колумбит-танталит (Орловское м-ние в В. Забайкалье) или микролит (Этыкинское м-ние в В. Забайкалье). С ними ассоциируют акцессорные касситерит и вольфрамит, в меньших количествах – галенит и минералы висмута, наиболее характерные для апикальных эндо- и экзоконтактных фаций таких интрузий, включая альбититовые и кварцевые апофизы.

Специфика внутреннего строения эксплуатируемой жилы Плоскогорского месторождения в плане на дневной поверхности заключается в асимметричной, особенно по простиранию, зональности, расслоенности и наличии миароловых пустот. При этом она сложена крупнокристаллическим кварц-амазонитовым (с альбитом) комплексом не более чем на 2/3, остальной объем выполнен мелкозернистым кварц-альбитовым комплексом и сливным кварцем. В другой разведанной на амазонит жиле г. Парусной эти главные минеральные комплексы выполняют примерно по 50 % объема, образуя зоны, субпараллельные зальбандам и друг другу. При этом в пределах 2/3–3/4 длины по простиранию жилы представлены двумя краевыми (призальбандовыми) и одной осевой (со стороны лежачего бока) кварц-альбититовыми зонами, в то время как две кварц-амазонитовые зоны являются промежуточными; зона сливного кварца также выполняет осевую часть жил. Около 1/3–1/4 длины жил по простиранию, напротив, почти по всей мощности выполнены кварц-амазонитовым комплексом.

Уровни концентрации тантала, ниобия и других редких металлов в рассматриваемой жиле определены автором в нескольких разрезах по мощности, выбранных для глубоких горизонтов (от 30 до 70 м от дневной поверхности) на восточном (скв. 27, 29) и западном (скв. 12) флангах жилы, а на дневной поверхности – в участках вскрытия жилы горными выработками. По указанным скважинам были составлены групповые пробы равномерным пунктирным отбором керна с каждого интервала уходки весом до 20–25 кг каждая. На дневной поверхности также проведено равномерное пунктирно-штуфное опробование по мощности каждой зоны пегматоидного рудного тела. Определение содержания полезных компонентов выполнено количественно-аналитическими и количе-

ственно-минералогическими (шлиховой анализ) методами в лабораториях БГГЭ и МОМГЭ при ИМГРЭ.

Результаты аналитических исследований свидетельствуют о наличии в эксплуатируемой на амазонит жиле г. Плоской промышленных концентраций тантала – 0,036 %  $Ta_2O_5$  по скв. 29 и 0,13 %  $Ta_2O_5$  по скв. 12 при соотношениях его с ниобием 1,13 и 0,76.

Прямыми количественно-минералогическими анализами отобранных проб-протолок установлено, что содержание плумбомикролита при этом варьирует в пределах 100–140 г/т, плумбопирохлора – обычно ниже или достигает 800 г/т. Необходимо также отметить в групповых пробах по скважинам повышенное содержание циркона (от 100 г/т до 1,14 кг/т), иногда скопления торита (до 9,6 кг/т) и уранинита (до 360 г/т), а также флюорита (от 500 г/т до 1,6 кг/т).

Опробованием с поверхности всех зон и минерально-парагенетических комплексов жилы № 19 установлено, что наибольшее содержание плумбомикролита и пирохлора характерно для «альбититовых» зон ее лежачего бока и осевой части: от 300 г/т до 7 кг/т (при максимальном содержании Pb-микролита 2,5 кг/т и пирохлора 5,8 кг/т). Однако и в блоковых амазонитсодержащих зонах их содержание не ниже 100–300 г/т. Сопутствующие промышленно ценные минералы представлены флюоритом, количество которого достигает 2–15 кг/т, цирконом (до 200–500 г/т) и группой наиболее ценных редкоземельно-иттриевых минералов – ксенотимом, черчитом, бастнезитом и др.

Повышенное содержание редких щелочных металлов (до 1,35 %  $Li_2O$ , 0,46 %  $Pb_2O$ , 0,8 %  $Cs_2O$ ) установлено в слюдитовых зонах, фтора – в слюдах и флюоритах и низкое – Be, Sn, Bi, Ag.

