

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРАТЕГИЧЕСКИХ МЕТАЛЛОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ

А. В. Волков, А. Л. Галямов, К. В. Лобанов

ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (Москва, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 24 января 2019 г.

Приведены результаты изучения методами ГИС-анализа соотношения металлогении с геодинамическими обстановками в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ), а также обсуждается роль магматизма в тектонической и металлогенической эволюции региона. В основу исследований положена обновленная база данных по Арктике, включающая информацию о размещении более 26 тыс. объектов – рудных и россыпных месторождений, рудопроявлений, точек минерализации, в том числе в России – более 8 тыс. По данным ГИС-анализа, в выступах докембрийского фундамента, террейнах пассивной и активной континентальных окраин размещено практически равное количество объектов (30%), а в коллизионной обстановке – 9% общего количества. Показано, что ареалы распространения разновозрастных гранитоидных интрузий распределены неравномерно, часто образуя совмещенные ассоциации, которые трассируют магмоподводящие каналы. На периферии этих областей развито большое число рудных объектов, в том числе и крупные комплексные месторождения стратегических металлов. ГИС-анализ размещения месторождений в ареалах гранитоидов магнетитовой, ильменитовой и промежуточной серий показывает, что выявленные ранее металлогенические особенности в целом справедливы и для АЗРФ. Месторождения Au, Ag и Cu локализованы в ареалах развития мелового магматизма магнетитовой серии, а минерализация Sn, W, Pb и Zn приурочены к ареалам распространения гранитов ильменитовой серии. Полученные результаты чрезвычайно важны для прогнозирования новых месторождений.

Ключевые слова: АЗРФ, геодинамическая обстановка, магматизм, металлогения, база данных, стратегические металлы, крупное месторождение, рудопроявление, прогноз.

Введение

Россия занимает ведущие позиции в мире по добыче основных видов полезных ископаемых и является крупнейшим экспортером минерального сырья. Экономические и геополитические интересы России определяются состоянием минерально-сырьевой базы, воспроизводство которой на современном технологическом уровне является главной задачей геологической отрасли.

Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) полукольцом охватывает окраину Евразийского континента и многочисленные острова вокруг Северного Ледовитого океана (рис. 1). Арктическая зона занимает около 30% территории России, ее площадь — более 4 млн км². Здесь сосредоточено значительное количество промышленно значимых месторождений таких стратегически важных элементов, как Au, Ag

(Купол, Песчанка, Майское и др.), Cu-Ni-Pt (Норильск, Печенга-Никель и др.), Zr-Nb-REE (Томтор, Ковдор, Ловозеро и др.), алмазы (Архангельская группа, россыпи Анабара и др.), Zn-Pb-Ag (Павловская группа, архипелаг Новая Земля), алювиально-равнинные (Ti-Zr, Sn-W, Au) и прибрежно-морские (Sn-W, Au) россыпи, месторождения несогласия (U) и др. [1; 2].

Перспективы прироста запасов по многим видам стратегического минерального сырья также связаны с АЗРФ.

Недостатки современной системы геологических прогнозов в первую очередь затронули малоосвоенные, труднодоступные районы АЗРФ, обладающие значительными потенциальными ресурсами стратегических видов минерального сырья [1; 2]. В связи с сокращением финансирования и квалифицированных кадров научно-исследовательские и прогнознопойсковые геолого-разведочные работы в арктических регионах были практически свернуты.

