

УДК 553.41:553.261

Перспективы горнодобывающей промышленности в Гренландии

А. В. Волков¹, доктор геолого-минералогических наук,

А. Л. Галямов², кандидат геолого-минералогических наук

ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН

В последние годы интерес горнодобывающей промышленности к минеральным ресурсам Гренландии заметно растет, что сопровождается увеличением объемов финансирования геолого-разведочных и научно-исследовательских работ. В статье показано, что достаточно обширная по площади территория прибрежной зоны Гренландии обладает значительными ресурсами черных, цветных, редких, радиоактивных, благородных металлов и драгоценных камней. Сделаны выводы о перспективных для промышленности типах месторождений. В ближайшем будущем Гренландия может стать ведущим игроком на мировом рынке критических металлов.

Ключевые слова: Гренландия, месторождения, минеральные ресурсы, металлы, редкоземельные элементы, горнодобывающая промышленность.

Введение

Почему Гренландия? Гренландия становится новым рубежом, который знаменует будущее развитие горнодобывающей промышленности в Арктике. Геолого-разведочные работы (ГРР) проводятся в Гренландии во все возрастающих количествах. Они нацелены на широкий круг полезных ископаемых: черные, цветные и драгоценные металлы, уран, редкоземельные элементы (РЗЭ) и драгоценные камни. Количество действующих разведочных лицензий увеличилось в Гренландии по сравнению с 2002 г. более чем в шесть раз (рис. 1).

Причины геолого-разведочной лихорадки в Гренландии заключаются в следующем. Глобальное потепление климата вызвало быстрое таяние ледников, которые отступили в среднем на 25 км, обнажив обширные площади неопределенных горных пород. Правительство Гренландии в последние годы стремится расширить налоговые поступления от развития минерально-сырьевого сектора экономики.

Гренландия как часть Королевства Дания обладает стабильным демократическим устройством с прозрачной системой налогового регулирования и легким доступом в Европейский союз (ЕС), она весьма привлекательна для инвесторов. Недр Гренландии содержат огромные и практически неиспользованные минеральные ресурсы. Изрезанное глубокими и протяженными фьордами побережье острова и практически незамерзающие окружающие моря обеспечивают хорошую транспортную доступность к месторождениям. Вместе с тем заметными препятствиями на пути развития горнодобывающей промышленности в Гренландии служат не только суровый климат, почти полное отсутствие инфраструктуры, Зеленое движение, но и бюрократия ЕС. С одной стороны, ЕС заинтересован в перспективах поставок РЗЭ из месторождений Гренландии, с другой — Брюссель беспокоит экспансия китайских компаний, стремящихся получить доступ к арктическим ресурсам.

Гренландия — самый большой остров на Земле, его площадь составляет 2 166 086 км². Более 86% поверхности занято ледником (рис. 2), который полностью покрывает внутреннюю часть острова и во

¹ e-mail: tma2105@mail.ru.

² e-mail: a-galyamov@yandex.ru.

многих местах выходит к берегу моря. Геологическое развитие Гренландии охватывает период около 4 млрд лет начиная с самого раннего архея до плейстоцена. Хотя центральная часть Гренландии покрыта обширным ледяным панцирем, сохранившимся от последнего ледникового периода, свободная ото льда зона вокруг ледника достигает до 300 км в ширину и занимает площадь 410 000 км². Сползание ледников обнажило большие ареалы горных пород, которые стали доступны для поисковых ГРП по всей периферии острова. В то же время таяние снега и льда во внутренних частях ледяного покрова создает потенциал для производства дешевой гидроэлектрической энергии. Великолепная по геологическим меркам обнаженность значительно удешевляет ГРП. Здесь широкое применение находят различные геофизические и спектроскопические дистанционные съемки.

Не покрытые льдом прибрежные районы Гренландии — продолжение Канадского докембрийского щита, они вмещают несколько металлогенических поясов, весьма перспективных, как показывают текущие ГРП, для поисков золота, никеля, элементов платиновой группы, меди, свинца, цинка, молибдена, тантала и ниобия, железной руды, хрома, ванадия, титана, урана, многочисленных промышленных минералов, алмазов, рубинов, сапфиров и редкоземельных элементов.

Исторически в Гренландии существовало несколько рудников. Между 1854 и 1987 гг. криолит (гексафтороалюминат натрия) добывался на месторождении Ивитут. Медный рудник работал с 1904 до 1915 гг. на месторождении Жосва. Кроме того, медь и серебро добывались из шахты Король Фредерик с 1851 по 1912 гг., а урановый рудник Кванефельд работал между 1958 и 1980 гг.

В Гренландии была даже добыча графита, вызванная нуждами Первой мировой войны. Рудник

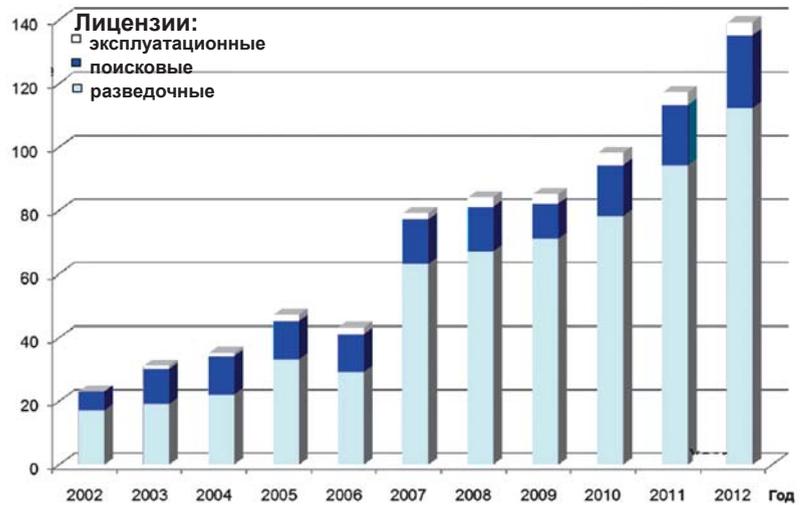


Рис. 1. Динамика геолого-разведочных и эксплуатационных лицензий в Гренландии (http://www.geus.dk/geus-general/announcements/3_Anette_Status_on_exploration_in_Greenland_Dec_2013.pdf)

Амитсок с 1915 по 1924 гг. произвел 6000 т графита. На месторождении остались запасы в 250 000 т графита при среднем содержании 20%. В прошлом веке осуществлялась отработка свинцово-цинковых месторождений Местервик, Блэк Анджел и Иннатсуак. С 2004 г. добыча золота ведется на руднике Налунак. В настоящее время вклад горнодобывающей промышленности в ВВП Гренландии невелик и составляет всего 7%⁶.