Таким образом, результаты впервые выполненного нами в 1983–1984 гг. опробования на редкие металлы эталонной пегматоидной амазонит-альбитовой апофизы щелочных гранитов Кейв на г. Плоской свидетельствуют о принципиальной возможности получения из этих руд коллективных Pb-пирохлорово-микролитовых концентратов с содержанием пентоксида тантала не ниже 20–30 %.

В соответствии с результатами предварительной прогнозной оценки перспективности Плоскогорского месторождения на тантал и ниобий, выполненной автором при поддержке Ловозерского ГОКа на объемно-количественной основе, была составлена служебная записка-рекомендация от ИМГРЭ в ПГО «Севзапгеология» о целесообразности проведения на Плоскогорском месторождении поисково-

оценочных работ с бурением и комплексом геофизических методов в целях переоценки этого объекта в качестве источника редких металлов. В дальнейшем, при подтверждении положительного прогноза, предусматривалось распространение скоординированных научно-производственных работ на остальные проявления амазонитсодержащих пегматитов Кейвской возвышенности, которая представлялась в качестве новой редкоземельно-редкометалльной провинции.

В 1987–1992 гг. геологами ПО «Северкварцсамоцветы» (Ю. О. Липовский и др.) и Мурманской ГРЭ (Н. Я. Юрков и др.) было выполнено опробование накопленных отвалов и новых пробуренных скважин на тантал (с ниобием) и иттрий в целях оценки прогнозных ресурсов. Мурманская ГРЭ по данным опробования 12 скважин определила запасы пегматитовой руды в жильной серии в 400 тыс. т при среднем содержании в керне скважин  $Ta_2O_5$  – 50 г/т,  $Nb_2O_5$  – 28 г/т и  $Y_2O_3$  – 740 г/т. Соответственно, ресурсы  $Ta_2O_5$  составили 19,72 т и  $Y_2O_3$  – 292,4 т. По данным опробования ПО «Северкварцсамоцветы», среднее содержание  $Ta_2O_5$  в жиле Главной составило 650 г/т, а в рудных отвалах – 260–460 г/т при содержании  $Y_2O_3$  соответственно 700 и 810–960 г/т. Ресурсы при глубине подсчета до 15 м от дневной поверхности оценены в 9,2 т  $Ta_2O_5$  и 11,5 т  $Y_2O_3$ .

Сопоставление содержания тантала в керновых пробах МГРЭ и пробах из карьера ПО «Северкварцсамоцветы» свидетельствует о явно заниженном (на порядок) содержании первых, что может быть связано с избирательным истиранием и потерями при бурении скважин крайне хрупких плумбомикролита и плумбопирохлора. В то же время содержание иттрия, связанного с флюоритом, ксенотимом и черчитом, в этих пробах сопоставимо.

Гнездовые скопления плумбомикролита, содержащего, по данным А. В. Волошина, 30,97 %  $Ta_2O_5$ , 14,76 %  $Nb_2O_5$ , 42,16 % PbO и 3,52 %  $SnO_2$ , приурочены к лежачему боку циннвальдит-альбитовой зоны над кварцевым ядром или к контактам с ксенолитами гнейсов. Встречаются как крупные уникальные кристаллы (см. рис. 1), так и кристаллические агрегаты размером от 0,2×0,2×0,1 до 1,5×0,5×0,4 м. Наибольшее количество плумбомикролита наблюдается на западном фланге Главного рудного тела (до 1,3–2,8 кг/т) в ассоциации с плумбопирохлором (до 5,8 кг/т), цирконом (552,08 г/т), ксенотимом (210,81 г/т), черчитом (103,10 г/т) и флюоритом (144 г/т). В процессе опытной добычи из борта карьера было извлечено 25 кг крупнокристаллического плумбомикролита.

На восточном фланге и в центре рудного тела нами установлено меньшее содержание плюмбомикролита и преобладание над ним плюмбопирохлора (110–311 г/т). В начале 1980-х годов Кольская партия ПО «Северкварцсамоцветы» поставила Ловозерскому ГОКу 350 кг ниобий-танталового концентрата, добытого ручным способом из отвалов с отмывкой на железных листах по цене 240 руб./кг при стоимости профилирующего амазонита 400 руб./т.