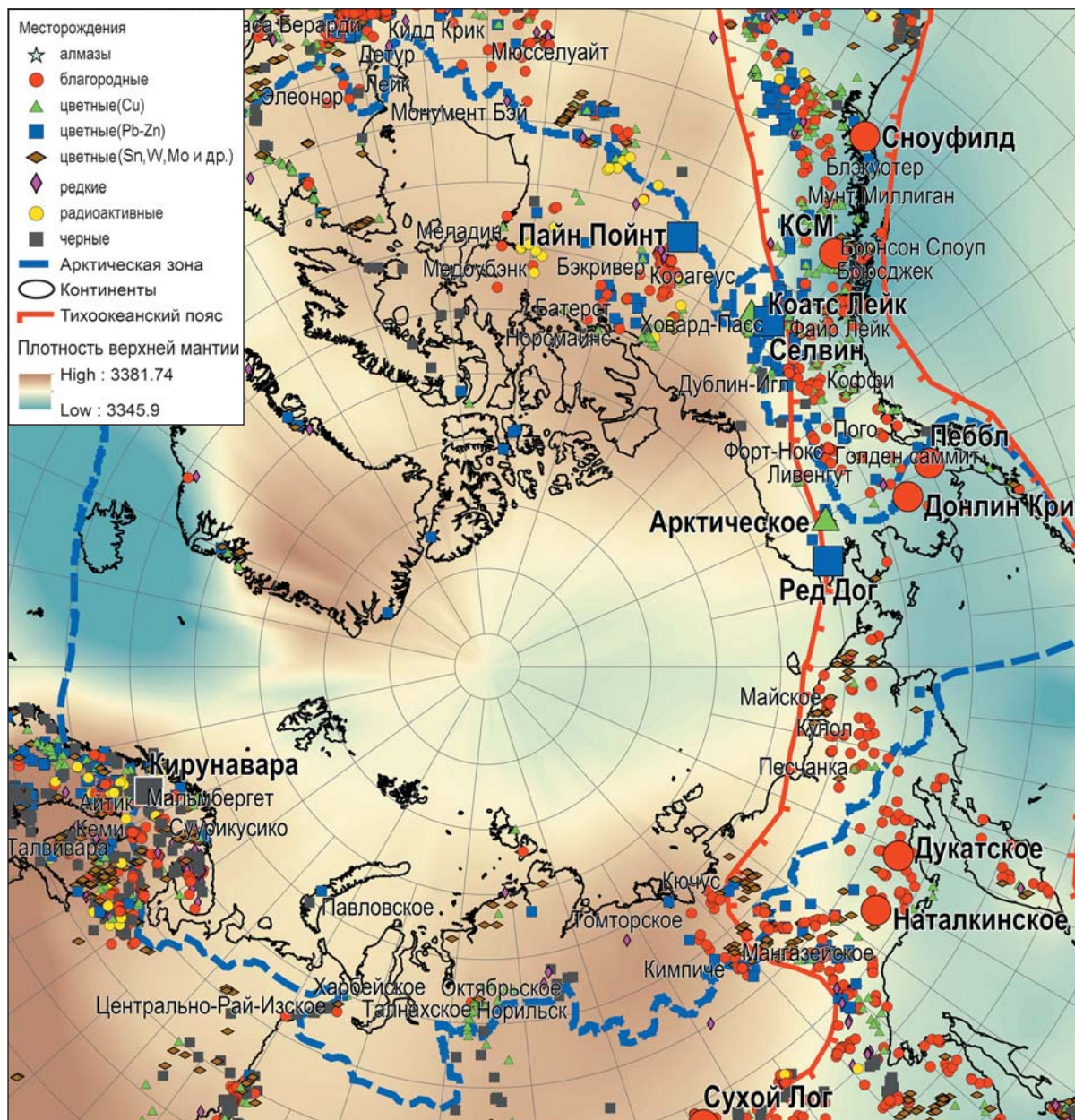


Рис. 1. Схематическая карта плотности верхней мантии [3] и распределения основных месторождений и перспективных рудопроявлений стратегических металлов в Арктике
 Fig. 1. Schematic map of the upper mantle density [3] and the distribution of the main deposits and prospective occurrences of strategic metals in the Arctic

В статье обсуждаются результаты изучения методами ГИС — геодинамических обстановок формирования крупных месторождений стратегических металлов в АЗРФ. Важная роль в исследованиях отводилась выяснению геодинамической природы магматизма, его места в тектонической эволюции региона. В рамках решения главной задачи подготовлен ГИС-проект, включающий картографический материал и обновленную базу данных (БД) по отечественным и зарубежным месторождениям Арктики.

Выполнен пространственно-статистический ГИС-анализ соотношения металлогении с геодинамическими обстановками АЗРФ. Изучено распределение

месторождений и рудопроявлений стратегических металлов в ареалах разновозрастного базитового, гранитоидного и субщелочного магматизма в АЗРФ. Магматический ареал в авторском понимании включает кроме оконтуренных на карте площадей собственно интрузивных массивов также стратифицированные, метасоматические измененные вмещающие породы их рамы, занимающие на порядок большую площадь.

Для проведения ГИС-анализа применялись известные методические приемы, заложенные в аналитический аппарат ARCMAP, MAPINFO и других картографических математико-аналитических систем.

Наиболее эффективными показали себя устоявшиеся методы выявления и оценки пространственных связей (растровой алгебры, нечеткой логики, вероятностного анализа и др.).

Публикация подготовлена в рамках проекта РФФИ (№ 18-05-70001) и продолжает серию статей Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, посвященных минеральным ресурсам Арктики.

Информационная база данных месторождений и рудопроявлений стратегических металлов Арктики

В 2018—2019 гг. была существенно дополнена пространственная база данных рудных и экзогенных месторождений благородных, цветных и редких, а также редкоземельных и радиоактивных металлов Арктики. Исходный материал — открытые источники глобальных и локальных баз данных, размещенные на сайтах геологических служб Европы, США и других стран, корпоративных и волонтерских сетей, а также результаты геологического изучения за счет средств федерального бюджета на территории России (см. рис. 1).

В итоге БД по Арктике включает информацию о размещении более 26 тыс. объектов — рудных и россыпных месторождений, рудопроявлений, точек минерализации, в том числе в России — более 8 тыс. Среди объектов благородных металлов (Au, Ag, Pt, Pd) в БД насчитывается около 400 месторождений, в том числе 33 крупных. Cu — около 4000 объектов, из них более 350 месторождений, 7 крупных; Pb-Zn — более 1000 объектов, 200 месторождений, в том числе 9 крупных. Объектов (Ni, Al, Ti, Sn, Sb, W, Mo) более 3000, среди них около 300 месторождений, 6 крупных. Черные металлы (Fe, Mn, Cr) представлены более чем 1000 объектов, среди которых более 200 месторождений, включая 9 крупных. Среди проявлений (около 450) редких металлов (Sc, Y, Zr, PЗЭ и др.) к месторождениям относятся 74 объекта, 3 крупных. Объектов радиоактивных металлов (U, Th) — более 500, включая 47 месторождений.

Атрибутивная таблица БД содержит более 70 граф и включает помимо координат объектов данные об их географической и административной принадлежности, основных и сопутствующих полезных компонентах, их содержании в рудах, запасах и прогнозных ресурсах, степени освоенности, геологическом строении, форме и составе рудных тел, характере метасоматических околорудных изменений, а также информацию о собственнике. БД через координатную систему связана с бесшовной цифровой геологической картой, масштаб которой варьирует от 1:2 500 000 до 1:50 000 в зависимости от тематики включенных в базу данных слоев.

В составе имеющейся в БД геологической основы континентальной Арктики, прилегающего шельфа и островов представлены докембрийские, палеозойские и мезокайнозойские породные комплексы и магматические образования разнообразного со-

става и возраста, а также их отдельные характеристики (редокс-параметры и др.).

С появлением в открытых источниках новых материалов при более детальной обработке пространственных геологических данных и использовании новых методик анализа базовые и вспомогательные таблицы БД находятся в постоянном обновлении в соответствии с целями и задачами проекта.