Данная публикация продолжает серию статей [1—5], посвященных минеральным ресурсам Арктики и подготовленных в ходе реализации проекта Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ РАН) «Разработка научных основ новой технологии прогнозирования месторождений стратегических видов минерального сырья (цветных, редких и благородных металлов) Арктической зоны Российской Федерации». Цель настоящей статьи — рассмотреть перспективы геологоразведки и горнодобывающей промышленности в Гренландии и извлечь уроки для Арктической зоны России. В ходе подготовки статьи изучены многочисленные публикации, а также данные, полученные в Интернете на сайтах геологических служб, горнодобывающих и геолого-разведочных компаний. Собраны материалы для формирования ГИС-проекта, включающего картографический материал и базу данных по месторождениям Гренландии. Сделаны выводы о перспективных для промышленности типах месторождений стратегических видов минерального сырья этого региона. Проведенные исследования позволили сформулировать рекомендации для развития ГРП в Арктической зоне России.

Геологическое строение и металлогения

Геологическое строение Гренландии изучено слабо и только в прибрежных областях, свободных от ледникового покрова (рис. 2). Географическая близость к Баффиновой Земле и Лабрадору, а также геологические и петрографические данные позволяют рассматривать Гренландию (во всяком случае, ее западные районы) как часть Канадского щита, известную как Лаврентийский щит. В составе геологических образований Гренландии преобладают кристаллические комплексы

⁶ http://www.globalcleantechsummit.fi/wp-content/uploads/2015/04/5_10.9_Helsinki_sali_Karen-Hanghoj.pdf.

Изучение и освоение природных ресурсов Арктики

докембрийского щита, который формировался во время архейского и палеопротерозойских орогенных этапов. Стабилизация в рамках Лаврентийского щита произошла около 1600 млн лет назад.

По результатам геохронологических исследований [6; 8; 10; 29; 33] древнейшие образования западной Гренландии, отмечаемые аргоновым возрастом около 2700—2500 млн лет, относятся к докетилидам (рис. 2). Метаморфизм более позднего Кетилидского комплекса фиксируется возрастом около 1800 млн лет. Близкая к этому величина возраста получена также для орогена Нагсугоквид. Наиболее молодую серию Гардар интрузируют щелочные магматические породы, возраст которых составляет 500—560 млн лет. Наиболее древние интрузивы, секущие серию Гардар, показали возраст 1100—1200 млн лет, что может быть сопоставлено с ранним рифеем. Почти половина свободной ото льда территории Гренландии сложена архейскими и нижнепротерозойскими комплексами кристаллического фундамента, главным образом ортогнейсами, с полями развития супракрустальных комплексов.

Рудные месторождения встречаются во всех основных геологических обстановках Гренландии. Основной особенностью размещения является их приуроченность к ареалам распространения гранитоидных интрузий различного возраста начиная от архея и заканчивая палеогеном (рис. 2 и 3).

Среди древних комплексов выделяются архейские области [14], почти не затронутые протерозойскими и более поздними орогенными процессами, области того же возраста (в том числе орогенный пояс Нагсугоквид, комплексы раннепротерозойско-рифейской тектоно-магматической активизации в южной Гренландии), переработанные в протерозойское время, а также поля, сложенные изверженными и метасадочными протерозойскими породами. В архейских и раннепротерозойских террейнах выявлены зеленокаменные пояса, сравнительно небольшие по площади по сравнению с аналогичными поясами в Канаде и Австралии. В Гренландии архейские гнейсовые комплексы содержат фрагментированные участки (максимум 10%) супракрустальных пород в гнейсах. В пределах зеленокаменных поясов базит-ультрабазитовые интрузии вмещают крупные месторождения хрома, ванадия, титана и ильменита, никеля и платиноидов.

В нижнепротерозойской складчатой области Кетилид в южной оконечности Гренландии в 1992 г. было впервые выявлено видимое золото в кварцевых жилах (месторождение Налунак) среди темноцветных супракрустальных пород [22; 26; 27]. В другом золоторудном районе Кетилид в юго-восточной Гренландии установлена минерализация в окварцованной сдвиговой зоне по базальт-андезитовым лавам, их корневым частям и вмещающим метасадкам. Перспективная золоторудная минерализация также установлена на южной границе батолита Джулианхуб — корневой части вулканической дуги [16; 27].

Поиски алмазов и драгоценных камней проводились среди архейских и раннепротерозойских пород кристаллического основания на западе Гренландии. Кимберлитовая провинция здесь охватывает архейский кратон и расположенные севернее поля измененных в раннепротерозойское время архейских пород. В провинции отмечаются различные протерозойские и мезозойские ультрабазитовые лампрофировые интрузии.

Поиски цветных металлов в последние годы были сосредоточены на проявлениях в раннепалеозойских породах в бассейне Франклин и складчатом поясе Элесмер на севере Гренландии, в районе фьорда Цитронен поиски привели к открытию цинкового месторождения [34]. Месторождение представлено стратиформными залежами в складчатом разрезе темных аргиллитов позднеордовик-нижнесилурийского возраста. Бассейн Франклин в северной Гренландии относится к глобальной металлогенической зоне, включающей известное свинцово-цинковое месторождение Полярис в Канаде.

Позднепротерозойские и кембрий-ордовикские отложения в северной части Гренландии состоят преимущественно из карбонатных и терригенно-карбонатных пород, формировавшихся в условиях мелководного шельфа [14]. Юго-западнее них развиты широкие поля подстилающих пологих долеритовых силлов внутриплитной тектоно-магматической активности, мощность которых измеряется сотнями метров. Раннепалеозойские осадки представлены преимущественно известняками и доломитами, отлагавшимися в период кембрия — ордовика. Песчаники и алевролиты нижних частей разреза отлагались в мелководных шельфовых условиях и перекрывались мощными толщами известняков и доломитов. Стабильные трансгрессивные условия шельфа господствовали на протяжении всего раннего палеозоя. Позднепалеозойские и мезозойские осадочные бассейны формировались вдоль стыка континент-океан в северной, восточной и западной Гренландии. Их развитие тесно связано с распадом континента с образованием рифтовых прогибов.