Особый практический интерес в настоящее время приобретают открытия А. В. Волошиным [2006] в рассматриваемом рудном теле минералов – концентраторов редких металлов иттриевоземельной группы, среди которых крупными размерами выделяются иттрофлюорит ( $\text{Ca,YF}_2$ ) (кристаллы до 10 см) и его скопления – «желваки» и гнезда размером до 0,5–1 м в поперечнике и до 1–2 м по падению. В отличие от широко распространенного мелкокрапленного фиолетового флюорита иттрофлюорит выделяется белым или наиболее характерным лососевым цветом. Содержание в нем  $\text{Y}_2\text{O}_3$  варьирует в пределах 5–13 % (Y – 0,6–3 %, Dy – 0,38 %, Er – 0,42 %, Tm – 0,04 %). С учетом данных микроминералогических исследований А. В. Волошин оценивал проявление иттербиевой аномалии, связанной с ксенотимом и ранее неизвестными минералами кейвиитом и хингтаитом, как уникальное [Волошин, 2006].

Таким образом, Плоскогорское месторождение представляет собой эталон инвестиционной привлекательности иттриевоземельно-танталового сырья, которое по совокупности признаков является характерным для Кейв как новой редкоземельно-редкометалльной провинции, рекомендуемой для системных поисково-оценочных работ.

### **Актуальность специализированных поисков, оперативной геотехнологической оценки и ускоренного промышленного освоения небольших, но богатых месторождений стратегического редкометалльного сырья**

Приведенные примеры небольших, но богатых критически важными редкими металлами месторождений различно специализированных гранитовых формаций представляются эталонными объектами рекомендуемых нами поисково-оценочных работ в пределах пегматитовых провинций Кольского и Карельского регионов, Урала, Горного Алтая, Забайкалья и Дальнего Востока. Необходимость оперативного решения стратегически важных государственных задач возрождения редкометалльных

производств и ликвидации сложившейся зависимости России от импорта товарной редкометалльной продукции ориентирует на ускоренное вовлечение в промышленное использование подобных месторождений со сроками эксплуатации в пределах 5–10 лет. Основными критериями при выборе рекомендуемых объектов поисков, оценки и разведки с организацией их отработки на редкие металлы являются: 1) высокое содержание тантала, бериллия, редкоземельных металлов средне-тяжелой группы, лития и цезия с рубидием, циркония и гафния, скандия, рения и других особо ценных, востребованных ОПК и высокотехнологичными отраслями промышленности компонентов природного минерального сырья и техногенных образований [Мелентьев, 2014б, 2017]; 2) обогатимость исходного сырья и возможность глубокой переработки с применением легкодоступных и высокоэффективных физико-химических методов; 3) логистическая доступность новых объектов недропользования.

В качестве методического пособия при организации поисково-оценочных работ на редкометалльное пегматитовое сырье, помимо традиционных геолого-геофизических методов, может быть предложен сборник специальных разработок научных специалистов ИМГРЭ, выполненных в соответствии с официальным заданием Мингео СССР, и другие публикации [Принципы..., 1978; Мелентьев, Айздерзис, 1980].

Наименее изученной и абсолютно неосвоенной, но потенциально перспективной редкоземельно-редкометалльной провинцией до сих пор остается Кейвский блок в центре Кольского п-ова. Выполненная нами объемно-количественная переоценка перспективности Плоскогорского месторождения амазонита на редкие металлы позволяет оптимистично оценивать редкоземельно-редкометалльные перспективы как этой провинции в целом, так и других участков локализации амазонитсодержащих пегматоидов (Ровгора, Серповидный, Вюнцпахк и др.). Тем более что в объемном выражении рассматриваемые амазонитсодержащие пегматоиды Кейв представляют собой апикальные зоны гребневидных апофиз микроклин-альбитовых фаций гранитных интрузий, не вскрытых эрозией. Об этом на других участках (г. Парусная и др.) свидетельствуют: относительно изометричная в плане (600×600 м), а не линейная конфигурация совокупности их выходов на дневную поверхность, встречное падение жил и незначительные превышения их длины над мощностью. Это позволяет предполагать в целом жильно-штокверковую морфологию апикальных выступов-апофиз щелочно-

