

соотношение степени метаморфизма в дайках и во вмещающих породах не находит пока достаточно обоснованного объяснения. Вполне удовлетворительной могла быть модель автоклавной кристаллизации. Однако, современные теоретические и экспериментальные исследования отрицают возможность проявления этого процесса в природе. В этом случае наиболее вероятным представляется связь процессов эклогитизации с магматическим процессом на позднемагматической стадии его развития. Но и это положение требует дальнейшего более глубокого петрологического изучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 06-05-64876).

Литература

1. Володичев О.И. Беломорский комплекс Карелии. Л.: Наука, 1990. 245 с.
2. Володичев О.И., Слабунов А.И., Бибикова Е.В. и др. Архейские эклогиты Беломорского подвижного пояса (Балтийский щит) // Петрология. 2004. Т. 12, № 6. С. 609-631.
3. Слабунов А.И., Володичев О.И., Бибикова Е.В. U-Pb геохронология, Nd систематика и петрология раннепротерозойских эклогитов Беломорского подвижного пояса (Балтийский щит) // Материалы II Российской конференции по изотопной геохронологии «Изотопная геохронология в решении проблем геодинамики и рудогенеза». СПб, 2003. С. 465-467
4. Степанов В.С. Основной магматизм докембрия Западного Беломорья. Л.: Наука, 1981. 216 с.
5. Степанова А.В., Ларионов А.Н., Бибикова Е.В. и др. Раннепротерозойский (2.1 млрд. лет) Fe-толеитовый магматизм Беломорской провинции Балтийского щита: геохимия, геохронология // Доклады РАН. 2003. Т. 390, № 4. С. 528-532.
6. Austrheim H. & Griffin W. Shear deformation and eclogite formation within granulite – facies anorthosite of the Bergen Arcs, Western Norway // Chemical Geol. 1985. 50. P. 267-281.
7. Chopin C. Ultrahigh-pressure metamorphism: tracing continental crust into the mantle // Earth and Planetary Science Letters. 2003. 212. P. 1-14.
8. Eskola P. On the eclogites of Norway. Skr. Vidensk. Selsk. Christiania. Mat.-Nat. 1921. K. 1. 8. P. 1-118.
9. Godard G. Eclogites and their geodynamic interpretation: a history // Journal of Geodynamics. 2001. № 32. P. 165-203.
10. Griffin W.L. “On the eclogites of Norway” – 65 years later // Mineralogical Magazine. 1987. V. 51. № 361. P. 333–343.
11. Heinrich C.A. Kyanite-eclogite to amphibolite facies evolution of hydrous mafic and polytic rocks. Adula Nappe, Central Alps // Contrib. to Miner. and Petrology. 1982. 81. P. 30-38.
12. Lappin M.A., Smith D.C. Mantle-equilibrated eclogite pods from the basal gneisses in the Selje district, Western Norway // Journal of Petrology. 1978. № 19. P. 530-584.
13. Slabunov A.I., Lobach-Zhuchenko S.B., Bibikova E.V. et al. The Archean nucleus of the Fennoscandian (Baltic) Shield // European Lithosphere Dynamics, 2006. Eds. Gee D.G. & Stephenson R.A. Geological Society, London. Memoirs 32. P. 627-644.

Геолого-генетические модели и промышленные типы золоторудных месторождений Карелии и Кольского полуострова

Волков А.В., Алексеев В.Ю., Вольфсон А.А., Прокофьев В.Ю.

ИГЕМ РАН, г. Москва, e-mail: alexandr@igem.ru

Щиты и другие, менее значительные выходы докембрийских толщ – важнейший источник многих видов минерального сырья для горнодобывающей промышленности в мире. В их пределах расположены крупнейшие в мире месторождения железа, золота, хрома, алмазов, платиноидов, никеля, меди, полиметаллов, ванадия и урана. Следовательно, они могут рассматриваться в качестве наиболее перспективных провинций на открытие новых крупных месторождений. На территории России наиболее значительные выходы пород докембрийского фундамента известны в пределах Балтийского щита (Карело-Кольский региона). Однако независимо от широкого спектра минеральных богатств, исторически именно золото остается главной целью для геологических исследований этих древнейших геологических образований. Докембрийские породы составляют только 14% от континентальной коры [8]; тем не менее, они содержат: приблизительно 50% крупных (> 100 т) а также огромное количество средних (> 30 т) и мелких, но промышленно значимых месторождений золота [9]. По-прежнему