Уникальные рудные районы и крупные месторождения

Железные руды. Несколько крупных железорудных районов, приуроченных к докембрийским зеленокаменным и орогенным поясам, вытягиваются своеобразной цепочкой (см. рис. 3) вдоль побережья западной и северо-западной Гренландии [17; 28]. Магнетит и гематит присутствует в формации железистых кварцитов (BIF), где отмечаются массивные линзы и слои окисного железа и вкрапленность минералов железа в кристаллических сланцах (рис. 4а—4в). Мезопротерозойский железорудный район Туле — самый северный, вытянут в ЗСЗ направлении на 350 км. Здесь выявлено 9 перспективных рудных полей. Следующий крупный позднеархейский район Итилиарсук, включающий

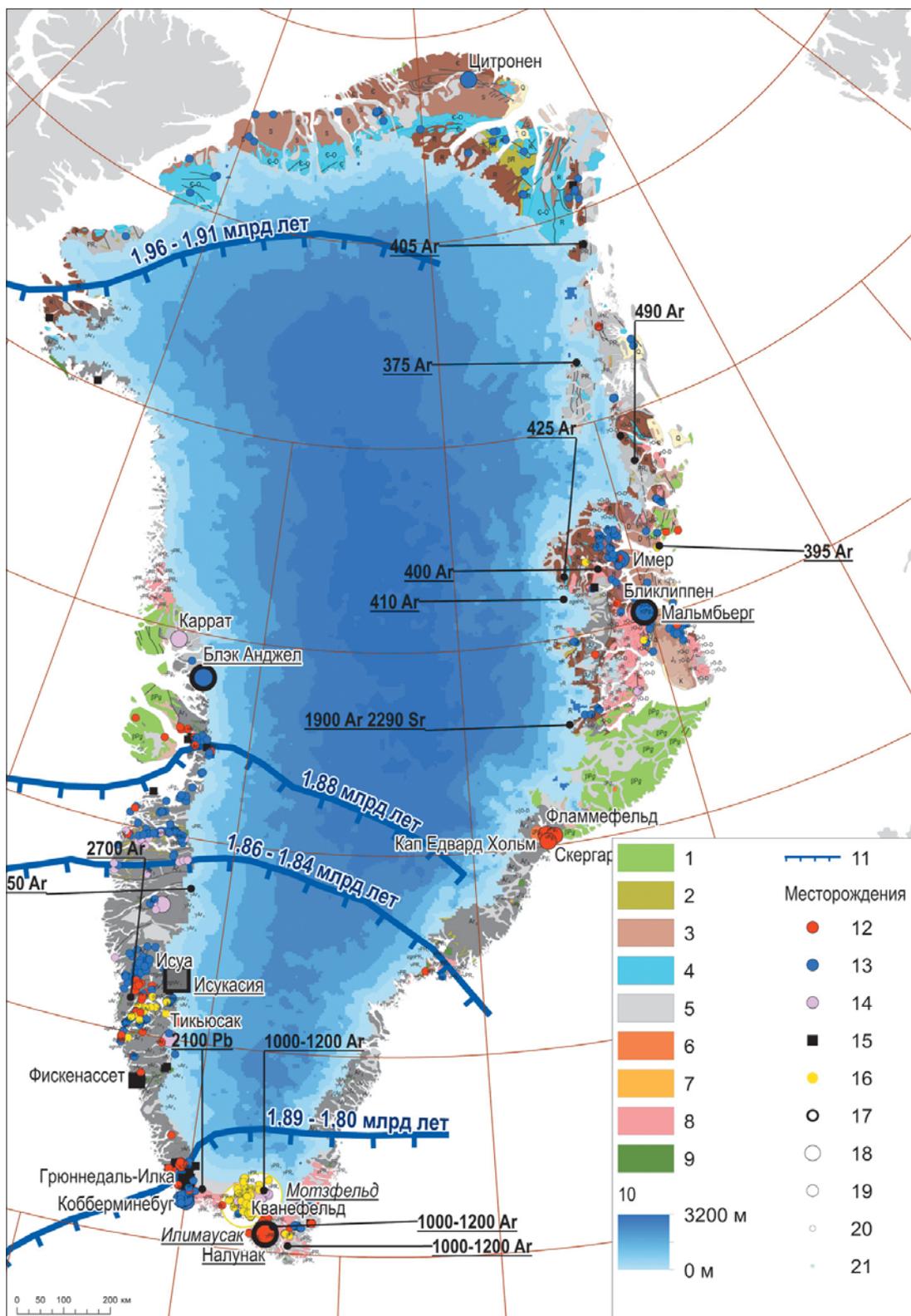


Рис. 2. Формационная карта Гренландии (с использованием материалов USGS [30]). Показаны изохроны по породам древнего основания и точечные результаты по данным радиологических исследований [6; 8; 10; 29; 33]: 1–5 – стратифицированные формации (1 – вулканогенные, 2 – вулканогенно-терригенные, 3 – терригенные, 4 – карбонатные и терригенно-карбонатные, 5 – метаморфические комплексы), 6–9 – магматические формации (6 – щелочные, 7 – сиениты, монцониты, 8 – гранитоиды, 9 – базиты), 10 – ледники, 11 – изохроны, 12–16 – рудные месторождения (12 – благородных, 13 – цветных, 14 – редких, 15 – черных металлов, 16 – радиоактивных элементов), 17 – эксплуатируемые месторождения, 18–21 – размеры рудных объектов (18 – рудные поля, 19 – гигантские и крупные, 20 – средние и мелкие, 21 – рудопроявления)