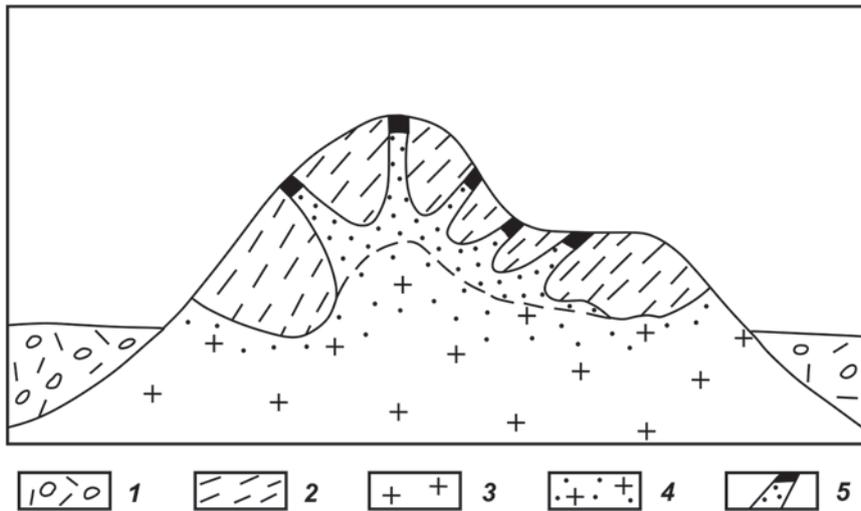


Рис. 4. Принципиальная модель месторождений редкоземельно-редкометалльных амазонит-альбитовых пегматоидов – гребневидных апофиз фронтальных фаций щелочногранитных интрузий Кейвской провинции:

1) четвертичные отложения; 2) гнейсы; 3) щелочные граниты; 4) альбитовые фации щелочных гранитов; 5) пегматоидные кварц-альбитовые с микроклином и амазонитом апофизы щелочных гранитов (продуктивные тела)

Fig. 4. The fundamental model of deposits of rare-earth-rare-metal amazonite-albite pegmatoids of crest-like apophyses of the front facies of alkaline-granite intrusions, the Keivy province:

1) Quaternary deposits; 2) gneiss; 3) alkaline granites; 4) albite facies of alkaline granites; 5) pegmatoid quartz-albite with microcline and amazonite apophyses of alkaline granites (productive bodies)

гранитной интрузии в пределах ее кровли и наличие на глубине субгоризонтальных залежей «альбититов», представляющих собой матричные горизонты амазонитсодержащих пегматоидных апофиз.

Как пространственно-генетические взаимоотношения изученных редкоземельно-редкометалльных пегматитов с выходами на дневную поверхность щелочных гранитов в пределах всей территории Кейв, так и их минералогеохимические особенности свидетельствуют в пользу того, что рудные тела представляют собой непосредственные апофизы щелочногранитных интрузий. Действительно, как правило, жильные тела подобных проявлений либо окаймляют положительные формы рельефа, представляющие собой статистически, по данным предварительного морфоструктурного анализа территории, выступы единого, слабо вскрытого эрозией плутона, либо приурочены к экзоконтактам таких выступов, либо, наконец, непосредственно залегают в щелочных гранитах (жила № 0191 уч. Исакиевский бор). Особое внимание обращают на себя встречные падения жильных пегматоидных тел, обычно приуроченных к приводораздельной части, на противоположных склонах и подобные же азимуты

падения контактов щелочногранитных интрузий, выходы которых на дневную поверхность расположены гипсометрически ниже и вскрываются в современном рельефе только глубокими врезами (рис. 4).

Результаты оперативной обработки богатых бериллиево-танталовых руд в В. Казахстане и опытной добычи новых для Кольского региона минералов-концентраторов тантала (с ниобием) и иттриевоземельных металлов из амазонитсодержащего пегматоидного сырья в Кейвах свидетельствуют о возможностях получения соответствующих концентратов с применением упрощенных схем обогащения, в том числе – с использованием ручной рудо-разборки для гнездовых скоплений крупнокристаллических разностей в процессе проходки. Извлечение из плюмбомикролита главных промышленно ценных компонентов  $Ta_2O_5$  (25,9 %) и  $Nb_2O_5$  (14,4 %) с одновременным устранением  $PbO$  (54,1 %) и радионуклидов в лабораторных условиях решено специалистами ИХТРЭМС КНЦ РАН [Лебедев и др., 2006]. При разложении плюмбомикролита смесью серной и фтороводородной кислот получен достаточно концентрированный (112,4 г/т  $Ta_2O_5$  и 62,5 г/т  $Nb_2O_5$ ) раствор, пригодный для экстракцион-

ного выделения оксидов высокой чистоты. Лимитируемые компоненты PbO и радионуклиды практически полностью концентрируются в осадке. Есть основания полагать, что в этих же целях может быть использована ликвационная плавка флюсованной плюмбомикролитовой шихты в качестве пирохимического передельного метода [Мелентьев, 2014в].