му главные объекты поисковых работ - мезотермальные золото-кварцевые месторождения зеленокаменных поясов и золотоносные конгломераты. Однако к ним добавились золотосодержащие VHMS типа Норанды. Кроме того, большое внимание в последнее время уделяется «Iron-Oxide Cu-Au» минерализации (IOCG), установленной в районе Караджас Амазонского кратона. К IOCG типу некоторые исследователи относят также комплексное оруденение крупнейшего месторождения Олимпик Дэм в Австралии [6]. Новым толчком к проведению поисковых работ в Феноскандии послужило открытие крупного месторождения золото-сульфидных вкрапленных руд на Балтийском щите (Сурикусико, Финляндия). Поисками месторождений золота, перечисленных выше типов, широко охвачены докембрийские кратоны по всему миру, за исключением российской части Балтийского щита.

Последнее десятилетие отмечено заметными успехами поисковых и разведочных работ на золото на площади, прилегающей к государственной границе России и в геологическом отношении обнаруживающих вполне определенную аналогию с территорией Карелии и Кольского полуострова. Финскими, норвежскими, шведскими и австралийскими геологами в 1995-2005 г.г в результате успешно проведенных поисковых и разведочных работ открыты и переданы в эксплуатацию многочисленные месторождения золота в докембрийских зеленокаменных поясах (Бьердэйл, Енасен и Эйдсвол, Швеция; Норвегия, Кутемарви, Сурикусико и др. Финляндия). Кроме того, золотые руды были открыты в пределах известных месторождений полиметаллов, например, Cu–Au-Биджоваж (Норвегия), Co-Au-Юмасу (Финляндия).

На территории Карелии и Кольского полуострова еще в 70-80 г.г. были выявлены несколько перспективных рудопроявлений (Оленинское, Няльм 1 и 2, Пеллапахк на Кольском полуострове, Майское, Таловейс, Педролампи, Лобач и др. в Карелии). В 2000-е годы золото выявлено в пределах ялонварского и костомукшского рудных полей и на рудопроявлении Алату (Пюкеля). В течение нескольких последних лет на всех перечисленных рудных полях, месторождениях и рудопроявлениях проводились в небольших объемах геологоразведочные и научно-исследовательские работы, получены новые данные.

Золоторудные и комплексные золотосодержащие жильные и прожилково-вкрапленные месторождения характеризуют различные тектоно-магматические этапы развития Карело-Кольского региона. Мезотермальные золото-кварцевые, золото-сульфидные (вкрапленных руд), золото-содержащие медно-молибден-порфиновые выявлены, как в орогенных (ранний протерозой 1,6-1,9 Ga) мобильных складчатых (Северного Приладожья, Лапландском) поясах, так и в позднее-архейских зеленокаменных поясах (Костомукшский, Колмозеро-Воронинский, 2,5-2,8 Ga).

С 1998-2007 г.г. нам удалось посетить и изучить с разной степенью детальности геолого-структурные, минералого-геохимические и генетические особенности практически всех перечисленных выше золоторудных объектов.

По нашим данным (геолого-генетическим моделям), месторождения и рудопроявления золота Карелии и Кольского полуострова можно отнести к следующим минеральным типам традиционным для орогенов:

1. Золото-сульфидному вкрапленному (Оленинское, Пюкеля);
2. Месторождения золота, связанные с гранитоидными интрузивами (Таловейс, Алату, Педролампи, Майское);
3. Au-Cu-Mo-порфировому (Пеллапахк, Ялонвара);

Золото-сульфидные месторождения вкрапленных руд. Месторождения с этим типом оруденения располагаются преимущественно в терригенных и терригенно-карбонатных углеродистых толщах. Они тяготеют к зонам глубинных разломов, характеризуются высоким золото-серебряным отношением (до 10:1 и выше) и относительно равномерным распределением золота, присутствующего, главным образом, в виде тонкодисперсных включений в мышьяковистом пирите (примесь мышьяка 1-5%) и арсенопирите, содержание которых в рудах составляет 5-10%. Золотоносные сульфиды образуют мелкую и тонкую вкрапленность в зонах дробления и расщепления пород. Оруденение непрерывно прослеживается без существенного изменения своего состава и содержания золота на глубины, превышающие 1 км. Причем минералогическая латеральная и вертикальная зональность в рудных телах отсутствует. Постоянно устанавливается тесная корреляционная связь золота и мышьяка. Для рудных тел характерно наличие антимонита, с которым спорадически ассо-

цирует относительно крупное позднее золото. В рудных телах присутствует кварцевые жилы и прожилки, образовавшиеся ранее или позднее основной продуктивной вкрапленной минерализации. Возраст золото-сульфидного вкрапленного оруденения может быть определен по отношению к магматическим породам.