Геодинамические обстановки рудообразования Арктической зоны России

Литосфера АЗРФ, сформированная в ходе нескольких суперконтинентальных циклов, включает древние щиты (Балтийский, Анабарский), перекрывающие их позднедокембрийский и палеозойский платформенные чехлы, складчатые орогенные пояса (Каледонский, Уральский, Таймырский, Тиманский, Верхояно-Чукотский), разделяющие древние платформы (Восточно-Европейскую, Сибирскую и Северо-Американскую), внутриплитные магматические провинции различных эпох от раннего докембрия до кайнозоя и мезозойские вулканогенные пояса Олойский (ОВП), Уяндино-Ясаченский, Удско-Мургальский (УМВП) и Охотско-Чукотский (ОЧВП).

Глубокая история Арктики затрагивает малоизученные события, такие как эволюция континентальных частей Арктиды [4]. Согласно опубликованной модели Арктида представляет собой мозаику докембрийских блоков, которые перегруппировывались по крайней мере дважды в связи с эволюцией Родинии и Пангеи — 1250 млн лет назад. С последним этапом связаны формирование в пермско-триасовое время Уральского пояса, Предуральского и Верхоянского бассейнов, заложение рифтогенных прогибов в Западной Сибири, а также периокеанические структуры Верхояно-Чукотского складчатого пояса, трапповый магматизм на Сибирской платформе, в Западной Сибири, на Таймыре и Карском море.

Геодинамические обстановки развития литосферы на западном и восточном флангах российской Арктики заметно отличались друг от друга. По представлениям Л. М. Парфенова [5], на северо-востоке России пассивные и активные континентальные окраины с островными дугами существовали начиная с рифея. Позднее в этом регионе Евразии происходила длительная кратонизация, которая завершилась лишь в позднем мезозое. Следует отметить, что эта группа геодинамических обстановок принадлежит Тихоокеанскому рудному поясу (см. рис. 1).

К геодинамическим обстановкам западной части АЗРФ в докембрийских щитах и на их периферии относятся:

1. Континентальные рифты, крупные изверженные провинции. Именно в этой обстановке формируются сульфидный Ni-Cu, Ni-Cu-Co и Ni-Cu-PGE, хромитовый, оксидный Fe-Ti-V с магнетитом минеральные типы месторождений Норильского рудного района и Карело-Кольского региона.

Изучение и освоение природных ресурсов Арктики

2. С обстановкой внутриплитного щелочно-гранитоидного магматизма связаны кимберлитовый и лампроитовый алмазоносный, апатит-магнетит-РЗЭ-редкометалльный карбонатитовый, апатит-нефелиновый РЗЭ-редкометалльный в расслоенных щелочных интрузиях минеральные типы крупных месторождений Балтийского и Анабарского докембрийских щитов.

3. В обстановках пассивной континентальной окраины, осадочных бассейнов и рифтогенных прогибах образовались стратиформные месторождения MVT- и SEDEX-типов, Cu-Co-Ag-песчаники и сланцы (Пай-Хой, Новая Земля, Полярный Урал), U-типа несогласия (Анабарский щит).

4. В зеленокаменных поясах Балтийского и Анабарского щитов формировались месторождения золота орогенного типа, Ni-Cu-PGE и колчеданно-полиметаллические, золотоносные конгломераты, редкометалльные пегматиты и железистые кварциты.

Геодинамические обстановки восточной части АЗРФ представлены:

1. Островодужными террейнами и окраинно-континентальными вулканическими поясами, зонами посторогенной тектоно-магматической активизации. В этих обстановках формируются месторождения Cu-Mo-Au-, Cu-Mo- и Cu-Au-порфирового, Au-Ag-, Ag-Zn-Pb- и Au-Cu-эпитермального, Cu-Au- и Zn-Pb-Ag скарнового типов Чукотки.

2. Срединно-океаническими хребтами (COX), островодужными поясами, рифтогенными прогибами с медно-колчеданными (VHMS) и колчеданно-полиметаллическими типами месторождений (Полярный Урал, Майницкий террейн, северная Корякия).

3. Коллизионно-аккреционными террейнами пассивной континентальной окраины, областями орогенного и посторогенного магматизма. С этой обстановкой связаны: золото-кварцевый жильный, золото-сульфидно-кварцевый штокверковый, золото-сульфидный вкрапленный, грейзеновый Sn-W-F, Sn-сульфидный, Ta-Nb-Li-Be пегматитовый, Mo-порфиновый, Mo-U гидротермальный, Au связанные с интрузивами гранитоидов, Zn-Pb-Ag-жильный типы месторождений. В коллизионных швах локализуются амагматичные Hg, Au-Sb-Hg и Au-Sb месторождения (северо-восток Якутии, западная и центральная Чукотка).

4. Задуговыми бассейнами, областями анорогенного гранитоидного магматизма, вмещающими крупные железо-окисно-медно-золоторудные месторождения (IOCG-типа). Прогнозируются на северо-востоке Якутии и Чукотке.