## Заключение

За рубежом селективная выемка особо ценного рудного сырья, в первую очередь редкоземельного, широко известна и практикуется преимущественно в странах Африки и Латинской Америки, причем даже на крупных промышленных месторождениях [Принципы..., 1978]. Селективная добыча высоколиквидного минерального сырья за рубежом облегчается широким, в том числе сетевым, развитием малых форм горно-технологического предпринимательства (МГТП) и соответствующего модульного оборудования, изготавливаемого серийно в мобильных вариантах.

В нашей стране, где горнопромышленный комплекс монополизирован преимущественно крупным бизнесом, сетевая организация МГТП в целях ускоренного освоения необходимых видов сырья с разработками и использованием инновационных технологий пока не получает необходимого развития. В то же время истощение запасов крупных месторождений, эксплуатируемых более полувека с использованием устаревших технологий горной добычи и обогащения, а также очевидная необходимость оперативного обеспечения страны собственным сырьем и металлопродукцией для ускоренного развития высокотехнологичных производств ориентируют на решение рассматриваемой проблемы на государственном уровне, необходимым для поддержки частных инициатив.

*Автор выражает благодарность бывшему главному геологу Белогорского и Ловозерского ГОКов Минцветмета СССР И. Г. Аргамакову за постановку и поддержку выполненных исследований и инженеру-геологу ИМГРЭ Мингео СССР Н. П. Марьяновой за помощь в их проведении.*

## Литература

Волошин А. В. Плоскогорское месторождение (Кейвы, Кольский полуостров) – уникальная иттриевая аномалия // Комплексная переработка нетрадиционного титано-редкометалльного и алюмосиликатного сырья. Современное состояние и пер-

спективы: Материалы междунар. конф., Апатиты, 4–8 апреля 2006 г. Апатиты: КНЦ РАН, 2006. С. 33–36.

Волошин А. В., Буканов В. В., Полежаев Л. И. Плюмбомикролит и плюмбопироксид из амазонитовых пегматитов Кольского полуострова // Минералогический журнал. 1981. Т. 3, № 5. С. 20–34.

Волошин А. В., Пахомовский Я. А. Минералы и эволюция минералообразования в амазонитовых пегматитах Кольского полуострова. Л.: Наука, 1986. 168 с.

Лебедев В. Н., Маслобоева С. М., Волошин А. В., Калинин В. Т., Маслобоев В. А., Мельник Н. А. К переработке плюмбомикролитового концентрата из амазонитового Плоскогорского месторождения // Комплексная переработка нетрадиционного титано-редкометалльного и алюмосиликатного сырья. Современное состояние и перспективы: Материалы междунар. конф., Апатиты, 4–8 апреля 2006 г. Апатиты: КНЦ РАН, 2006. С. 118–121.

Мелентьев Г. Б. Концепция восстановления и развития производств редких металлов в России // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу. М.: ФГУП ВИМИ, 2011. Вып. 4. С. 104–113.

Мелентьев Г. Б. Редкоземельные приоритеты России // Редкие земли. 2014а. № 3. С. 18–32.

Мелентьев Г. Б. Редкометальное импортозамещение – стратегическая задача России // Актуальные вопросы получения и применения РЗМ и РМ – 2017: Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф., Москва, 21–22 июня 2017 г. М.: Гинцветмет, 2017. С. 19–35.

Мелентьев Г. Б. Усреднение состава крупных высококомплесных месторождений или селективная добыча богатого высоколиквидного сырья // Актуальные проблемы, направления и механизмы развития производительных сил Севера: Материалы 4-го Всерос. научн. семинара, Сыктывкар, 24–25 сентября 2014 г. Сыктывкар: ИСЭПС Коми НЦ Уро РАН, 2014б. С. 264–270.