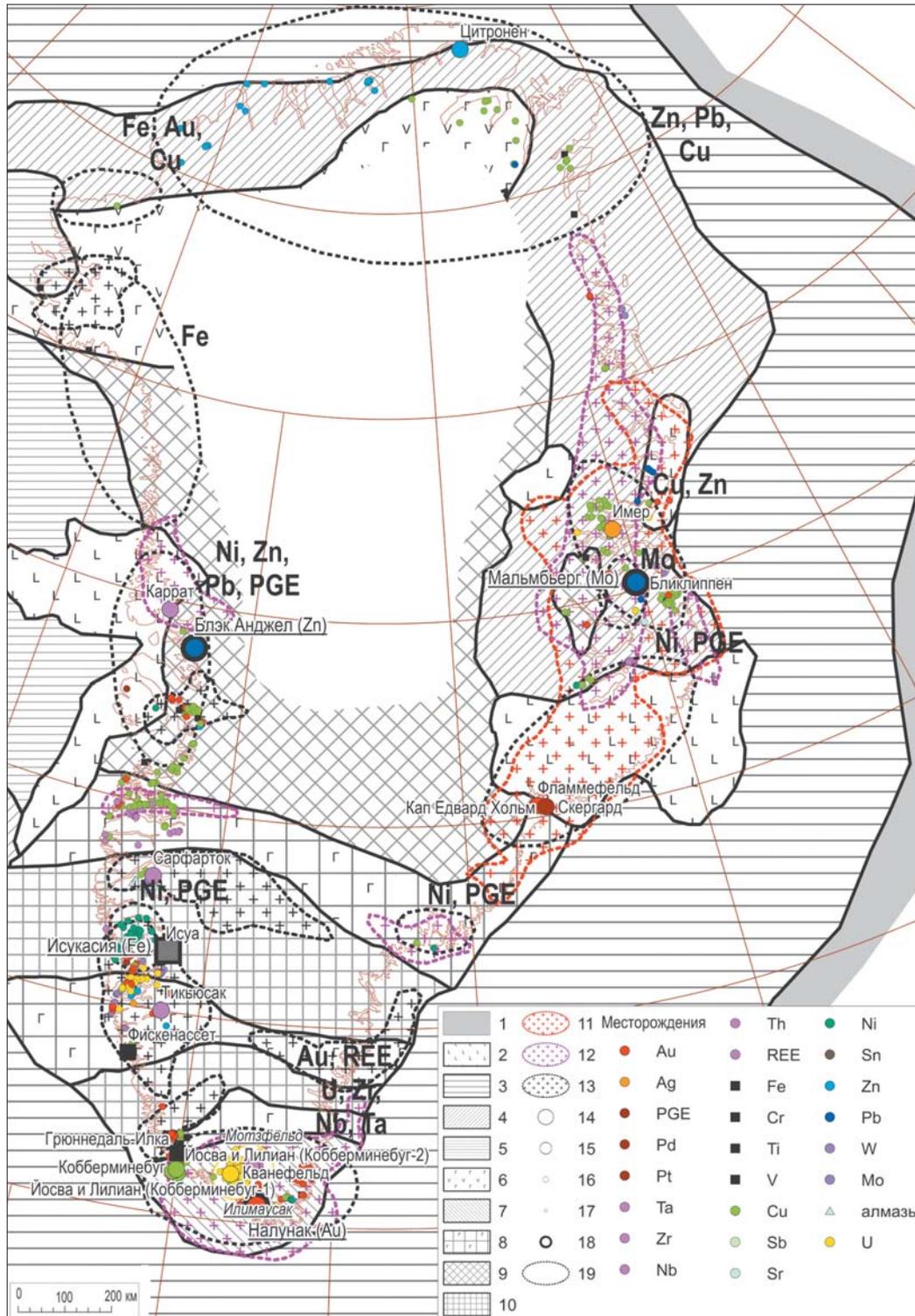


Рис. 3. Геодинамические обстановки формирования рудовмещающих комплексов и размещение месторождений твердых полезных ископаемых Гренландии (составлена авторами с использованием текущих материалов Геологической службы Дании и Гренландии): 1 – зона зона срединно-океанических хребтов, 2 – кайнозойские вулканогенные комплексы, 3 – мезо-кайнозойские комплексы склона и подножия континента, 4 – рифей-раннепалеозойские комплексы внешнего шельфа, 5 – рифей-раннепалеозойские терригенные комплексы внутреннего шельфа, 6 – рифейские терригенно-вулканогенные комплексы внутриплитной тектоно-магматической активности (ТМА), 7 – раннепротерозойско-раннерифейская ТМА, 8 – раннепротерозойские орогенные комплексы, 9 – архейские комплексы, 10 – архейские комплексы Канадского щита, 11–13 – ареалы распространения гранитоидного магматизма (11 – фанерозойские, 12 – протерозойско-рифейские, 13 – архейские), 14–17 – размеры рудных объектов (14 – рудные поля, 15 – гигантские и крупные, 16 – средние и мелкие, 17 – рудопровяления), 18 – эксплуатируемые месторождения, 19 – ареалы распространения рудных месторождений и их специализация

7 месторождений, расположен в 500 км южнее, в центральной западной Гренландии (см. рис. 3). Еще южнее известен железорудный район Исукасия, где разведано и подготавливается к освоению крупное одноименное месторождение.

Руды месторождения Исукасия относятся к раннеархейской формации железистых кварцитов (3,8 млрд лет), вероятно, самые древние на Земле [17; 28]. Зеленокаменный пояс Исуа, с которым связано формирование месторождения, протягивается полукругом на 40 км при ширине до 4 км. Среди комплексов, слагающих пояс, преобладают крупные ультрабазитовые тела сопутствующих им метавулканических пород основного состава. Формация железистых кварцитов представлена преимущественно слоистыми кварц-магнетитовыми породами (окисная фация), чередующимися с полосами силикатных фаций с минерализацией грюнерита и магнетита. Редко встречаются карбонатные фации, состоящие из чередующихся полос сидерита и магнетита. В составе окисной фации встречаются также редкие вкрапленности актинолита и пирита. Силикатная фация помимо грюнерита содержит пирротин, халькопирит и местами рассеянное золото.

Лицензия на разведку и эксплуатацию месторождения принадлежит компании «London Mining» (<http://www.londonmining.com>). Границы месторождения, частично покрытого материковым ледником, подтверждены бурением, минеральные ресурсы, по данным компании (2012 г.), составляют 1100 млн т при содержании железа 32,9%, период эксплуатации месторождения — более 15 лет. В планах компании — строительство в течение трех лет карьера, дороги (примерно 105 км), гавани, жилого поселка, мастерских, складов и соответствующей инфраструктуры, в том числе взлетно-посадочной полосы.

Fe-Ti-V руды. В южной части Гренландии, в пределах

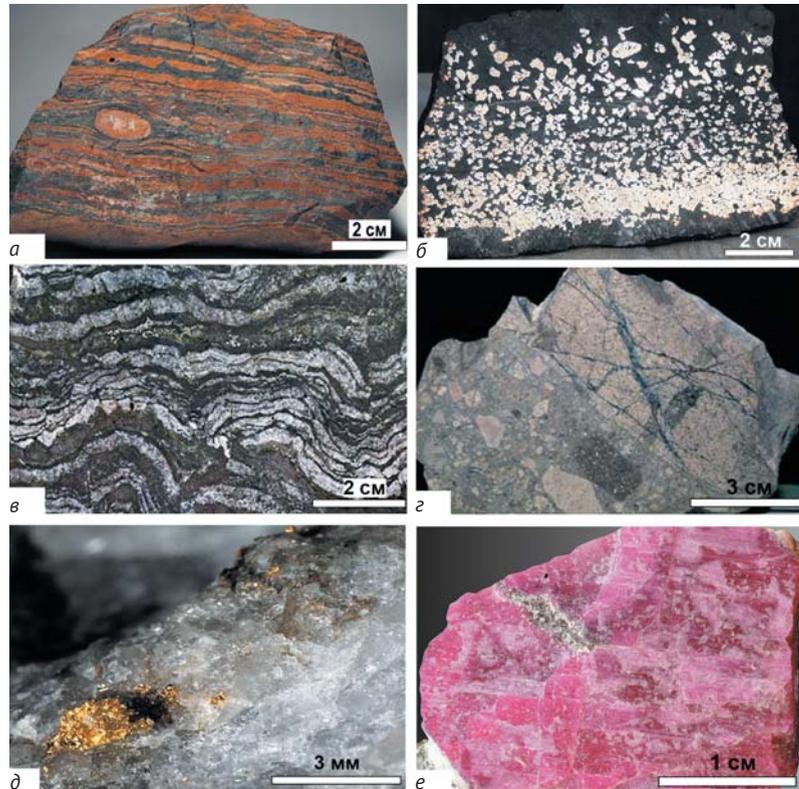


Рис. 4. Руды месторождений Гренландии [15; 17; 22; 28]: а — полосчатая гематитовая руда месторождения Исукасия [28], б — самородное железо в лавах Савиакат, северный Нусуак [28], в — железистые полосчатые кварциты месторождения Исукасия [28], г — штокверковые руды массив Фламмефельд, содержание Mo 0,45% [18], д — самородное золото в рудах месторождения Налуак [22], е — крупный кристалл корунда, месторождение Аппалуток [17]