Выделенные в АЗРФ геодинамические обстановки характеризуются различными по геохимическому составу гранитоидами [6]. В субдукционных обстановках формируются граниты M- и I-типов. Причем граниты M-типа встречаются в офиолитах, а I-типа — в островодужных террейнах. С внутриплитными обстановками связаны граниты A-типа, которые по сравнению с M- и I-типами обогащены

РЗЭ и HFSE¹; Nb минимум отсутствует (щелочные граниты) или слабее проявлен. К гранитам I-типа, происходящим из магматического субстрата, относятся кварцевые диориты, тоналиты, плагиограниты, гранодиориты и редко лейкограниты. Образование гранитов этого типа связывают с процессом кристаллизационной дифференциации островодужных базальтовых расплавов и плавления вулканогенно-осадочного субстрата аккреционных призм в активную фазу субдукции. В коллизионных обстановках магматические породы представлены главным образом известково-щелочными гранитными плутонами. Синколлизионные граниты — это обычно лейкограниты S-типа, тогда как постколлизионные граниты представлены главным образом I- и A- типами. Граниты S-типа, преимущественно нормальные и субщелочные натрий-калиевые граниты и лейкограниты, источником которых считают седиментогенные блоки литосферы, приурочены к коллизионным обстановкам вследствие разогрева утолщенной коры либо переплавления осадочного материала под действием надсубдукционных мафических магм. A-тип анарогенных гранитов представлен безводными и щелочными породами, по составу варьирующими от кварцевых сиенитов до щелочных гранитов. Граниты этого типа часто образуют кольцевые плутоны, для них типично высокое содержание галогенов, особенно фтора, с которыми часто ассоциируют вольфрамово-оловянные и железо-окисно-медно-золотые руды [7].

Пространственно-статистический анализ соотношения металлогении с геодинамическими обстановками

Схематическая карта (см. рис. 1), составленная на основе ГИС, наглядно подчеркивает, что большинство месторождений и перспективных рудопроявлений стратегических металлов в АЗРФ (около 70%) находится над областями верхней мантии с относительно низкой плотностью, которые характеризуются также повышенным термальным режимом [8], и связано с геодинамическими обстановками северо-западного отрезка Тихоокеанского рудного пояса [9]. Главные особенности неоднородной плотности верхней мантии обусловлены взаимодействием плит на фоне глобальной мантийной тепловой и вещественной конвекции [10]. Наиболее ярко связь гравитации и плотности присущи веществу океанической коры, где гравитационные аномалии пространственно прямо коррелируют с плотностью вмещающих пород; вместе с тем, по данным сейсмотомографии, их контрастность ослабевает с увеличением глубины поверхности Мохо [10].

По данным ГИС-анализа базы пространственных данных АЗРФ, в докембрийских комплексах в основном Балтийского щита размещается около 30% месторождений стратегических металлов

¹ Высокопрочными элементами.

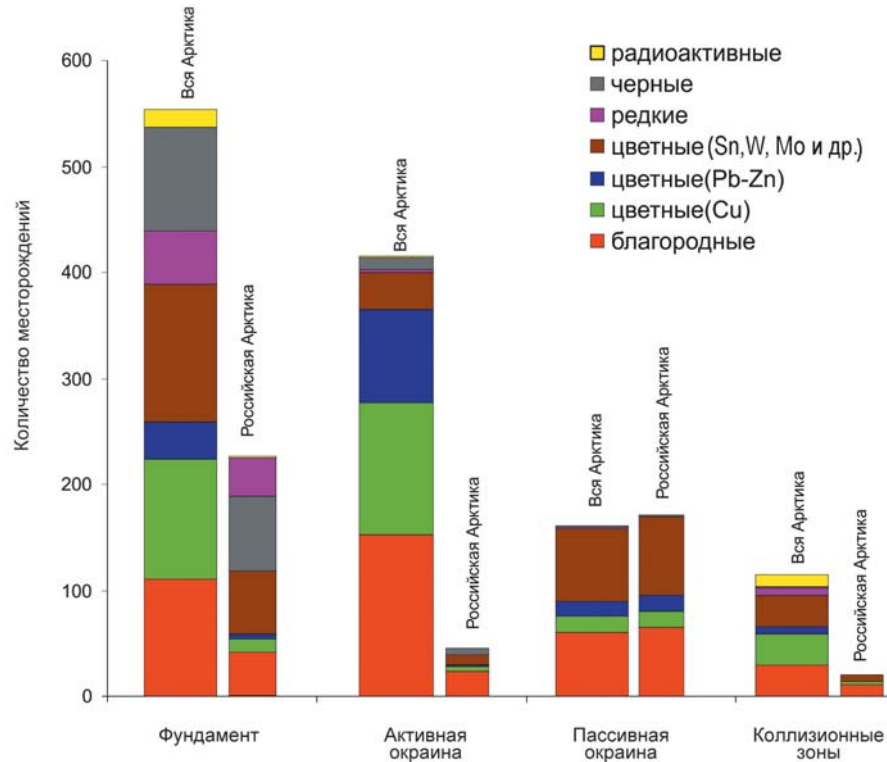


Рис. 2. Соотношение количества месторождений благородных, цветных, редких, черных и радиоактивных металлов в различных геодинамических обстановках Арктики (в том числе АЗРФ)
 Fig. 2. The deposit correlation of noble, non-ferrous, rare, ferrous and radioactive metals in various Arctic geodynamic settings, including Russian Arctic zone (AZRF)

(рис. 2). Важное место по числу месторождений в базе данных (30%) занимают ареалы пассивной континентальной окраины и зоны континентальных и субконтинентальных рифтогенных прогибов. Здесь преобладают месторождения цветных и благородных металлов, расположенные на пассивной окраине Сибирской платформы и в рифтогенных комплексах Среднего Урала. В геодинамических обстановках Тихоокеанского рудного пояса (в террейнах пассивной и активной континентальной окраины, включая островные дуги) залегает еще около 30% месторождений. Причем объектов в пределах террейнов пассивной восточной окраины Сибирского кратона месторождений несколько больше, чем в зоне влияния ОЧВП и в островодужных комплексах Корякии. В коллизионных обстановках на Урале и Верхоянье преобладают проявления благородных и цветных металлов (9%). При этом в участках, где потстколлизонная тектономагматическая активизация наложена на террейны активной окраины, кроме благороднометалльной и медно-порфировой минерализации отмечается повышенное количество железорудных объектов, преимущественно скарнового типа.