Мелентьев Г. Б. Магматогенно-ликвационная модель редкометального рудообразования и ее прикладные следствия: локализация поисков, перспективная оценка и инновации в геотехнологии // Благородные, редкие и радиоактивные элементы в рудообразующих системах: Материалы Всерос. научн. конф. с междунар. участием, Новосибирск, 24–30 октября 2014. Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2014 в. С. 436–441.

Мелентьев Г. Б., Айздерзис Д. Я. Критерии связи различных типов пегматитов комплексного редкометального и литиевого рядов с гранитами и возможности их использования в практике прогнозирования и поисков // Принципы и методы крупномасштабного прогнозирования редкометальных месторождений. М.: ИМГРЭ АН; Мингео СССР, 1978. С. 27–65.

Мелентьев Г. Б., Айздерзис Д. Я. Современные задачи, новые принципы и методы прогнозирования месторождений собственно танталовых и цезиевых руд // Рудная геохимия и геология магматогенных месторождений. М.: Наука, 1980. С. 118–127.

Принципы и методы крупномасштабного прогнозирования редкометальных месторождений / Отв. ред. В. В. Булдаков, Г. Б. Мелентьев. М.: ИМГРЭ, 1978. 178 с.

Поступила в редакцию 13.09.2019

## References

Lebedev V. N., Masloboeva S. M., Voloshin A. V., Kalinnikov V. T., Masloboev V. A., Mel'nik N. A. K pererabotke plyumbomikrolitovogo kontsentrata iz amazonitovogo Ploskogorskogo mestorozhdeniya [On the processing of plumbomicrocline concentrate from the Ploskogorskoye deposit of amazonite]. *Kompleksnaya pererabotka netraditsionnogo titano-redkometal'nogo i alyumosilikatnogo syr'ya. Sovr. sostoyanie i perspektivy: Mat. mezhdunar. konf., Apatity, 4–8 aprelya 2006 g.* [Complex processing of unconventional titanium-rare-metal and aluminosilicate raw materials. Current status and prospects: Proceed. int. conf., Apatity, April 4–8, 2006]. Apatity: KSC RAS, 2006. P. 118–121.

Melent'ev G. B. Kontsepsiya vosstanovleniya i razvitiya proizvodstv redkikh metallov v Rossii [The concept of restoration and development of rare metals production in Russia]. *Oboronnyi kompleks – nauchno-tekh. progressu* [Defense complex – for scientific and technological progress]. Moscow: FGUP VIMI, 2011. Iss. 4. P. 104–113.

Melent'ev G. B. Redkozemel'nye priorityety Rossii [Rare earth priorities of Russia]. *Redkie zemli* [The Rare Earth Magazine]. 2014a. No. 3. P. 18–32.

Melent'ev G. B. Redkometal'noe importozameshchenie – strategicheskaya zadacha Rossii [Rare-metal import substitution is a strategic task of Russia]. *Aktual'nye voprosy polucheniya i primeneniya RZM i RM – 2017: Sb. mat. mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Moskva, 21–22 iyunya 2017 g.* [Topical issues of obtaining and applying REE and RM – 2017: Proceed. int. sci. pract. conf., Moscow, June 21–22, 2017]. Moscow: Giprotsvetmet, 2017. P. 19–35.

Melent'ev G. B. Usrednenie sostava krupnykh vysokokompleksnykh mestorozhdenii ili selektivnaya dobycha bogatogo vysokolikvidnogo syr'ya [Averaging the composition of large highly complex deposits or selective production of rich highly liquid raw materials]. *Aktual'nye problemy, napravleniya i mekhanizmy razvitiya proizvoditel'nykh sil Severa: Mat. 4-go Vseros. nauchn. seminara, Syktyvkar, 24–25 sent. 2014 g.* [Topical problems, directions, and mechanisms of productive forces development in the North: Proceed. 4<sup>th</sup> All-Russ. sci. seminar, Syktyvkar, Sept. 24–25, 2014]. Syktyvkar: ISPSE, 2014b. P. 264–270.