Правильное определение золото-сульфидного вкрапленного типа оруденения имеет важнейшее практическое значение для последующего развития геологоразведочных работ. На многих месторождениях золото-сульфидные вкрапленные руды по экономическим и технологическим причинам не разведываются, и запасы этих руд не подсчитываются, а эти месторождения относятся к золото-кварцевой, золото-ртутной, золото-серебряной или золото-сурьмяной рудным формациям.

В пределах Карело-Кольского региона возможно выявление крупных месторождений с этим типом оруденения. На территории соседней Финляндии в Лапландии открыто и подготовлено к освоению крупное месторождение Сурикусико (>100 т), оруденение которого можно отнести к золото-сульфидному вкрапленному типу. Признаки, указывающие на развитие этого типа оруденения, отмечены на месторождении Оленинское в поясе Комозеро-Воронья, Кольский полуостров [1] и в Приладожском районе Карелии (рудопроявление Пюкеля).

Месторождения золота, связанные с гранитоидными интрузивами. Вторыми по продуктивности и потенциальной промышленной значимости являются месторождения золота, связанные с гранитоидными интрузивами. Важным преимуществом этих месторождений по сравнению с более объемными месторождениями золото-сульфидных вкрапленных руд - возможность широкомасштабного применения «кучного выщелачивания». Месторождения золота, связанные с гранитоидными интрузивами, широко распространены в орогенах различного возраста в зонах интрузивного магматизма. Магматические очаги, возникшие в разнообразных геодинамических обстановках и сформировавшие гранитоиды различных типов, являются ответственными за промышленное оруденение как в самих гранитоидных интрузивах, так и в их над- и околоинтрузивных зонах, редко выходящего за пределы последних. Часто рудные тела подчинены форме интрузивного контакта.

В отличие от Cu-порфировых и месторождений Sn, золото-редкометалльные месторождения связаны с гранитоидами самого разного состава и происхождения. Рудные тела месторождений представлены жилами мощностью 0,1–0,6 м и протяженностью 2–100 м, штокверковыми ареалами площадью до 1–2 км² и более с 10–20% кварцевого материала на погонный метр, зонами дробления мощностью до 2–3 м и протяженностью до 200–300 м с различным количеством кварцевого материала. Обычны сочетания зон дробления и стволых жил, или зон дробления и штокверков. Мощность околожилных метасоматитов достигает 1 метра, а в штокверковых зонах охватывает всю занимаемую ими площадь. Для большинства месторождений характерно низкое содержание золота при большом объеме рудной массы и запасов металла; вертикальный размах оруденения превышает 300 м. Процессы минералообразования на месторождениях золото-редкометалльной формации характеризуются многостадийностью и специфическим комплексом редкометалльных минералов.

В результате детальных минералогических исследований, проведенных в последние годы [3] был установлен тонкодисперсный характер подавляющей части золота главным образом во вкрапленных сульфидных рудах. По своим размерам (1–30 микрон) это золото существенно отличается от «нано-золота» («невидимого» золота) в сульфидах, и может извлекаться цианированием. В отличие от «нано-золота», тонкодисперсное золото ассоциирует с соразмерными выделениями теллуридов золота и висмута, самородным висмутом и отличается более низкой пробностью (850–970). Главными минералами носителями этого золота является средне и мелкокристаллический арсенопирит, пирротин, реже пирит и леллингит. Типоморфной особенностью руд, как с нано-, так и с тонкодисперсным золотом является их вкрапленный характер, что свидетельствует о близких условиях рудообразования. Необходимо отметить еще одну важную в поисковом плане общую черту этих месторождений, в связи с тонкодисперсным характером золота в рудах, они не образуют россыпей. Характерная черта этих месторождений – высокая соленость рудообразующих флюидов (10–15‰ и более) на ранних стадиях процесса рудообразования.

Признаки, указывающие на развитие рассмотренного выше типа оруденения отмечены на месторождениях Таловейс, Майское, Педроламп, рудном поле Алату и Костомкша в различных рудных районах Карелии [4,5].