Кайнозойские образования распространены на 30% площади АЗРФ. На остальной территории АЗРФ магматические образования занимают чуть более 5% площади, и к ним приурочено более 20% рудных

месторождений и проявлений. Ареалы интрузивных массивов занимают более 17% площади, и к ним приурочено более 40% рудных объектов.

Пространственно-статистический анализ магматизма и металлогении в Арктической зоне России

Магматизм наиболее широко проявлен в северо-восточной части АЗРФ, охватывая ареалы ОВП, УМВП и ОЧВП, а также докембрийские щиты и их обрамление (рис. 3). В западной части протерозойский и вендский магматизм связан с древними структурами Балтийского щита. В центральной части палеозойский магматизм развит на Таймыре и Полярном Урале, Анабарском щите и его обрамлении.

Статистический площадной анализ распределения магматических формаций показывает, что среди них в АЗРФ преобладают гранитоидные формации в основном кислого и среднего состава (по 2% площади Арктической зоны). Интрузивные формации основного и ультраосновного состава занимают около 1% площади. Если добавить к площади интрузивных массивов ареалы измененных пород, то получим иные соотношения. В таком случае ареалы гранитоидных интрузий кислого и среднего состава и сопровождающих их измененных вмещающих пород составят более 50% и 62% площади АЗРФ соответственно.



Рис. 3. Распространение ареалов магматических формаций в АЗРФ
 Fig. 3. Distribution of magmatic formation areas in the AZRF

Наиболее широко в этих ареалах представлены гранитоиды позднемезозойского возраста, распространенные в пределах ОЧВП и Олойского вулканического пояса, батолиты «Колымской петли» и интрузивные массивы докембрийского возраста Балтийского и Анабарского щитов и их обрамления. За гранитоидными следуют ареалы базит-ультрабазитовых интрузий (около 23%) Чукотки, Таймыра и Балтийского щита, а менее всего представлены щелочные и субщелочные гранитоиды (около 15%).

Ареалы проявления базитового магматизма в АЗРФ представлены крупными магматическими провинциями, сформировавшимися на периферии Восточно-Европейской платформы и на Таймыре (рис. 4). Широко известна пермотриасовая провинция, связанная с Сибирским суперплюмом [11],

в которой развиты никеленосные и платиносные ультрабазит-базитовые комплексы (Норильский и Маймеча-Котуйский).

Мезозойский и кайнозойский плюмовый вулканизм в Арктике представлен тремя возрастными группами [11]: (1) позднепермские-раннетриасовые траппы от Пай-Хоя и Карского моря до Таймыра и северной части Сибирской платформы, на Новосибирских островах и на Чукотке; (2) провинции и ареалы юрско-мелового магматизма в Центральной Арктике, включая Баренцевоморский и Северо-Гренландский ареал в хребте Альфа и поднятии Менделеева и небольшой ареал островов Де Лонга (Новосибирские острова); (3) позднекайнозойские базальтоиды в Центральной и Восточной Арктике.



Рис. 4. Распространение ареалов базит-ультрабазитовых формаций в АЗРФ
 Fig. 4. Distribution of basite-ultrabasite formation areas in the AZRF



Рис. 5. Распространение ареалов гранитоидных формаций в АЗРФ
Fig. 5. Distribution of granitoid formation areas in the AZRF

Периодичность плюмового магматизма, находящаяся в антифазе с субдукционным магматизмом, — главный генератор, запускающий магматизм в АЗРФ. Усиление плюмовой активности «разгоняет» конвекцию в астеносфере и с запаздыванием усиливает интенсивность субдукционного магматизма.

Широкие ареалы распространения гранитоидных интрузий, как отмечалось выше, известны на Балтийском и Анабарском щитах, Полярном Урале и Таймыре, а также на северо-востоке России (рис. 3 и 5). По времени формирования они группируются в архей-протерозойских (Балтийский и Анабарский щиты), рифей-фанерозойских (Полярный Урал и Таймыр) и мезозойских (северо-восток России) литосферных блоках с различной металлогенией.

Ареалы распространения разновозрастных гранитоидных интрузий распределены неравномерно, часто перекрывая или дополняя друг друга (рис. 6). В Чукотском регионе такие совмещенные ареалы размещаются главным образом во внутренней зоне ОЧВП. Они приурочены к участкам наиболее мощной литосферы центральной и восточной Чукотки [2].

Рассмотрим в качестве примера Танюерский плутон, расположенный на границе между Центрально-Чукотским сектором и Восточной фланговой зоной ОЧВП. Плутон имеет сложное строение и включает образования трех интрузивных комплексов раннего и позднего мела. Структурные взаимоотношения магматических пород в его пределах указывают на существование несколько интрузивных фаз от габброидов до лейкогранитов. Большую часть плутона



Рис. 6. Совмещенные ареалы разновозрастных гранитоидов в АЗРФ
Fig. 6. Combined areas of different-age granitoids in the AZRF



Рис. 7. Распространение гранитоидов ильменитовой и магнетитовой серий в АЗРФ
 Fig. 7. Distribution of granitoids of titanite iron ore and magnetite series in the AZRF

слагают среднезернистые гранодиориты. В этих породах массива часто встречаются меланократовые включения от габбро до монзонитов, что может указывать на захват глубинных ксенолитов основного состава или на смешение магм основного и кислого составов. По петрографическим и геохимическим особенностям породы плутона соответствуют гранитам I-типа, имеющим смешанный корово-мантийный источник магм. При этом геохимические особенности пород указывают на связь Танюерских гранитоидов с надсубдукционной обстановкой [12]. В целом же геохимические характеристики плутона свидетельствуют о магматических источниках в верхней континентальной коре. Формирование подобных плутонов маркирует трансформные магмоподводящие каналы [12].