Melent'ev G. B. Magmatogenno-likvatsionnaya model' redkometal'nogo rudobrazovaniya i ee prikladnye sledstviya: lokalizatsiya poiskov, perspektivnaya otsenka i innovatsii v geotekhnologii [Magmatogene-liquation model of rare-metal ore formation and its applied consequences: localization of searches, prospective assessment, and innovations in geotechnology]. *Blagorodnye, redkie i radioaktivnye elementy v rudobrazuyushchikh sistemakh:*

*Mat. Vseros. nauchn. konf. s mezhdunar. uchastiem, Novosibirsk, 24–30 okt. 2014* [Noble, rare, and radioactive elements in ore-forming systems: Proceed. All-Russ. sci. conf. with int. part., Novosibirsk, Oct. 24–30, 2014]. Novosibirsk: IGM SD RAS, 2014b. P. 436–441.

Melent'ev G. B., Aizderzis D. Ya. Kriterii svyazy razlichnykh tipov pegmatitov kompleksnogo redkometalnogo i litievogo ryadov s granitamy i vozmozhnogo ikh ispolzovaniya v praktike prognozirovaniya i poiskov [Criteria for the relationship between various types of pegmatites of complex rare-metal and lithium series with granites and their possible use in the practice of forecasting and search]. *Printsipy i metody krupnomasshtabnogo prognozirovaniya redkometal'nykh mestorozhdenii* [Principles and methods of large-scale forecasting of rare-metal deposits]. Moscow: IMGRE AN; Mingeo USSR, 1978. P. 27–65.

Melent'ev G. B., Aizderzis D. Ya. Sovremennye zadachi, novye printsipy i metody prognozirovaniya mestorozhdenii sobstvenno tantalovykh i tsezievnykh rud [Modern tasks, new principles and methods for forecasting deposits of tantalum and cesium ores proper]. *Rudnaya geokhimiya i geol. magmatogennykh mestorozhdenii* [Ore geochemistry and geol. of igneous deposits]. Moscow: Nauka, 1980. P. 118–127.

Pryntsipy i metody krupnomasshtabnogo prognozirovaniya redometal'nykh mestorozhdeniy [Principles and methods of large-scale forecasting of rare-metal deposits]. Eds. V. V. Buldakov, G. B. Melentiev. Moscow: IMGRE, 1978. 178 p.

Voloshin A. V. Ploskogorskoe mestorozhdenie (Keivy, Kol'sky poluostrov) – unikal'naya itrievaya anomal'ya [Ploskogorskoye deposit field (Keivy, Kola Peninsula) – a unique yttrium anomaly]. *Kompleksnaya pererabotka netraditsionnogo titano-redkometal'nogo i alyumosilikatnogo syr'ya. Sovr. sostoyanie i perspektivy: Mat. mezhdunar. konf., Apatity, 4–8 aprelya 2006 g.* [Complex processing of unconventional titanium-rare-metal and aluminosilicate raw materials. Current status and prospects: Proceed. int. conf., Apatity, April 4–8, 2006]. Apatity: KSC RAS, 2006. P. 33–36.

Voloshin A. V., Bukanov V. V., Pozhelaev L. I. Plyumbomikrolit i plyumbopirokhlor iz amazonitovykh pegmatitov Kol'skogo poluostrova [Plumbomicrocline and plumbopyrochlor from amazonite pegmatites of the Kola Peninsula]. *Miner. J.* [Mineralogical J.]. 1981. Vol. 3, no. 5. P. 20–34.

Voloshin A. V., Pakhomovsky Ya. A. Mineraly i evolyutsiya mineraloobrazovaniya v amazonitovykh pegmatitakh Kol'skogo poluostrova [Minerals and the evolution of mineral formation in amazonite pegmatites of the Kola Peninsula]. Leningrad: Nauka, 1986. 168 p.

Received September 13, 2019

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

### Мелентьев Гелий Борисович

старший научный сотрудник, к. г.-м. н.  
Объединенный институт высоких температур РАН  
(ОИВТ РАН)  
ул. Ижорская, 2, стр. 2, Москва, Россия, 125412  
эл. почта: melent\_gb@mail.ru  
тел.: (499) 1677931

## CONTRIBUTOR:

### Melent'ev, Geliy

Joint Institute for High Temperatures,  
Russian Academy of Sciences (JIHT RAS)  
2–2 Izhorskaya St., 125412 Moscow, Russia  
e-mail: melent\_gb@mail.ru  
tel.: (499) 1677931