среднепротерозойского Китилийского орогенного пояса (гнейсы, граниты, метаосадочные и метавулканические породы) недавно открыто и оценивается крупное Fe-Ti-V месторождение Гардар (Исортток). Месторождение приурочено к серии протяженных (более 10 км) троктолитовых даек, секущих крупный гранитный батолит. Рудное тело грабенообразной формы шириной 100—200 м и протяженностью 8,5 км зажато между двумя субпараллельными дайками троктолитов. Ресурсы категории «inferred», по данным «Hanter Minerals» (2010 г.) [17], составляют 421 млн т магнетитового концентрата, содержащего 62,8% железа, 19,1% TiO_2 (37 млн т) и 0,32% V_2O_5 (0,5 млн т).

Хромовые руды. Анортозитовый комплекс Фискенессет вмещает многочисленные хромитовые тела. Интрузивные тела комплекса, простирающиеся полосой более чем на 200 км при средней ширине 400 м, насчитывают суммарные ресурсы около 100 млн т низкокачественной хромовой руды.

Редкие металлы и РЗЭ. В последние годы в Гренландии на первое место по экономической значимости выдвинулись крупные месторождения редких металлов и РЗЭ [17; 23; 25]. Установлены три рудных района, связанных с щелочным магматизмом: Карат (западная Гренландия), Сарфартог (юго-западная Гренландия) и Гардар (южная Гренландия).

Месторождение Танбриз (Tanbreez Mining) локализовано в щелочных мезопротерозойских гранитоидах массива Илимукак района Гардар [23]. Месторождение Танбриз по ресурсам РЗЭ — одно из крупнейших в мире. Минерализация сосредоточена в поздних, неравномерно

распространенных продуктах магматической дифференциации. Площадь месторождения — 136 км². В рудах содержатся ниобий, тантал, цирконий, иттрий, редкоземельные элементы, литий, бериллий, а также сопутствующие уран и торий. Текущие ресурсы («inferred») — 4,7 млн т эвдиалита, содержащего 1,8% циркония, 0,2% оксида ниобия, 0,5% легких РЗЭ и 0,15% тяжелых РЗЭ. Разведанные запасы урана составляют 56 млн т при содержании 365 г/т [17; 23].

Месторождение *Мотзфельд* связано с одним из сиенитовых массивов в районе Гардар в южной Гренландии [23]. Это месторождение по результатам оценки представлено низкосортными пироксеновыми рудами в количестве 600 млн т с содержанием тантала 120 г/т и 130 млн т руды с содержанием ниобия 1400 г/т. Мотзфельд считается одним из крупнейших месторождений тантала в мире.

Месторождение *Кванефельд* (*Куннескуит*) — одно из крупнейших в мире месторождений урана и РЗЭ в районе Гардар [17; 23]. Лицензия принадлежит австралийской компании «Greenland Minerals and Energy Ltd». Месторождение приурочено к северной половине среднепротерозойского интрузивного комплекса Илимусак. Мощность куполообразной минерализованной зоны составляет в среднем 250 м. В пределах этого комплекса в последние годы выявлены и разведаны еще два месторождения — *Килават* и *Аланкуат*. В 2015 г. компания анонсировала новые суммарные JORC ресурсы по трем месторождениям: 1010 млн т руды содержат 270 тыс. т U₃O₈ и 11,13 млн т суммы РЗЭ [17].

Рудный район *Каррат* в западной Гренландии включает месторождения *Ниак* и *Умия* («Avannaq Resources») в щелочных сиенитах, занимающих площадь 122 км². Руды представлены в основном бастнезитом, монацитом и аланитом [23]. Ресурсы, по данным компании «Avannaq Resources» (2010 г.), составляют около 26 млн т руды с 0,8—1,5 TREO+Y.

В 2009 г. в пределах массива *Сарфатог* была выявлена мощная зона феррокарбонатитов («Hudson Resources Inc.») [23], содержащая крупные ресурсы РЗЭ для открытой добычи (5,9 млн т категории «indicated» (в России — C₂) со средним содержанием 1,8% TREO и 2,5 млн т категории «inferred» (в России — P₁) со средним содержанием 1,6% TREO) [11]. Месторождение расположено в 60 км к юго-западу от международного аэропорта Кангерлусак и в 140 км к северо-западу от поселка Манитсок. Второе потенциально крупное месторождение в районе Сарфатог — *Тикисаак*, также приуроченное к карбонатитовому массиву; предполагаемые ресурсы — более 200 тыс. т, содержание РЗЭ — 1—5% TREO [25]. Третье месторождение — *Кекертасак* — содержит РЗЭ в карбонатах; предполагаемые ресурсы — более 200 тыс. т, содержание РЗЭ — 1—5% TREO [23]. По составу и содержанию РЗЭ месторождения района Сарфатог аналогичны крупному месторождению Маунтин-Пасс (США).

В центральной части восточной Гренландии недавно обнаружено и оценивается крупное палеороссыпное Zr-РЗЭ месторождение Милн Лэнд юрского возраста (<http://www.greenmin.gl>). Рудное тело округлой формы диаметром 500 м и мощностью 40—50 м. Ресурсы составляют 5 млн т руды, содержащей 1,0—3,8% циркония и 0,5—1,9 TREO РЗЭ, преимущественно в монаците (LREE около 90% и HREE около 10%).

Никель, платиноиды. С Гренландией связаны перспективы развития минерально-сырьевой базы никеля в Арктике [21]. В 2012 г. компания «North American Nickel» (NAN) объявила об обнаружении нового *Ni-Cu-Co-МПГ месторождения Манитсок*⁷ на юго-западном берегу Гренландии. Месторождение вмещают метаморфизованные норитовые интрузии и архейские гнейсы. Интрузии сконцентрированы в полосе шириной 15 км и длиной 75 км (Гренландском норитовом поясе). Ранее здесь были известны две относительно богатых зоны никель-сульфидной минерализации. Район месторождения по структуре имеет сходные черты с известным бассейном Садбери в канадской провинции Онтарио.

Расслоенные массивы габбро Скергард (54,5 млн лет) в южной части восточной Гренландии вмещают крупные месторождения *Скергард* и *Кап Эдвард Хольм* бедных руд палладия, платины и золота [20]. По результатам бурения суммарные прогнозные ресурсы составляют более 1520 млн т при содержании золота 0,21 г/т, палладия 0,61 г/т и платины 0,04 г/т. Минерализация размещается в зоне шириной 100 м в пяти интервалах мощностью в несколько метров. В этих сечениях содержание золота и платиновых минералов намного выше, чем приведенные выше средние цифры. Титан, ванадий и железо являются сопутствующими компонентами минерализованной зоны, а их содержание составляет: TiO₂ — 6,6%, V₂O₅ — 0,13% и Fe₂O₃ — 19%. Аналогичная минерализация установлена и в других близлежащих интрузивных телах.