Согласно статистическим данным наибольшее количество месторождений стратегических металлов в России приурочено к палеозойским и архей-нижнепротерозойским ареалам гранитоидного магматизма. В АЗРФ в связи с преобладанием докембрийского и мелового магматизма Балтийского щита и северо-востока России отмечается другое соотношение месторождений с гранитоидными ареалами. Так, на территории Чукотки массовой приуроченности месторождений к совмещенным ареалам не наблюдается, хотя имеются примеры локализации крупных месторождений (Песчанка) в ареалах гетерогенных массивов гранитоидов (Егдэгкычский массив). Наоборот, преобладающее количество рудных объектов тяготеет не к совмещенным, а к моноареалам гранитоидов [13].

Первые результаты выделения ареалов формирования гранитов М- и I- типов в АЗРФ показали отчетливую зональность в их распространении. На рис. 7 видно, что позднемеловые массивы гранитоидов М-типа слагают внешнюю зону ОЧВП, а ранне-меловые массивы I-типа распространены в Верхоя-

но-Чукотских террейнах пассивной континентальной окраины. В Таймырском регионе древние ильменитовые интрузии приурочены к выступам Свальбардского кратона, а в более молодых геотектонических структурах сформировались гранитоиды М-типа.

Пространственный ГИС-анализ, выполненный для территории России в целом, показывает, что в разновозрастных эпохи соотношение площадей гранитоидов М- и I- типов значительно варьирует (рис. 8). Так, кайнозойские, пермские (Таймыр) и раннепротерозойские гранитоиды М-типа составляют от общей площади гранитов только 5%, 12% и 8% соответственно. А среди остальных гранитоидов мезозойского, палеозойского, позднепротерозойского и архейского возрастов — 19%, 34% и 22% соответственно, следовательно, ильменитовые гранитоиды на территории России преобладают. Аналогичные соотношения отмечаются и на территории АЗРФ.

Известно, что гидротермальные месторождения Sn связаны только с гранитоидами I-типа, преимущественно бороносными [14; 15], W — с гранитоидами М-, I- и промежуточного типов, Mo — с М-типом, Cu, Pb, Zn и других халькофильных металлов — с окисленными основными интрузивами и дайками М-типа. При этом последние помимо самостоятельных месторождений могут образовывать руды в областях более раннего Sn-W-оруденения, связанного с восстановленными магмами I-типа (касситерит-сульфидные месторождения).

ГИС-анализ размещения месторождений в ареалах гранитоидов М-, I- и промежуточного типов показывает, что выявленные особенности в целом справедливы и для российской Арктики (рис. 9).

Заключение

По данным ГИС-анализа, в выступах докембрийского фундамента, террейнах пассивной и активной континентальных окраин размещено практически

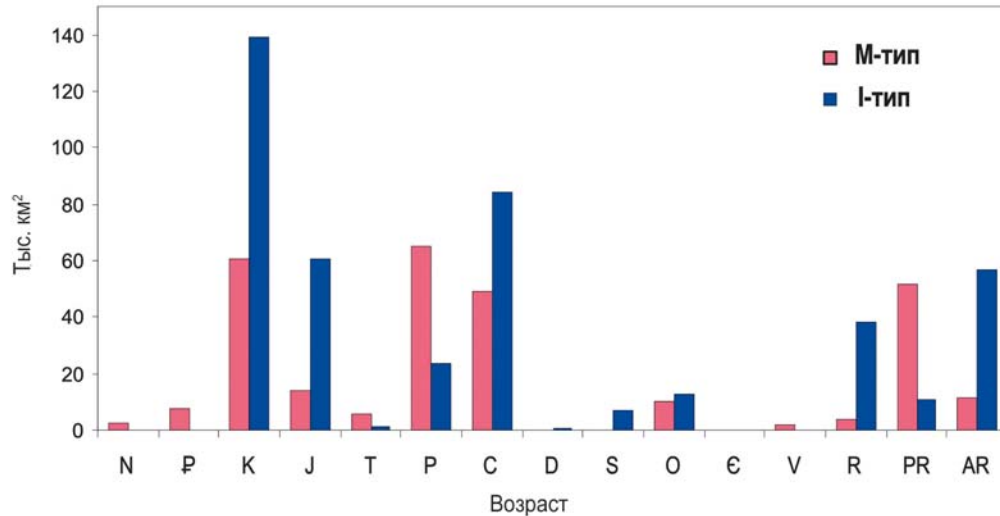


Рис. 8. Соотношение разновозрастных гранитоидов I- и M- типов на территории России
 Fig. 8. The ratio of different-age granitoids of I- and M-series in the Russian territory

равное количество рудных объектов (30%), а в коллизийной обстановке — 9% общего количества.

Ареалы гранитоидных интрузий кислого и среднего состава составляют более 50% и 62% от площади АЗРФ соответственно. За гранитоидными следуют ареалы базит-ультрабазитовых интрузий (около 23%), и менее всего представлены ареалы щелочных и субщелочных гранитоидов (около 15%).

Показано, что ареалы распространения разновозрастных гранитоидных интрузий распределены неравномерно, часто образуя совмещенные ассоциации, которые фиксируют магмоподводящие каналы. На периферии этих областей развито большое число рудных объектов, в том числе и крупные комплексные месторождения стратегических металлов.

ГИС-анализ размещения месторождений в ареалах гранитоидов магнетитовой, ильменитовой

и промежуточной серий показывает, что выявленные ранее металлогенические особенности в целом справедливы и для АЗРФ. Месторождения Au, Ag и Cu локализованы в ареалах развития мелового магматизма магнетитовой серии, а минерализации Sn, W, Pb и Zn приурочены к ареалам распространения гранитов ильменитовой серии.