Аu-Си-Мо-порфировые месторождения. Порфировые месторождения – главный мировой источник Си и Мо; кроме того, из них добываются попутно Au и Ag, PGE и REE. Они сопровождаются многочисленными полиметаллическими, золото-серебряными, сурьмяно-ртутными месторождениями сателлитами и россыпями. С ними связано экономическое развитие Чили, Перу, Узбекистана, Казахстана, Монголии, Армении, Сербии, Македонии, Болгарии, Румынии, отчасти Мексики и Греции. По запасам Си, Мо, Au, Ag порфировые месторождения относятся к классу крупных и сверхкрупных, обычно от 100 до 1000 и более млн. тон с низкими и средними содержаниями 0.3–1.5% Си, 0.001–0.05% Мо и 0.03–1.0 г/т Au и 1.0–6.0 г/т Ag [7]. Месторождения имеют различный от докембрийского до четвертичного, но преимущественно мезозойский и кайнозойский возраст. Классические провинции медно-порфировых месторождений сформировались в двух геодинамических обстановках: континентальных вулканогенных поясов и вулканических островных дуг. Наиболее важные характеристики порфировых систем приведены в работах [7, 3].

Признаки, указывающие на развитие Au-Си-Мо-порфирового типа оруденения отмечены на месторождении Пеллапахк в зеленокаменном поясе Комозеро-Воронья, Кольский полуостров [1] и месторождении Ялонвара в Приладожском районе Карелии.

Таким образом, к весьма перспективным промышленным типам месторождений золота в Северо-западном регионе России относятся: золотосодержащие медно-молибден-порфировый, месторождения золота, связанные с гранитоидными интрузивами, золото-сульфидный (вкрапленный). Особое внимание заслуживают большеобъемные штокверковые объекты, характерные для этих промышленных типов.

Литература

1. Волков А.В. Новиков И.А. Золото-сульфидное месторождение Оленинское (Кольский полуостров, Россия). Геология рудн. месторождений. 2002, Т. № 5. С. 412–424.
2. Волков А.В., Савва Н.Е., Сидоров А.А., Егоров В.Н., Шаповалов В.П., Прокофьев В.Ю., Колова Е.А. Закономерности размещения и условия образования Си-Au-порфировых месторождений Северо-Востока России // Геология рудн. месторождений 2006. Т. 48, № 6. С. 512–539.
3. Волков А.В., Савва Н.Е., Сидоров А.А. О плутоногенных месторождениях с тонкодисперсным золотом // Докл. Ан, 2007. Т. 412. № 1. С. 76–80.
4. Прокофьев В. Ю., Кулешевич Л.В., Волков А. В., Сидоров А. А. Первые данные об условиях формирования и составе рудообразующих флюидов проявлений золота в железорудном месторождении Костамукша (Карелия)// Докл. Ан, 2005, т. 402, № 2 С. 233–238.
5. Сафонов Ю.Г., Волков А.В., Вольфсон А.А., Генкин А.Д., Крылова Т.Л. Золото-кварцевое месторождение Майское (Северная Карелия): геологические и минералого-геохимические особенности, вопросы генезиса. Геол. рудн. местор. 2003, т. 45, № 5. С. 429–451.
6. Groves D. The gold potential of Finland: an initial appraisal // V Fennoscandian exploration and mining meeting. Rovaniemi, Finland, 2005. P.
7. Kerrich R., Goldfarb R., Groves D., Graven S., Yiefei J. The characteristics, origins, and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces. Science in China (Series D), 2000. V. 43. Supp. P.1-68.
8. Leahy, K., Barnicoat, A.C., Foster, R.P., Lawrence, S.R., Napier, R.W. Geodynamic processes that control the global distribution of giant gold deposits // Applied Earth Science (Trans. Inst. Min. Metall. B). 2003. v.112: B210-B211.
9. Miller, L.D., Goldfarb, R.J., Nie, F.J., Hart, C.J.R., Miller, M.L., Yang, Yueqing, Liu, Y. North China gold – a product of multiple orogens // Soc. Econ. Geol. Newsletter №33. April 1998. P.1; 6-12.

Геохронологическое и изотопно-геохимическое обоснование энциалической природы сортавальской серии Фенноскандинавский щит

Вревский А. Б., Матреничев В. А.

ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург, e-mail: vrev@peterlink.ru

В тектоническом строении Фенноскандинавского щита Северное Приладожье представляет собой юго-восточную часть Свеко-Карельской зоны Свекофеннской провинции, расположенную вблизи Раахе-Ладожской зоны сочленения эпиархейского Карельского кратона и раннепротерозойского Свекофеннского пояса.