Свинец и цинк. В Гренландии добыча свинца и цинка в ближайшей перспективе может быть возобновлена на месторождении Блэк Анджел, где получен значительный прирост запасов. Помимо этого планируется разрабатывать еще три месторождения в рудном районе Марморилик [13]. Кроме того, значительный ресурсный потенциал стратиформных цинковых руд выявлен на севере Гренландии в районе фьорда Ситронен [24].

Месторождение *Блэк Анджел* (*Марморилик*) относится к осадочно-эксгальционному генетическому типу [31]. Вмещающими породами служат раннепротерозойские мраморы формации Каррат, где свинцово-цинковая минерализация встречается на нескольких уровнях. Размещение рудных залежей контролируется флексурной складкой с пологим шарниром. Рудные тела состоят из нескольких

⁷ МПГ — металлы платиновой группы.

Таблица 1. Ресурсы свинца и цинка рудного района Марморилик (по материалам Геологической службы Дании и Гренландии)

Месторождение, рудная зона	Категория ресурсов JORC	Руда, тыс. т	Zn, %	Pb, %	Ag, г/т
Зона Анджел	Proven	791	13,0	4,5	25,0
Зона Ковер	Proven	522	8,3	2,4	18,0
Другие зоны	Indicated	697	10,4	3,3	13,0
Суф Гласьер	Indicated	1726	6,9	2,5	14,5
Участок АРК	Inferred	492	4,7	2,2	20,4
Нангарут	Indicated	196	9,0	3,4	31,0
Нангарут	Inferred	0,7	4,5	1,9	9,0
Всего		4,425	8,6	3,0	17,9

интенсивно деформированных массивных линз до 30 м мощности. Массивные руды сложены пиритом, сфалеритом и галенитом, в матрице которых отмечаются обломки мраморов и кварцитов. К второстепенным минералам относятся пирротин, халькопирит, теннантит и арсенопирит. Боковые породы представлены кварцитами с рассеянным графитом.

Руды испытали интенсивный динамометаморфизм и ремобилизацию. Нижние горизонты месторождения были отработаны в 1973—1990 гг. Общая добыча составила 11 млн т руды при содержании: Pb — 4,0%, Zn — 12,6% и Ag — 29 г/т [31]. В 2010—2011 гг. были добыты остатки руды в целиках и в минерализованных мраморах на флангах. В последние годы в рудном районе площадью 155 км² «FBC Mining» проводит интенсивные геолого-разведочные работы. Общие ресурсы по классификации JORC составляют 4,5 млн т при средних и высоких содержаниях (табл. 1). Цинковая минерализация также установлена в обломочных осадках формации Каррат. На одном из рудопроявлений к северу месторождения стратиформная сфалерит-галенит-пирротиновая минерализация отмечается в основании турбидитового разреза.

Месторождение Цитронен мирового класса в северной Гренландии — одно из крупнейших в мире (лицензия принадлежит австралийской компании «Ironbark Zinc Ltd») [24]. Крупная сульфидизированная зона в районе фьорда Цитронен (северная Гренландия) содержит массивные свинцово-цинковые руды типа SEDEX в ордовикских черных сланцах. Месторождение залегает в палеозойском осадочном бассейне Франклин, который охватывает северную часть Гренландии и север Канады. Со времени открытия в 1993 г. на месторождении проводились поисковые работы. Многоуровневые рудные залежи имеют пологое залегание при мощности до 50 м и вскрыты до глубины 300 м. Установлены три

основных уровня распространения минерализации в пределах 200-метрового стратиграфического интервала. В апреле 2013 г. компания «Ironbark Ltd» осуществила переоценку месторождения. Основные параметры выражаются в следующем: срок отработки — 14 лет, ресурсы составляют 71 млн т при содержании 5,1% Zn + 0,5% Pb (бортное значение — 3,5% Zn), добыча — 3,3 млн т/год. Бедные руды составляют 132 млн т при содержании 4,0% Zn + 0,4% Pb (борт 2,0% Zn).

Молибден. На востоке Гренландии польский гигант KGHM ведет освоение крупного месторождения Мальмбьерг (тип Кляймекс), ресурсы которого превышают 410 тыс. т молибдена, а среднее содержание составляет 0,15% [13]. В районе известны и другие (см. рис. 4г), менее исследованные участки минерализации этого типа [18].

Месторождение Мальмбьерг залегает в прорывающем каменноугольные песчаники гранитоидном штоке, сложенном щелочными гранитами (25,7 млн лет). Шток принадлежит палеогеновому интрузивному комплексу Вернер Бьерг. На месторождении установлены три типа руд: штокверковые, грейзеновые и полиметаллические. Молибденитовая минерализация оконтурена в блоке 700×700×150 м, представляющем собой штокверк, в котором мощность прожилков изменяется от волосовидных до 5 см [17; 18]. Пирит встречается только как второстепенный минерал, и его содержание не превышает 1%. Вольфрам-молибденовая грейзеновая минерализация встречается в пологих жилах мощностью около 1 м в гранитах и во вмещающих метаморфизованных осадках. Полиметаллическая минерализация встречается локально и не имеет промышленного значения. Рудное тело содержит 150 млн т руды с 0,23% MoS₂ и 0,02% WO₃.

Золото. Регион Нууп (южная часть западной Гренландии) потенциально перспективен на золото,

которое здесь встречается в супракрустальных породах архейского фундамента [27]. Три большие группы золоторудных проявлений локализованы в ССВ полосе вдоль фьорда Нууп. Содержание золота составляет 3—7 г/т, местами до 20 г/т. Наличие в породах метавулканитов, метасланцев и мраморов, а также известные в регионе базит-ультрабазитовые интрузии указывают на островодужную обстановку их формирования.

В этом районе компанией «Nuna Minerals» в 2010 г. выявлено новое месторождение Вагар [9]. Содержание золота в лучшем подсечении достигает 70 г/т на мощность жильной зоны 13 м. Месторождение отнесено к типу месторождений золота, связанных с интрузивной системой. Кроме того, компания «Nuna Minerals» с 2003 г. ведет работы на золоторудном месторождении Сторо на севере Гренландии и оценивает зеленокаменный пояс Куссук, где содержание золота в рудопроявлениях варьирует от 2,9 до 14,5 г/т [13].

В центральной части западной Гренландии известна серия золотых проявлений в кристаллических породах складчатой области Нагсугтог [17]. Здесь золото установлено в архейских метатерригенных и метавулканических породах. Рудопроявления могут быть отнесены как к стратиформному, так и к жильному типу. Содержание золота в минерализованных зонах невысокое — максимум несколько грамм на тонну.