Полученные результаты имеют большое значение для прогнозирования новых месторождений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-05-70001) «Изучение геологических и геодинамических обстановок формирования крупных месторождений стратегических металлов Арктической зоны России: выводы для прогнозирования и поисков новых месторождений».

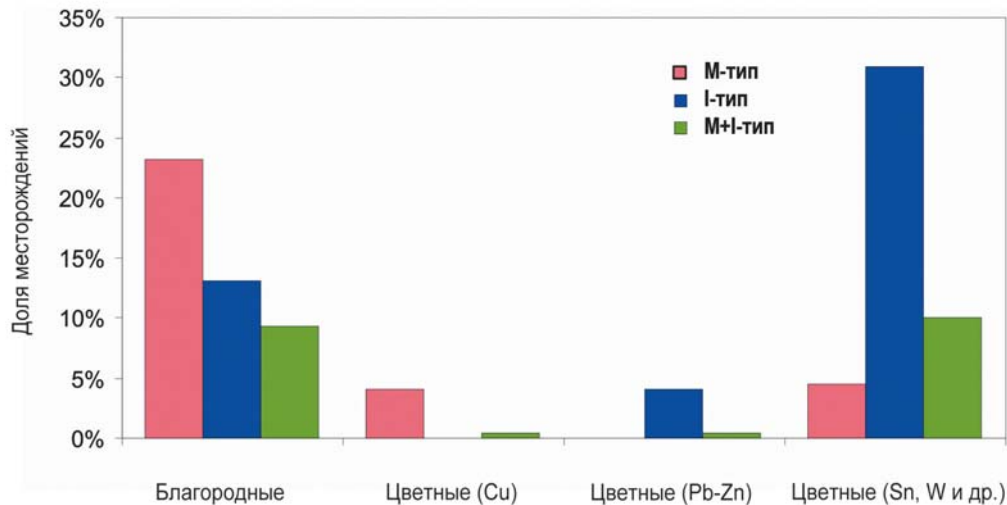


Рис. 9. Размещение в АЗРФ месторождений благородных и цветных металлов в ареалах гранитоидов MT, ILM и промежуточной (MT+ILM) серий

Fig. 9. Location of precious and non-ferrous metal deposits in the granitoid areas of MT, ILM and intermediate (MT+ILM) series in the AZRF

Литература/References

1. 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. — DOI: 10.7868/S0016777015060027.
- Bortnikov N. S., Lobanov K. V., Volkov A. V. et al. Strategic Metal Deposits of the Arctic Zone // Geology of Ore Deposits, 2015, vol. 57, no. 6, pp. 433—453. DOI: 10.1134/S1075701515060021.*
2. Галямов А. Л., Волков А. В., Лобанов К. В. и др. Перспективы выявления месторождений стратегических металлов в арктической зоне России // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 1 (25). — С. 59—74.
- Galyamov A. L., Volkov A. V., Lobanov K. V. et al. Perspektivy vyvavleniya mestorozhdenii strategicheskikh metallov v arkticheskoi zone Rossii. [Prospects for identifying strategic metals deposits in the Russian Arctic]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2017, no. 1 (25), pp. 59—74. (In Russian).*
3. Bouman J. Ebbing J., Meekes S. et al. GOCE gravity gradient data for lithospheric model-ing. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinform, 2015, vol. 35, pp. 16—30.
4. Metelkin D. V., Vernikovskiy V. A., Matushkin N. Yu. Arc-tida between Rodinia and Pangea // Precambrian Re-search, 2015, vol. 259, pp. 114—129.
5. Парфенов Л. М. Континентальные окраины и островные дуги мезозой северо-востока Азии. — Новосибирск: Наука, 1984. — 192 с.
- Parfenov L. M. Kontinental'nye okrainy i ostrovnye dugi mezozoid severo-vostoka Azii. [Continental margins and island arcs of Mesozoid of North-East Asia]. No-vosibirsk, Nauka, 1984, 192 p. (In Russian).*
6. Dobretsov N. L., Egorov A., Karyakin Yu. V. et al. Me-sozoic–Cenozoic volcanism and geodynamic events in the Central and Eastern Arctic. Russian Geology and Geophysics, 2013, vol. 54, no. 8, pp. 874—887.
7. Chappell B. W., White A. J. R. Granitoid types and their distribution in the Lachlan Fold Belt, southeast-ern Australia. Geological Society of America Memoirs, 1983, vol. 159, pp. 21—37.
8. Cammarano F., Guerri M. Global thermal models of the lithosphere. Geophys. J. Int. 2017, vol. 210, pp. 56—72.
9. Волков А. В., Сидоров А. А., Галямов А. Л. и др. Во-просы глобальной металлогенической зональности Тихоокеанского рудного пояса: выводы для про-гнозно-металлогенических исследований на Восто-ке России // Отечеств. геология. — 2018. — № 4. — С. 18—25. — DOI: 10.24411/0869-7175-2018-10002.
- Volkov A. V., Sidorov A. A., Galyamov A. L. et al. Vo-prosy global'noi metallogenicheskoi zonal'nosti Tik-hookeanskogo rudnogo poyasa: vyvody dlya prognoz-no-metallogenicheskikh issledovaniy na Vostoke Rossii. [Issues of global metallogenic zonality of the Pacific ore belt: conclusions for predictive metallogenic stud-ies in the East of Russia]. Otechestv. geologiya, 2018, no. 4, pp. 18—25. DOI: 10.24411/0869-7175-2018-10002. (In Russian).*
10. Tenzer R., Bagherbandi M., Gladkikh V. Signature of the upper mantle density structure in the refined grav-ity data. Comput. Geosci, 2012, 16, pp. 975—986.
11. Демина Л. И., Захаров В. С., Промыслова М. Ю. и др. Соотношение коллизионного и траппового магма-тизма Таймыра по геологическим данным и резуль-татам моделирования // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. — 2018. — № 1. — С. 16—25.
- Demina L. I., Zakharov V. S., Promyslova M. Yu. et al. Sootnoshenie kollizionnogo i trappovogo magmatizma Taimyra po geologicheskim dannym i rezul'tatam mod-elirovaniya. [Ratio of collisional and trap magmatism of the Taimyr Peninsula geological data and modelling results]. Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 4. Geologiya, 2018, no. 1, pp. 16—25. (In Russian).*
12. Алексеев В. И. Литий-фтористые граниты Даль-него Востока (петрология, минералогия, рудо-носность): Автореф. дис. ... д-ра геол.-минералог. наук. — СПб., 2015. — 40 с.
- Alekseev V. I. Litii-ftoristye granity Dal'nego Vostoka (petrologiya, mineralogiya, rudonosnost'): Avtoref. dis. ... d-ra geol.-mineralog. nauk. — SPb., 2015. — 40 s.*
13. Галямов А. Л., Волков А. В., Сидоров А. А. Золо-торудные месторождения и меловой гранитоидный магматизм Чукотки // Арктика: экология и экономи-ка. — 2018. — № 1 (29). — С. 104—115. — DOI: 10.25283/2223-4594-2018-1-104-115.
- Galyamov A. L., Volkov A. V., Sidorov A. A. Zolotorudnye mestorozhdeniya i melovoi granitoidnyi magmatizm Chukotki. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2018, no. 1 (29), pp. 104—115. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-1-104-115. (In Russian).*
14. Ishihara S. The Magnetite-Series and Ilmenite-Se-ries Granitic Rocks. Mining Geology, 1977. vol. 27, pp. 293—305.
15. Кузай И. Н. Редокс-проблемы «Металлогениче-ской специализации» магматитов и гидротермаль-ного рудообразования // Петрология. — 2011. — Т. 19, № 3. — С. 316—334.
- Kigai I. N. Redoks-problemy "Metallogenicheskoi spet-sializatsii" magmatitov i gidrotermalnogo rudoobra-zovaniya. [Redox-problems of "Metallogenic spet-sialization" of magmatites and hydrothermal ore forma-tion]. Petrologiya, 2011, vol. 19, no. 3, pp. 316—334. (In Russian).*