На самом юге Гренландии, в 12 км от побережья, разведано и отрабатывается золото-кварцевое месторождение *Налунак* [22]. Геологическая позиция месторождения, залегающего в комплексах фундамента, связана с раннепротерозойским гранитоидным магматизмом Кетилидского орогена. Месторождение характеризуется высококачественными рудами золота (см. рис. 4е), связанными с кварцевыми жилами мощностью до 1,8 м в мощной сдвиговой зоне. Месторождение относится к мезотермальному орогенному типу и залегает в раннепротерозойских амфиболитизированных вулканических породах Кетилидской складчатой области. Рудник был открыт в 2004 г., но был законсервирован с 2008 по 2010 гг. Подсчитанные ранее запасы — 9,2 т золота с содержанием 21 г/т. Ресурсы категории «inferred» (в России — P_1) оценены в 30 т с содержанием 18 г/т. В 2006 г. добыча составила 2 т золота при среднем содержании 17,9 г/т. В 2012 г. добыча составила всего 0,9 т золота.

Алмазы. Вендские (604—555 млн лет) кимберлитовые интрузии и лампрофировые фьорда Кангерлу-са, западная Гренландия [14]. Они располагаются вдоль границы между архейским кратоном и областями раннепротерозойской складчатой области Нагсиктокиан. Массивы и дайки известны с середины 1960-х годов, а первые микрокристаллы алмазов были найдены в россыпях реки Сарфартог. Находки микроалмазов привели к интенсивным поискам, и в настоящее время установлено несколько

алмазоносных участков в элювиальных развалах и обнажениях кимберлитовых пород. В регионе Сарфартог исследования привели к находкам алмазов до 2,5 карата, а в 2008 г. в дайке был найден алмаз ювелирного качества массой около 4 карат. В районе Маниитсок выявлена крупная система кимберлитовых даек с общей длиной более 10 км. Однако в настоящее время поиски алмазов на этих площадях прекращены.

Рубины. С 2014 г. в районе Фискенесет (юго-западная Гренландия) компания «True North Gems» (TNG) приступила к освоению месторождения Аппалутток [15; 17]. Рубины и розовые сапфиры ювелирного и полуювелирного качества (см. рис. 4ж) встречаются вдоль контакта между анортозитами и амфиболитами на протяжении более 200 км. К настоящему времени более 65 тыс. г ювелирных и более чем 129,7 тыс. г полуювелирных камней было извлечено из 48 т руды. Ресурсы категории «inferred» составили 77,16 тыс. т руды при содержании рубинов 1417 карат/т. Предполагается строительство небольшого рудника и производство драгоценных камней в течение девяти лет.

Высокоочищенный кальциевый фельдшпат. В западной Гренландии в районе Кангерлу-сук компания «Hudson Resources Inc.» завершила разведку крупного месторождения Белая Гора [17]. Эксплуатационная лицензия находится в стадии оформления. Месторождение приурочено к крупному массиву анортозитов Какорторсуак (Белая Гора). Высокоочищенный кальциевый фельдшпат используется как замена каолина при производстве слабоизлучающего стекла и стекловолокна (солнечные батареи) и в качестве наполнителя красок, пластика, а также для производства алюминия на завершающей стадии. Анортозиты выходят на площади 45 км² и вытянуты вдоль глубоководного фьорда на 6 км. Около 90% месторождения представлено гомогенным анортозитом, в котором доминирует белый битовнитовый плагиоклаз (81—88% анортит).

Заключение

Анализ показал, что обширная по площади территория прибрежной зоны Гренландии обладает значительными ресурсами черных, цветных, редких, радиоактивных и благородных металлов. В последние годы интерес горнодобывающей промышленности к арктическим ресурсам Гренландии заметно растет, что сопровождается ростом объемов финансирования геолого-разведочных и научно-исследовательских работ. В ближайшем будущем Гренландия может стать ведущим игроком на мировом рынке критических металлов. Перспективы освоения месторождений Гренландии кроме масштаба и богатства их руд во многом определяются близостью к Северному морскому пути. Вместе с тем в связи с особыми тяжелыми климатическими и инженерными условиями рентабельность освоения уже открытых месторождений остается весьма

невысокой. Именно поэтому преобладающая масса геологических проектов в Гренландии направлена на изучение перспектив уже известных потенциальных территорий.

Подавляющая часть территории Гренландии в геологическом плане практически не изучена, и, следовательно, ее минерагенический потенциал далеко не реализован. Геодинамические обстановки формирования стратифицированных и интрузивных комплексов Гренландии не отличаются разнообразием. В их состав входят обстановки древних щитов и мелководного шельфа, в различной степени затронутых орогенными процессами. При этом повышенная тектоно-магматическая активность определяет в южной части острова главенствующую роль магматизма в развитии рудной минерализации, которая в основном связана с базит-ультрабазитовыми и субщелочными гранитоидами, сопровождаемыми развитием даек пестрого состава. Фанерозойские формации мелководных шельфовых обстановок являются основной базой для выявления стратиформных проявлений цветных металлов типа SEDEX и MVT. Вендские карбонатиты и кимберлиты, развитые в областях протерозойской тектоно-магматической активизации, перспективны на обнаружение месторождений РЗЭ, редких металлов и алмазов. В щелочном интрузивном комплексе южной Гренландии установлены крупнейшие в мире месторождения РЗЭ, ниобия, тантала и урана. В ареалах широкого развития позднего гранитоидного магматизма в палеогеновых комплексах известны такие крупнотоннажные месторождения, как Скергард (золото, платина и палладий) и Мальбьерг (молибден). Особое внимание уделяется золоторудной минерализации, особенностью которой является локализация ее проявлений в различных геодинамических обстановках и на всех возрастных уровнях земной коры.

Проведенный анализ позволяет сформулировать предложения по направлению ГРП и научно-исследовательских работ в российской Арктической зоне. Опыт геолого-разведочных работ в Гренландии показывает, что в первую очередь должна быть детально изучена полоса шириной до 200 км вдоль берега Северно-Ледовитого океана, архипелаги и отдельные острова, а также берега судходных рек, так как в этой зоне наиболее реально освоение перспективных месторождений полезных ископаемых. Высокую эффективность в Гренландии продемонстрировало региональное геологическое картирование, сопровождающееся исследованиями крупных арктических территорий по современным стандартам с большими объемами дистанционных среднemasштабных аэрогеофизических съемок, и последующее картировочное бурение (по сети или профилям) выявленных перспективных аномалий. Большое значение имеет также прогноз ресурсов в рамках моделей наиболее перспективных типов месторождений, экономические параметры и примеры успешной эксплуатации которых

известны в мире. Не менее важны для повышения эффективности работ разработка и принятие новых подходов обработки и интерпретации информационных данных, а также обучение следующего поколения высококвалифицированных геологов и геофизиков.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации».

Литература

1. Бортников Н. С., Лобанов К. В., Волков А. В. и др. Арктические ресурсы золота в глобальной перспективе // Арктика: экология и экономика. — 2014. — № 4. — С. 28—37.
2. Бортников Н. С., Лобанов К. В., Волков А. В. и др. Арктические ресурсы цветных и благородных металлов в глобальной перспективе // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 1. — С. 38—46.
3. Бортников Н. С., Лобанов К. В., Волков А. В. и др. Месторождения стратегических металлов Арктической зоны // Геология руд. месторождений. — 2015. — Т. 57, № 6. — С. 479—500.
4. Волков А. В., Сидоров А. А., Аристов В. В. и др. Золото-кварцевые месторождения в турбидитах северо-восточной части Арктической зоны России // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 4. — С. 48—60.
5. Лаломов А. В., Бочнева А. А., Чифранов Р. М. и др. Россыпные месторождения Арктической зоны России: современное состояние и пути развития минерально-сырьевой базы // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 2. — С. 66—77.
6. Тугаринов А. И., Войткевич Г. В. Докембрийская геохронология материков. — М.: Недра, 1970. — 434 с.
7. Andresen A., Hartz E. H., Vold J. A late orogenic extensional origin for the infracrustal gneiss domes of the East Greenland Caledonides (72—74°N) // Tectonophysics. — 1998. — Vol. 285. — P. 353—369.
8. Bamber J. L., Griggs J. A., Hurkmans R. T. W. L. et al. A new bed elevation dataset for Greenland // The Cryosphere. — 2013. — № 7. — P. 499—510.
9. Bradley J. A 43-101 technical report on the Vagar Gold Project south Greenland. Trädgårdsgatan / SRK Consulting (Sweden). — 2013. — 88 p.
10. Chadwick B., Garde A. A. Palaeoproterozoic oblique plate convergence in South Greenland: a re-appraisal of the Ketilidian orogen // Precambrian crustal evolution in the North Atlantic region: Geological Society Special Publication. — Vol. 112 / T. S. Brewer (ed.). — London, 1996. — P. 179—196.
11. Druecker M., Simpson R. G. Technical report on the Sarfartoq project, West Greenland. — Vancouver: Hudson Resources Inc. — 2012. — 98 p.
12. Garde A. A., Hamilton M. A., Chadwick B. et al. The Ketilidian orogen of South Greenland: geochronology,

- tectonics, magmatism, and fore-arc accretion during Palaeoproterozoic oblique convergence // Canadian J. of Earth Sciences. — 2002. — Vol. 39. — P. 756—793.
13. Gram B. O. The Quest for Resources — the Case of Greenland // J. of Military and Strategic Studies. — 2013. — Vol. 15, № 2. — P. 94—128.
14. Henriksen N., Higgins A. K., Kalsbeek F. et al. Pulvertaft Greenland from Archaean to Quaternary Descriptive text to the 1995 Geological map of Greenland, 1:2500000. — 2nd ed. // Geological Survey of Denmark and Greenland Bull. — 2009. — Vol. 18. — 126 p.
15. Juul-Nielsen A. Small scale mining of rubies and pink sapphires at Fiskenaesset, Greenland // 34th Intern. Gemological Conference IGC. Vilnius: IGC. — 2015. — P. 40—43.
16. McCaffrey K. J. W., Grocott J., Garde A. A. et al. Attachment formation during partitioning of oblique convergence in the Ketilidian orogen, South Greenland: Geological Society Special Publication. — Vol. 227. — London, 2004. — P. 231—248.
17. MINEX Greenland. — 2015. — Vol. 47. — 8 p. (<http://www.greenmin.gl>).
18. Nielsen T. F. D. Plutonic environments in Greenland — a potential for new discoveries // Geology and Ore. — 2009. — № 14. — 12 p.
19. Nutman A. P., Dawes P. R., Kalsbeek F. et al. Palaeoproterozoic and Archaean gneiss complexes in northern Greenland: Palaeoproterozoic terrane assembly in the High Arctic // Precambrian Research. — 2008. — Vol. 161. — P. 419—451.
20. Secher K., Appel P., Nielsen T. F. D. The PGE potential in Greenland // Geology and Ore. — 2007. — № 8. — 12 p.
21. Secher K., Stendal H. Greenland's nickel resource potential // Geology and Ore. — 2010. — № 17. — 12 p.
22. Secher K., Stendal H., Stensgaard B. M. The Nalunaq Gold Mine // Geology and Ore. — 2008. — № 11. — 12 p.
23. Sørensen L. L., Kalvig P. The rare earth element potential in Greenland // Geology and Ore. — 2011. — № 20. — 12 p.
24. Sørensen L. L., Kalvig P. The zinc potential in Greenland — Assessment of undiscovered sediment-hosted zinc deposits // Geology and Ore. — 2012. — № 21. — 12 p.
25. Steenfelt A., Hollis J. A., Secher K. The Tikiussaqa carbonatite: a new Mesozoic intrusive complex in southern West Greenland // Geological Survey of Denmark and Greenland Bull. — 2006. — Vol. 10. — P. 41—44.
26. Stendal H., Frei R. Gold occurrences and lead isotopes in the Ketilidian Mobile Belt, South Greenland // Transaction Institution of Mining and Metallurgy (Section B: Applied earth science). — 2000. — Vol. 109. — P. 6—13.
27. Stendal H., Secher K. Gold mineralisation and gold potential in South Greenland // Geology and Ore. — 2002. — № 1. — 12 p.
28. Stendal H., Secher K. Iron ore potential in Greenland // Geology and Ore. — 2011. — № 19. — 12 p.
29. St-Onge M. R., Van-Gool J. A. M., Garde A. A. et al. Correlation of Archaean and Palaeoproterozoic units between northeastern Canada and western Greenland: constraining the pre-collision upper plate accretionary history of the Trans-Hudson orogen // Earth accretionary systems in space and time: Geological Society Special Publication. — Vol. 318 / P. A. Cawood & A. Kroner (eds). — London, 2009. — P. 193—235.
30. The Geologic Map of North America // <http://ngmdb.usgs.gov/gmna/>.
31. Thomassen B. The Black Angel lead-zinc mine at Maarmorilik in West Greenland // Geology and Ore. — 2003 — № 2. — 12 p.
32. Upton B. G. J., Rämö O. T., Heaman L. M. et al. The Mesoproterozoic Zig-Zag Dal Basalts and associated intrusions of eastern North Greenland: mantle plume-lithosphere interaction // Contributions to Mineralogy and Petrology. — 2005. — Vol. 149. — P. 40—56.
33. Weis D., Demaiffe D., Souchez A. J. et al. Ice sheet development in central Greenland: implications from the Nd, Sr and Pb isotopic compositions of basal material // Earth and Planetary Science Letters. — 1997. — Vol. 150. — P. 161—169.