Информация об авторах

Волков Александр Владимирович, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (119017, Россия, Мос-ква, Старомонетный пер., д. 35), e-mail: tma2105@mail.ru.

Галямов Андрей Львович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., д. 35), e-mail: alg@igem.ru.

Лобанов Константин Валентинович, доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., д. 35), e-mail: lobanov@igem.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Волков А. В., Галямов А. Л., Лобанов К. В. Геодинамические обстановки формирования месторождений стратегических металлов в Арктической зоне России // Арктика: экология и экономика. — 2019. — № 2 (34). — С. 109—119. — DOI: 10.25283/2223-4594-2019-2-109-119.

GEODYNAMIC FORMATION SETTING OF THE STRATEGIC METAL DEPOSITS IN THE RUSSIAN ARCTIC ZONE

Volkov A. V., Galyamov A. L., Lobanov K. V.

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, RAS (Moscow, Russian Federation)

The article was received on January 24, 2019

This research is financially supported by the RFFI — Russian Fund of Federal Property (grant no. 18-05-70001) “Study of the geological and geodynamic formation settings of the large strategic metal deposits in the Russian Arctic zone: conclusions for new deposits’ forecasting and prospecting.”

Abstract

The article presents the GIS analysis results of the metallogeny correlation with geodynamic settings in the Arctic zone of the Russian Federation (AZRF), and discusses the role of magmatism in the tectonic and metallogenic evolution of the region. The research is based on the Arctic updated database, including location information of more than 26 thousand objects — ore and placer deposits, ore occurrences, mineralization points, more than 8 thousand of them — in Russia. According to the GIS analysis, almost equal number of objects (30%) is located in the protrusions of the Precambrian Foundation, the terrains of the passive and active continental margin, and 9% of the total — in a collision setting. It is shown that the extent areas of different-age granitoid intrusions are unevenly distributed, often forming combined assemblages that fix magma-bearing channels. A large number of ore objects, including large complex deposits of strategic metals, are developed on the periphery of these areas. The GIS analysis of the deposits’ location in the areas of granitoids, magnetite, titanite iron ore and intermediate series shows that previously identified metallogenic features are, in general, valid for the AZRF. The deposits of Au, Ag and Cu are localized in the areas of development of the Cretaceous magmatism of the magnetite series, and the mineralization of Sn, W, Pb and Zn is confined to the distribution areas of titanite iron ore granite series. The obtained results are essential for the new deposits’ forecasting.

Keywords: AZRF, geodynamic setting, magmatism, metallogeny, database, strategic metals, large deposit, ore occurrence, forecasting.

Information about the authors

Volkov Alexander Vladimirovich, Doctor of Geology and Mineralogy, Head of Laboratory, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, RAS (35, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: tma2105@mail.ru.

Galyamov Andrey Lvovich, PhD of Geology and Mineralogy, Senior Researcher, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, RAS (35, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: alg@igem.ru.

Lobanov Konstantin Valentinovich, Doctor of Geology and Mineralogy, Corresponding Member of RAS, Chief Researcher, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, RAS (35, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: lobanov@igem.ru.

Bibliographic description

Volkov A. V., Galyamov A. L., Lobanov K. V. Geodynamic formation setting of the strategic metal deposits in the Russian Arctic zone. Arctic: Ecology and Economy, 2019, no. 2 (34), pp. 109—119. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-2-109-119. (In Russian).